



HAL
open science

L'expérience sensorielle du nouveau-né et sa rétention à long terme: une analyse expérimentale de l'apprentissage des odeurs chez l'enfant humain

Maryse Delaunay-El Allam

► **To cite this version:**

Maryse Delaunay-El Allam. L'expérience sensorielle du nouveau-né et sa rétention à long terme: une analyse expérimentale de l'apprentissage des odeurs chez l'enfant humain. domain_other. Université de Bourgogne, 2007. Français. NNT: . tel-00162433

HAL Id: tel-00162433

<https://theses.hal.science/tel-00162433v1>

Submitted on 13 Jul 2007

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.

UNIVERSITE DE BOURGOGNE
ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA SANTE

THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Sciences de la vie

Présentée par

Maryse Delaunay-El Allam

L'expérience sensorielle du nouveau-né et sa rétention à long terme: une analyse expérimentale de l'apprentissage des odeurs chez l'enfant humain

Soutenue le 07 mai 2007 devant le jury composé de :

Karine DURAND	Maître de Conférence, Université de Bourgogne	Examinatrice
Nathalie GOUBET	Professor assistant, Gettysburg College (USA)	Rapporteur externe
André HOLLEY	Professeur, Université Lyon I	Examinateur
Daniel MELLIER	Professeur, Université de Rouen	Rapporteur externe
Benoist SCHAAL	DR, CNRS, Dijon	Directeur de thèse
Robert SOUSSIGNAN	Maître de Conférence, Université de Reims	Examinateur

Laboratoire d'accueil : Equipe d'Ethologie et de Psychobiologie Sensorielle, Centre Européen des Sciences du Goût, Unité Mixte de Recherches 5170, CNRS-Université de Bourgogne-INRA, 15 rue Hugues Picardet, 21000 Dijon, France.

A mon bon clairvoyant,
A ma petite étoile filante.

J'aimerais par ces quelques lignes adresser ma sincère gratitude envers tous ceux qui m'ont accompagnée de près ou de loin au cours de cette longue thèse.

En premier lieu je tiens à adresser toute ma reconnaissance à André Holley, qui est à l'origine de cette thèse. Il m'a ouvert les portes du monde de la recherche. Il s'est ensuite soucié de trouver un financement à ce travail. Il m'a enfin guidée, rassurée dans mes choix et surtout encouragée à venir à bout de cette aventure. Monsieur, je retiendrai votre sagesse.

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, Benoist Schaal, pour m'avoir fait confiance en m'accueillant dans son équipe. Je le remercie pour sa patience, pour ses encouragements et pour sa disponibilité en particulier au cours de la dernière phase d'écriture, malgré un emploi du temps très chargé. J'aimerais surtout rendre hommage à son insatiable passion pour la recherche et pour l'écriture. Monsieur, vous m'avez beaucoup appris.

Ce travail doit aussi beaucoup à Bruno Patris, son efficacité dans le double-codage, ses conseils utiles à la fois pratiques, techniques et statistiques et son support efficace dans le codage des films, et à Robert Soussignan qui a réalisé l'analyse des mimiques faciales des enfants de 21 mois et apporté des recommandations statistiques indispensables. Il doit aussi à Luc Marlier, co-encadrant de cette thèse, qui m'a introduite à la Clinique sainte Anne de Strasbourg, a apporté ses critiques et certains conseils éclairés à la mise en investigation et au recueil des données, et a également participé au codage. Que les fruits de ce travail témoignent de ma reconnaissance.

Je souhaite aussi remercier Dominique Valentin, pour ses appréciations et conseils tant pratiques que statistiques et pour m'avoir permis de m'essayer à l'exercice de l'enseignement.

Je remercie les rapporteurs de cette thèse, Daniel Mellier et Nathalie Goubet, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail, ainsi que les membres du jury.

Merci aux étudiants compagnons de « galère » pour nos échanges rares mais toujours sympathiques. Merci en particulier à Alice, Delphine et Sébastien toujours prêts à rendre service. Un grand merci aussi à Christelle et Nathalie pour leur accueil chaleureux et leur réconfort dans les moments difficiles ainsi que pour tous les petits tuyaux qui m'ont bien aidée à avancer.

Je tiens à remercier l'ancienne directrice de la clinique Sainte Anne de Strasbourg, Mme Henning, et son personnel pour leur accueil et leur soutien autant pratique que logistique. Je pense aussi aux surveillantes du service de maternité, Mme Kopp, Mme Lehr, Mme Mathis, et en particulier à Mme Francine Valance et son incroyable énergie ; aux sages-femmes, puéricultrices et aides-puéricultrices qui se sont montrées curieuses et compréhensives et non moins coopératives. Merci tout particulièrement aux « anciennes » de la pouponnière : Nouffissa, Dominique, Evelyne, et Patricia, pour les bonnes tranches de rigolades du dimanche matin !

Je suis aussi reconnaissante envers les membres de la fondation Edmond Roudnitska pour m'avoir accordé un soutien financier, et la société Weleda, pour nous avoir fourni gracieusement la pommade à la camomille ainsi que la société bébéconfort qui nous a gracieusement envoyé les anneaux de dentition et offert en prime des cadeaux pour les enfants.

Je tiens à remercier chaleureusement les parents et enfants qui ont accepté de participer avec enthousiasme à ces expériences olfactives répétées. Merci pour ces moments inoubliables !

Enfin, mes derniers remerciements reviennent à mes proches qui ont su m'accorder leur confiance et m'ont aidé à surmonter ce défi !

Merci à mes parents pour leur relecture attentive des dernières versions de ce manuscrit.

Merci à Dorian et Ziad pour leur participation à l'étude.

Merci surtout à toi, Hassan pour ton soutien sans faille. C'est à toi que je dois ma persévérance, mais tes somptueux tajines y sont aussi pour beaucoup dans cette tenue de route !

Merci enfin à toi, Mayada, pour ta formidable joie de vivre ! C'est le meilleur des stimulants.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
1. Développement précoce du système olfactif	4
1.1. Mise en place des structures et fonction précoce	4
1.2. Méthodes d'évaluation des compétences olfactives du jeune enfant	5
1.3. La compétence olfactive au cours de la prime enfance	5
<i>Période néonatale (naissance à 1 mois)</i>	5
<i>De la prime enfance à la période de la marche (1 à 24 mois)</i>	6
2. Développement des réponses sélectives : rôle de l'expérience périnatale	7
2.1. Réponses sélectives du nouveau-né envers les odeurs maternelles	7
2.2. Des préférences modulées par l'expérience fœtale	8
3. Apprentissages olfactifs en période néonatale	11
3.1. L'acquisition des préférences olfactives	11
3.2. Stabilité mnésique de l'expérience olfactive précoce	12
4. Mémoire olfactive infantile à long terme	14
4.1. Nature de la mémoire à long terme chez le jeune enfant	14
4.2. Particularités de la mémoire olfactive	17
5. Objectif général de la présente recherche	20
PARTIE I. Préférences du nouveau-né à l'égard des odeurs mammaires maternelles	21
1. Introduction	21
2. Méthode	24
2.1. Participants	24
2.1.1. Recrutement des participants	24
2.1.2. Caractéristiques générales des participants	24
2.2. Stimulations	25
2.2.1. Préparation et recueil des stimulations	26
a) Odeur globale du sein	26
b) Odeur du lait	26
c) Odeur du complexe aréolaire sans sécrétion lactée	27
d) Odeur du cou	28

<i>d) Stimulus témoin</i>	28
<i>e) Equilibre hygrométrique des stimulations</i>	28
2.2.2. Exposition aux différentes stimulations olfactives avant le test	28
2.3. Procédure expérimentale	29
2.3.1. Conditions générales	29
2.3.2. Dispositif	29
<i>a) Environnement général</i>	29
<i>b) Dispositif de double-choix</i>	30
<i>c) Présentation des stimulations</i>	30
2.3.3. Stade d'activation néonatal	31
2.3.4. Procédure de test olfactif	31
2.3.5. Conditions d'hygiène	31
2.4. Analyse comportementale	32
2.4.1. Conditions générales	32
2.4.2. Variables dépendantes	32
<i>a) L'orientation céphalique</i>	32
<i>b) L'activité buccale</i>	33
2.4.3. Fiabilité des mesures	33
2.5. Analyses statistiques	34
3. Résultats	34
3.1. Comportement général des nouveau-nés dans la situation de test	34
3.2. Réponses néonatales envers diverses odeurs mammaires	35
3.2.1. <u>Expérience 1</u> : odeur globale du sein versus stimulus témoin	35
3.2.2. <u>Expérience 2</u> : odeur globale du sein versus odeur du lait	36
3.2.3. <u>Expérience 3</u> : Odeur de l'aréole sein versus odeur du lait	39
3.3. Les réponses néonatales à l'égard de l'odeur du lait et de l'odeur du cou	40
3.3.1. <u>Expérience 4</u> : Odeur du cou versus témoin	41
3.3.2. <u>Expérience 5</u> : Odeur du cou versus odeur du lait	42
4. Discussion partielle	43
PARTIE II. Influence de l'apprentissage olfactif en association avec la tétée	47
<hr/>	
1. Introduction	47
2. Méthode	50

2.1. Participants	50
2.2. Exposition à la camomille avant le test	51
2.3. Stimulations	52
a) <i>L'odeur de camomille</i>	52
b) <i>L'odeur du lait maternel</i>	53
c) <i>Un témoin odorant</i>	53
d) <i>Un témoin inodore</i>	53
2.4. Procédure expérimentale	53
2.5. Analyse comportementale	53
2.6. Fiabilité des mesures	54
2.7. Analyses statistiques	54
3. Résultats	55
3.1. Comportement général des nouveau-nés dans la situation de test	55
3.2. La tétée en tant que renforçatrice de l'apprentissage olfactif néonatal	55
3.2.1. <u>Expérience 6</u> : Odeur de camomille versus témoin (eau)	56
3.2.2. <u>Expérience 7</u> : Odeur de camomille versus témoin odorant	57
3.3. Impact de l'apprentissage olfactif sur le développement de la réactivité néonatale à l'odeur du lait maternel	60
3.3.1. <u>Expérience 8</u> : Odeur de camomille versus odeur du lait maternel	61
4. Discussion partielle	65
PARTIE III. Stabilité à long terme de l'acquisition olfactive précoce	69
<hr/>	
1. Introduction	69
2. Rétention à 6-8 mois de l'exposition olfactive précoce	71
2.1. <u>Expérience 9</u> : Interaction avec un objet diversement odorisé en fonction de l'expérience olfactive précoce.	71
2.1.1. Méthode	71
2.1.2. Résultats	80
2.1.3. Conclusions	87
3. Rétention à 18-23 mois de l'expérience olfactive précoce	89
3.1. Principe de l'étude	89
3.2. <u>Expérience 10 A</u> : Réponses faciales aux odorants	90
3.2.1. Méthode	92

3.2.2. Résultats	99
3.2.3. Conclusions	101
3.3. <u>Expérience 10 B</u> : Interaction avec divers objets odorisés en fonction de l'expérience olfactive précoce	103
3.3.1. Méthode	103
3.3.2. Résultats	107
3.3.3. Conclusions	110
3.4. <u>Expérience 10 C</u> : Choix olfactif préférentiel en fonction de l'expérience précoce	112
3.4.1. Méthode	112
3.4.2. Résultats	117
3.4.3. Conclusions	120
4. Discussion partielle	120
CONCLUSIONS ET DISCUSSIONS GENERALES – PERSPECTIVES	125
<hr/>	
1. Principaux apports de la présente recherche	125
1.1. Le nouveau-né et l'odeur du sein: plasticité des apprentissages olfactifs et spécificité de l'odeur mammaire	125
1.2. Rétention à très long terme des apprentissages olfactifs néonataux	129
1.2.1. Les conditions de l'encodage olfactif	131
1.2.2. Facilitation de l'acquisition olfactive chez le nouveau-né ?	133
1.2.3. Nature des processus mnésiques impliqués dans la mémorisation précoce des odeurs	139
2. Perspectives de recherches	140
2.1. Contrôle des conditions de l'acquisition précoce	140
2.2. Impact à long terme des acquisitions précoces	142
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	145
<hr/>	
ANNEXES	164
<hr/>	

EXPERIENCES REALISEES

PARTIE I

A 3 jours :

Expérience 1 :	Double-choix entre : <i>Odeur globale du sein versus témoin</i>	35
Expérience 2 :	Double-choix olfactif : <i>Odeur du lait versus odeur globale du sein</i>	36
Expérience 3 :	Double-choix olfactif : <i>Odeur du lait versus odeur de l'aréole du sein</i>	39
Expérience 4 :	Double-choix olfactif : <i>Odeur du cou versus témoin</i>	41
Expérience 5 :	Double-choix olfactif : <i>Odeur du lait versus odeur du cou</i>	42

PARTIE II

A 3 jours :

Expérience 6 :	Double-choix olfactif : <i>Odeur de camomille (familiale ou non) versus témoin</i>	56
Expérience 7 :	Double-choix olfactif : <i>Odeur de camomille (familiale ou non) versus odeur de l'excipient</i>	57
Expérience 8 :	Double-choix olfactif : <i>Odeur du lait maternel versus odeur de camomille (familiale ou non)</i>	61

PARTIE III

A 7 mois :

Expérience 9 :	Présentation successive d'anneaux diversement odorisés : <i>Odeur de camomille (familiale ou non) versus violette versus témoin</i>	71
-----------------------	--	-----------

A 21 mois :

Expérience 10 A :	Présentation successive de divers odorants : <i>Odeur de camomille (familiale ou non) versus violette versus acide butyrique versus vanille versus témoins</i>	90
Expérience 10 B :	Présentation successive de peluches diversement odorisées : <i>Odeur de camomille (familiale ou non) versus violette versus témoin</i>	103
Expérience 10 C :	Double-choix entre deux biberons diversement odorisés : <i>Odeur de camomille (familiale ou non) versus violette</i>	112

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

“Each mental acquisition really leaves its mark.... Every event of a man’s mental life is written indelibly in the brain’s archives....”
(Thorndike, 1905)

« Quand... on découvre que toute une enfance est évoquée par le souvenir d’un parfum isolé, on comprend que l’odeur, dans une enfance, dans une vie, est, si l’on ose dire, un détail immense ».
(Bachelard, 1960).

Les découvertes des 30 dernières années sur la précocité et l'adaptation des compétences perceptives et motrices du jeune enfant ont ravivé de vieux débats théoriques (Lécuyer, 2004; Vauclair, 2005; Lehalle & Mellier, 2005). Les perspectives anciennes sur le développement de la perception et de la cognition, souvent radicalement antinomiques telles que l'innéisme, l'empirisme et le constructivisme - ont dû s'actualiser. L'introduction de techniques et de concepts nouveaux impulsés par les neurosciences, la modélisation computationnelle, et les perspectives évolutionnistes a engendré des variantes inédites, telles que le connexionnisme et l'adaptationnisme. Quel que soit le positionnement de l'intéressé, ces débats révèlent que les questions sur les processus cognitifs qui fondent les conduites adaptatives, ou sur l'importance des premiers apprentissages et de leur devenir au cours du développement, demeurent au centre des controverses. Un des points majeurs de divergence entre les différentes conceptions du développement cognitif concerne la nature et le rôle des apprentissages dans l'orientation des performances précoces.

La perspective nativiste postule que l'enfant disposerait à sa naissance de connaissances préformées qui orienteraient ses conduites adaptatives et guideraient ses apprentissages (Spelke, 2000, dans Vauclair, 2004 ; Baillargeon, 2004 ; Streri, 2004). Alors que pour certains nativistes, l'expérience ne servirait que de déclencheur pour le développement de telles connaissances (Streri, 2004), d'autres admettent l'importance des apprentissages dans la diversification et la spécialisation des connaissances (Baillargeon, 2004). Au contraire, selon la perspective empiriste prônée par le béhaviorisme, les apprentissages sont la source

exclusive du développement des connaissances et des conduites (Pomerleau & Malcuit, 1983 ; Malcuit, Pomerleau & Maurice, 1995).

Le clivage entre nativistes et empiristes s'est bien évidemment aussi projeté dans le domaine de l'olfaction. Jacob Steiner, d'orientation résolument nativiste, a longtemps défendu la notion d'une réactivité hédonique génétiquement programmée aux saveurs et aux odeurs. La réactivité hédonique aux stimulations chimiques étant ressemblante dans sa forme expressive chez le nouveau-né sain, chez l'enfant anencéphale et chez l'adulte, Steiner postule son contrôle par un mécanisme réflexe dont le support nerveux serait situé au niveau du tronc cérébral (Steiner, 1979 ; Perl, Shay, Hamburger & Steiner, 1992). Trygg Engen, tenant de la perspective empiriste, postule au contraire que les préférences et aversions olfactives humaines ne sont déterminées que par apprentissage associatif et imitation culturelle, et de ce fait, qu'elles ne peuvent émerger que tardivement après 3-4 ans (Engen, 1974, 1983, 1991). Ces deux pionniers incontestables des recherches sur l'olfaction chez l'enfant humain ont cependant fondé leurs théories respectives sur un ensemble de données partielles, souvent grevées de biais méthodologiques (Soussignan, 1997).

De plus en plus de théoriciens admettent que l'opposition entre nativisme et empirisme doit être dépassée pour rendre compte de la complexité du développement des conduites et des connaissances. C'est dans cette optique que J. Piaget a conçu une vision constructiviste du développement (Lehalle & Mellier, 2005). Certains modèles constructivistes actuels insistent sur le fait que l'enfant naît avec des prédispositions innées. Mais ils décrivent ces prédispositions non pas comme des représentations ou des connaissances abouties, mais comme des mécanismes attentionnels et perceptifs généraux. Ils reconnaissent également l'implication des mécanismes d'apprentissage dans la structuration et la restructuration progressive des connaissances (Karmiloff-Smith, 1992 ; Cohen, Chaput, & Cashon, 2002, dans Vauclair, 2004).

D'autres courants, inspirés par les perspectives comparatistes de l'éthologie et de la psychobiologie du développement, adhèrent aussi à une perspective médiane selon laquelle des mécanismes prédéterminés, possiblement sous contrôle génétique, et des mécanismes épigénétiques coopèrent dès le début de la vie pour optimiser l'ajustement des réponses de l'organisme à l'environnement et à ses modifications (cf., par exemple, Gottlieb, 1991, 2002; Lickliter, 2004). Cette approche a apporté les preuves du fait que le fœtus a des capacités de perception, d'encodage mnésique et de rétention transnatale. Elle a ainsi discrédité la notion qui voulait que la naissance constitue une discontinuité cognitive, et par suite a définitivement

infirmé la métaphore de la *tabula rasa* telle que les empiristes l'utilisaient pour décrire la virginité cognitive initiale du nouveau-né (Granier-Deferre, Schaal & DeCasper, 2004). Selon cette perspective psychobiologique, l'expérience périnatale induit et facilite l'établissement de liens fonctionnels entre perception et action qui permettent à l'enfant d'optimiser ses réponses adaptatives. Elle met en évidence que les connaissances qui dirigent l'adaptation néonatale sont basées sur les systèmes perceptifs développés les plus précocement (Lickliter, 2000 ; Schaal, 2005) et que de telles expériences précoces peuvent conserver un impact à très long terme (cf., par exemple, Mainardi, Marsan, & Pasquali, 1965 ; Müller-Schwarze & Müller-Schwarze, 1971 ; Fillion & Blass, 1986 ; Hudson, 1993 ; Hepper, 1994).

Dans le domaine de l'olfaction, les données recueillies au cours de ces 20 dernières années soulignent que les réponses de l'enfant humain aux odeurs sont en général peu stéréotypées (au sens de leur fixité de forme et de leur automatisme), et qu'elles dépendent à la fois de la nature de l'odorant et de l'expérience que le sujet en a eu au cours du développement pré- ou postnatal (Schaal, 1988, 2005). Toutefois, et nous y reviendrons en certains points de cette thèse, il n'est pas exclu que certains odorants biologiques puissent déclencher des réponses plus ou moins stéréotypées en dehors de toute exposition postnatale.

La modalité olfactive constitue un bon modèle d'étude du développement perceptif, en particulier lorsqu'elle est abordée dans le cadre des réponses adaptatives. Le système olfactif est précocement fonctionnel et fort malléable aux qualités correspondantes de l'environnement périnatal (Schaal, 1988, 1991 ; Schaal, Orgeur, Rognon, 1995). En outre, ce canal sensoriel est enrôlé dans plusieurs fonctions vitales et relationnelles, puisqu'il est impliqué dans la régulation de différentes fonctions de survie individuelle (prise alimentaire, équilibre des état d'activation) et de relation sociale (genèse et maintien de l'attachement; cf. Schaal, 1997, 2005 ; Porter & Schaal, 2003).

Le nouveau-né est particulièrement réactif à l'égard des odeurs ayant acquis une signification affective au contact de la mère. Celles-ci modulent l'état émotionnel global de l'enfant, lui servent d'indices d'orientation et motivent des conduites spécialisées. Bien que des mécanismes prédisposés puissent être impliqués, ces réponses d'adaptation multiples reposent largement sur une dynamique complexe d'apprentissages associatifs et non-associatifs dont on connaît encore peu de choses.

1. Développement précoce du système olfactif

Il existe peu de travaux sur la contribution des apprentissages précoces à l'élaboration des réponses olfactives sélectives au cours de l'ontogenèse et ceux-ci sont inégalement distribués au long du développement. Si la période néonatale a fait l'objet de recherches plus nombreuses, la prime enfance de 2 à 24 mois reste quasiment inexplorée.

1.1. Mise en place des structures et fonction précoce

La chimioréception et la somesthésie sont les premiers ensembles sensoriels à se développer au cours de l'embryogenèse. Dès la périphérie, la chimioréception est complexe, comprenant des systèmes oraux et des systèmes nasaux. Ces derniers comportent quatre sous-systèmes de chimiorécepteurs reposant sur des structures nerveuses individualisées: les sous-systèmes trigéminale, olfactif primaire ou principal, olfactif secondaire ou voméronasal, et enfin, terminal (ces deux derniers, moins bien connus, seront omis dans la suite du texte). Ces structures se développent selon des chronologies variables, mais toutes précocement aux cours des 4 premiers mois post-conceptionnels (Schaal, 1988, 1991, pour revues).

Le nerf trijumeau est le premier sous-système à se différencier. Ses terminaisons sensitives innervent les régions cutanées et muqueuses faciales. Ces terminaisons sont repérables dans la muqueuse nasale de l'embryon dès 4 semaines et répondent à des stimulations tactiles dès 7 à 11 semaines post-conceptionnelles.

En ce qui concerne le système olfactif principal, des neurorécepteurs ciliés d'apparence mature sont repérables au niveau de la muqueuse olfactive à partir de la 11^e semaine. Les nerfs olfactifs, formés par les axones de ces neurones sensoriels récepteurs, sont visibles à partir de 7-8 semaines. Ces axones pénètrent dans le bulbe olfactif qui prendra une structure laminée similaire à celle de l'adulte aux environs de la 18^e semaine. Quelques rares études montrent que l'épithélium olfactif est plus étendu et plus homogène chez le fœtus de 5 à 9 mois (et donc probablement chez le nouveau-né) que chez l'adulte, une particularité anatomique qui pourrait être à l'origine d'une acuité supérieure chez le nouveau-né que chez l'adulte (Engen, Cain & Rovee, 1968 ; Rovee, 1969, dans Schaal 1991). Mais ceci reste à démontrer.

Quelques études menées chez le nouveau-né prématuré indiquent que le système olfactif est suffisamment élaboré dès la 28^e semaine de gestation pour permettre une réactivité

comportementale aux odeurs (Pihet, Mellier, Bullinger & Schaal, 1997; Marlier, Schaal, Gaugler & Messer, 2001). Dès cet âge précoce, le cerveau a la capacité d'encoder à court et long terme les odeurs de l'environnement (Goubet, Rattaz, Pierrat, Allémann, Bullinger & Lequien, 2002 ; voir Schaal, Hummel & Soussignan, 2004, pour revue).

1.2. Méthodes d'évaluation des compétences olfactives du jeune enfant

A tout âge de la vie, la perception ne se résume pas à la seule détection d'une stimulation sensorielle. La perception a une composante intégrative essentielle, requérant orientation, attention, comparaison et mémorisation (Holley, 1999 ; Wilson & Stevenson, 2003 ; Durand, 2004). En matière olfactive, les compétences perceptives peuvent être déduites des capacités de détection, de discrimination et de mémorisation.

Différents paradigmes ont été employés pour étudier les capacités olfactives chez le jeune enfant. Le premier consiste à présenter des odorants en série pour analyser les réponses comportementales ou psychophysiologiques différentielles des enfants (Peto, 1936 ; Engen, Lipsitt, & Kaye, 1963 ; Self, Horowitz & Paden, 1972; Russell, 1976). Le second paradigme, utilisant le phénomène d'habituation, a permis d'examiner les capacités précoces de discrimination et de mémorisation à court-terme (Engen & Lipsitt, 1965 ; Goubet et al., 2002). Enfin, le paradigme de double-choix olfactif mesure les réponses actives de préférence relative du sujet entre deux stimulations présentées simultanément (Macfarlane, 1975). Il permet de mettre en évidence une préférence basée sur les réponses actives d'orientation du sujet dans l'espace (orientation de la tête ou activation de mouvements buccaux). Ces différentes approches, développées d'abord par les psychologues expérimentalistes, puis par les éthologistes, a apporté une moisson de résultats sur les capacités olfactives précoces. Nous les résumons brièvement ci-dessous.

1.3. La compétence olfactive au cours de la prime enfance

Période néonatale (naissance à 1 mois)

Le nouveau-né humain est capable de détecter et de discriminer des qualités odorantes distinctes pour l'adulte (Engen et al., 1963 ; Self et al., 1972), même i) après équilibration de leur intensité et propriétés trigéminales subjectives et ii) après alignement de leur intensité avec celle de laits humain ou artificiel (Soussignan, Schaal, Marlier, & Jiang, 1997). Il peut se montrer attiré ou repoussé par les odorants, comme en témoignent ses actions directionnelles

(Rieser, Yonas & Wikner, 1976 ; Macfarlane, 1975 ; Sullivan, Taborsky-Barba, Mendoza, Itano, Leon et al., 1991) ou ses réponses faciales (Steiner, 1977 ; Soussignan et al., 1997). Ces dernières réponses ne sont pas absolument fixées dans leur morphologie, comme l'indiquent les variations inter- et intra-individuelles de la réactivité faciale (Soussignan & Schaal, 2001). Le nouveau-né discrimine ainsi les odorants non seulement sur la base de dimensions « purement » sensorielles, mais aussi en se fondant sur l'expérience qu'il a pu en avoir au préalable. Il réagit de façon différentielle aux odeurs en fonction, on l'a vu, de leur intensité (Engen, 1965 ; Rovee, 1969, dans Schaal, 1991) et de leur qualité (Stirnemann, 1936 ; Engen & Lipsitt, 1965), mais aussi de leur familiarité (Balogh & Porter, 1986) et de leur valence hédonique (Soussignan et al., 1997).

Une avancée importante sur l'olfaction néonatale a été réalisée par Engen et Lipsitt (1965) lorsqu'ils ont mis à profit le paradigme de l'habituation, alors fort prisé dans les études de perception précoce. Leur choix de réponse habitué s'est porté sur la respiration, dont le rythme diminue de façon transitoire à la présentation d'une odeur, perturbation respiratoire qui s'atténue et s'annule – s'habitue – lorsque l'odorant est présenté de façon répétée. Engen et Lipsitt ont ainsi habitué des enfants de 3 jours à un mélange odorant binaire (anis/*Asa foetida*) et, ensuite déshabitué (c'est-à-dire restitué le niveau initial de disruption respiratoire) avec les composés du mélange (soit l'anis, soit l'*Asa foetida*). Notant que le phénomène de déshabitude est intense pour l'*Asa foetida*, mais pas pour l'anis, les auteurs réalisent alors que les deux composants ne contribuent pas de façon égale au mélange subjectif: ce dernier sent plus l'anis que l'*Asa foetida* (ce qu'ils ont fait vérifier par des nez adultes). Ce résultat a apporté la première démonstration indiscutable de la capacité néonatale à finement discriminer les odeurs et a permis d'inférer la fonctionnalité, dans le très court terme d'une expérience d'habituation, de la mémoire olfactive du nouveau-né.

De la prime enfance à la période de la marche (1 à 24 mois)

Après l'abondance relative des recherches néonatales, on aborde une période (entre 2 et 24 mois) où l'olfaction a été peu étudiée. D'études anciennes, il ressortait une faible réactivité aux odeurs chez les enfants d'âge préverbal (Péto, 1936 ; Engen & Engen, 1997). Cette interprétation a surtout émergé du fait de réponses en apparence moins extrêmes de la part des jeunes enfants par comparaison à des enfants plus âgés (>5-6 ans) et à des adultes, et du fait d'une plus grande tolérance aux odeurs désagréables que l'adulte. Ces données sont cependant fondées sur quelques études limitées, utilisant quelques odorants, et souvent entachées de biais méthodologiques (cf. le Chapitre 3 pour une description critique de ces expériences).

Des travaux plus récents, réalisés au cours de la première année, révèlent au contraire que les enfants détectent et discriminent les odeurs. Par exemple, à 1-4 mois ils réagissent au changement de profil aromatique de leur lait par une modification des paramètres de succion et par le volume ingéré (Mennella & Beauchamp, 1991a, 1993, 1996a,b). D'autres soulignent l'aptitude d'enfants de 6-13 mois à différencier des objets complexes en manipulant la composante olfactive (Schaal, 1988; Schmidt & Beauchamp, 1989 ; Mennella & Beauchamp, 1998) et à manifester des réponses hédoniques contrastées envers ces objets (Schmidt, 1990).

Ces quelques expériences mettent en exergue l'importance du contexte physique et social de l'expérience, et insistent sur l'exigence qu'il y a à respecter l'environnement habituel des enfants lorsqu'on souhaite mettre en évidence leurs aptitudes sensorielles et cognitives. L'hypersensibilité des jeunes enfants à la nouveauté d'un local expérimental et à l'"étrangeté" d'un expérimentateur non familier milite en faveur d'observations où les odeurs sont manipulées avec le moins possible de modification des conditions dans lesquelles elles sont quotidiennement reçues. La simple présence d'un expérimentateur inconnu lors de l'administration d'une odeur peut ainsi inverser la lecture de la valence hédonique de la réponse par des observateurs tiers (par rapport à une situation où l'enfant est seul et s'auto-administre l'odeur; Soussignan & Schaal, 1996a).

2. Développement des réponses sélectives : rôle de l'expérience périnatale

2.1. Réponses sélectives du nouveau-né envers les odeurs maternelles

L'enfant nouveau-né est apte à émettre des réponses sélectives envers les odeurs qui émanent du corps de la mère. Il se montre non seulement attiré par les odeurs maternelles du sein, des aisselles et du cou, mais manifeste aussi des réponses d'orientation préférentielle et d'activation orale intensifiée envers ces odeurs. Ces réponses préférentielles apparaissent pour des odeurs de faible intensité (odeurs mammaires) et permettent la différenciation des odeurs maternelles et des odeurs correspondantes d'une autre femme allaitante (Macfarlane, 1975 ; Russel, 1976 ; Schaal, Montagner, Hertling, Bolzoni, Moyse, & Quichon, 1980 ; Cernoch & Porter, 1985 ; Schaal, 1986).

Les nouveau-nés sont aussi capables de différencier les effluves de différentes régions corporelles d'une même femme. Ainsi, les odeurs mammaire et axillaire d'une femme allaitante non familière n'ont pas la même valeur attractive pour les nouveau-nés de 15 jours.

Ceux-ci s'orientent préférentiellement vers l'odeur mammaire que vers l'odeur axillaire, qu'ils aient été allaités au sein ou au biberon depuis la naissance (Makin & Porter, 1989 ; Porter, Makin, Davis, & Christensen, 1992). Par ailleurs, les nouveau-né expriment une réponse d'appétence plus manifeste envers l'odeur du lait homospécifique qu'envers l'odeur d'un lait d'origine bovine, même lorsqu'ils ont été nourris avec ce dernier type de lait depuis la naissance (Russel, 1976 ; Marlier & Schaal, 2005).

En outre, l'état physiologique de la femme émettrice affecte les réponses néonatales, dans la mesure où les enfants de 15 jours nourris au biberon depuis la naissance (et n'ayant donc jamais été directement exposés ni à l'odeur du sein maternel ni à l'odeur du lait humain) se montrent plus attirés par l'odeur mammaire d'une femme allaitante non familière que par celle d'une autre femme non parturiente (Makin & Porter, 1989). En période d'activité lactogène, l'odeur du sein apparaît donc particulièrement attractive pour le nouveau-né, qu'il y ait été préalablement exposé ou non. Cet ensemble de résultats suggère que les odeurs du lait de l'espèce et du sein allaitant pourraient avoir un statut particulier pour l'enfant, puisqu'elles sont actives sur son comportement même lorsqu'il n'y a jamais été exposé après la naissance. Le pouvoir d'attraction particulier de ces odeurs pourrait alors soit dériver de l'expérience antérieure, soit reposer sur des boucles perception-réponse déterminées génétiquement.

2.2. Des préférences modulées par l'expérience fœtale

Nombreuses sont les études qui montrent l'impact d'une exposition à un stimulus odorant sur les réponses ultérieures du nouveau-né et du jeune enfant. Pour un nouveau-né, la notion d'une expérience antérieure appelle les capacités du fœtus à détecter et mémoriser des éléments de son environnement olfactif amniotique.

L'exposition fœtale à un profil aromatique particulier influence les réponses olfactives du nouveau-né. Le fait que l'alimentation de la femme enceinte est une source d'informations chimiosensorielle pour l'enfant est à présent établi par plusieurs recherches. Hepper (1995) a montré que des enfants nés de mères consommatrices d'ail répondent plus positivement, en terme d'orientation céphalique, vers l'odeur de sulfure d'allyle que ceux nés de mères non consommatrices. Schaal, Marlier & Soussignan (2000) ont comparé les réponses hédoniques à l'odeur d'anethole chez des nouveau-nés nés de mères qui ont ingéré des aliments fortement aromatisés à l'anis au cours des 10 derniers jours de gestation. Lors d'un premier test situé 3 h après la naissance, les enfants nés de mères consommatrices d'anis ont orienté leur nez plus

longuement vers l'odeur d'anethole et ont manifesté moins de mimiques négatives à son égard. L'effet de l'exposition prénatale sur l'orientation céphalique est encore retrouvé lors d'un test réalisé à l'âge de 4 jours. Autrement dit, le fœtus a la capacité d'extraire une note aromatique de l'environnement amniotique et de maintenir cette trace en mémoire au moins jusqu'au 4^e jour postnatal. Ces résultats révèlent que le cerveau de l'organisme périnatal est porteur d'informations qui garantissent la possibilité d'une *continuité sensorielle transnatale*. Ils sont renforcés par des résultats sur la perception et l'attraction néonatale de l'odeur complexe du liquide amniotique (Schaal, Marlier & Soussignan, 1995 ; Marlier, Schaal, & Soussignan, 1998a ; Varendi, Porter, & Winberg, 1996), et en particulier du liquide amniotique dans lequel le fœtus a directement baigné (Marlier et al., 1998a).

La continuité sensorielle transnatale est doublée d'une continuité de l'écologie chimique, les fluides amniotiques et le colostrum partageant une fraction volatile commune. Cette ressemblance entre les deux fluides périnatals est toutefois transitoire, puisqu'avec l'avènement de la lactogénèse (entre 2,5 et 3,5 jours postpartum), le colostrum sera progressivement remplacé par le lait. Aussi, au cours de cette période des premiers jours postnatals, assiste-t-on à une évolution des réponses d'attraction relative chez des groupes d'enfants (allaités au sein) exposés à des tests de choix olfactifs opposant le liquide amniotique et l'odeur du lait. La réponse moyenne des groupes évolue de l'indifférenciation entre liquide amniotique et colostrum à une préférence marquée en faveur du lait (Marlier, Schaal & Soussignan, 1997, 1998a; cf. Figure 1). Alors qu'aucune réponse différentielle n'est apparente du jour 1 à 3 (ou entre 0 et 12 tétées), l'attraction vers l'odeur du lait maternel intervient à partir du jour 4 (ou après 13-19 épisodes de tétée ; Marlier et al., 1997).

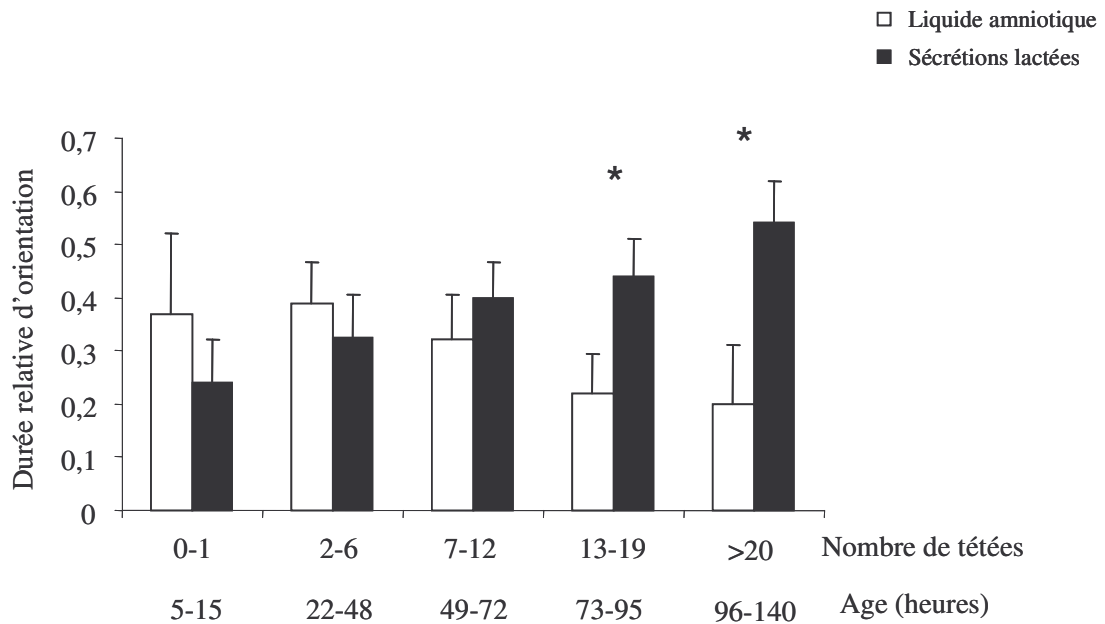


Figure 1. Durée relative d'orientation de nouveau-nés placés face à un choix olfactif entre l'odeur du liquide amniotique familial et l'odeur des sécrétions lactées en fonction de l'expérience de tétée et de l'âge (adapté de Marlier, Schaal & Soussignan, 1997). (*: $p < 0,05$)

On assiste, à travers cette expérience, au modelage progressif des réponses de préférence des nouveau-nés entre les deux fluides périnataux les plus significatifs. Les déterminants de cette évolution sont complexes, faisant vraisemblablement intervenir à la fois des variations sensorielles et hédoniques chez les enfants en fonction, d'une part, de la maturation et de l'accumulation de l'expérience de tétée et, d'autre part, des changements des qualités chimiosensorielles du lait maternel. Il est à noter que lorsque ce même suivi est réalisé chez des enfants (de 2-4 jours) nourris au lait artificiel, consistant à les exposer à une série de tests de choix entre l'odeur de leur liquide amniotique et à l'odeur de leur lait artificiel, cette évolution ne se fait pas; ces enfants s'orientent alors majoritairement vers l'odeur amniotique (Marlier, Schaal & Soussignan, 1998b).

Pour l'heure, on s'explique mal cette différenciation entre les deux groupes d'enfants dans cette succession de tests. Elle peut être due aux effets du « tempo » de la transition chimiosensorielle périnatale (progressive versus brusque), de composés particuliers présents dans le lait humain et non dans les laits industriels à base de protéines bovines, ou encore de propriétés renforçantes particulières à l'expérience de la tétée au sein. Quoi qu'il en soit, l'expérience postnatale pourrait interagir avec les attentes olfactives acquises in utero: alors que les nouveau-nés allaités font face à un environnement qui contiendrait des indices olfactifs qui rappellent le liquide amniotique, ceux nourris au lait hétérosécific ne

bénéficieraient pas (ou moins) de cette re-évocation postnatale d'un acquis chimiosensoriel prénatal.

3. Apprentissages olfactifs en période néonatale

3.1. L'acquisition des préférences olfactives

Le développement postnatal de réponses sélectives a été examiné par des expériences de simple exposition et de conditionnement. Elles montrent qu'un odorant initialement sans signification affective particulière peut, chez le nouveau-né humain, devenir attractif après son association avec divers contextes «écologiques». Balogh et Porter (1986) ont ainsi évalué la capacité néonatale à acquérir une odeur en la diffusant dans le berceau pendant 23 heures du premier jour postnatal. A l'issue de la période d'exposition (en moyenne 42 minutes après cessation de l'odorisation), ils ont placé les nouveau-nés face à un choix entre l'odeur familière et une odeur nouvelle. Ceux-ci, en particulier les filles, se sont alors orientés plus longuement vers l'odeur familière, amenant les auteurs à conclure que le nouveau-né peut acquérir une odeur après simple exposition, c'est-à-dire en dehors de tout stimulus contingent planifié par l'expérimentateur. Cependant, comme l'ont noté d'autres (Schleidt & Genzel, 1990 ; Sullivan et al., 1991), il n'est pas exclu que, au cours d'une période d'exposition de 23 heures, des agents de renforcement insoupçonnés puissent être impliqués, comme par exemple les soins prodigués à l'enfant dans son berceau (consolation, change) ou les autostimulations (succion, éveil). De même, familiarisé à un odorant diffusé dans l'environnement pendant 16-17 heures, chez le nouveau-né né prématurément ou à terme (âgé de 3-6 jours), ce stimulus prend une signification affective particulière révélée par son pouvoir de réduire les pleurs et de moduler les réponses faciales de douleur lorsqu'il est présenté lors d'une ponction sanguine au talon 10-15 minutes après la fin de l'exposition (Goubet, Rattaz, Pierrat, Bullinger, & Lequien, 2003 ; Rattaz, Goubet, & Bullinger, 2005).

L'impact de situations d'apprentissage plus interactives a également été évalué. Sullivan et ses collaborateurs (1991) ont associé, chez des nouveau-nés d'un jour, une odeur à la réalisation d'un massage (provoquant une augmentation du niveau d'activité générale) pendant 5 minutes. Le jour suivant, des tests de rétention consistant à présenter l'odeur conditionnée et une odeur nouvelle, ont montré que seule l'odeur conditionnée pouvait

déclencher une réponse d'orientation positive de la tête et l'activation générale des enfants (Sullivan et al., 1991).

La situation de tétée apparaît éminemment favorable à l'établissement d'un conditionnement olfactif. Ainsi, chez des enfants de 1 à 2 jours, l'association d'une odeur nouvelle avec une période de tétée de 30 minutes rend l'odeur apte à déclencher ensuite des réponses de succion et de léchage; en revanche, une odeur non associée à la tétée n'a pas cette propriété activatrice des actions orales (Sullivan, 1990). L'efficacité du pouvoir renforçant de la tétée a été confirmée par Schleidt et Genzel (1990), qui ont montré que les enfants pouvaient acquérir une préférence pour une fragrance appliquée sur le sein maternel après 7 jours d'exposition. Nous reviendrons plus loin sur cette dernière expérience.

Collectivement, ces études soulignent la plasticité considérable du contrôle olfactif des comportements infantiles, plasticité manifestée aussi bien au niveau de la variété des odorants qui peuvent être investis de signification psychobiologique (depuis des odorants arbitraires aux odeurs naturelles du sein et du lait) qu'au niveau des contextes. Pour le moment, les résultats expérimentaux disponibles autorisent à penser que quasiment tous les contextes d'acquisition – de la simple familiarisation à l'association systématique et au conditionnement positif – sont favorables au développement postnatal des réponses sélectives. Le nouveau-né humain est ainsi en mesure d'ajouter rapidement à la base de référence olfactive acquise in utero, une palette d'acquisitions nouvelles dont la variété devrait dépendre de l'empan de son expérience olfactive postnatale. Cet espace olfactif en devenir devrait non seulement diriger ses actions immédiates dans l'environnement maternel, mais peut-être aussi orienter ses conduites ultérieures de choix autonomes. Cependant, le niveau de stabilité au cours du temps des acquisitions olfactives précoces reste mal compris chez l'espèce humaine.

3.2. Stabilité mnésique de l'expérience olfactive précoce

Plusieurs expériences réalisées chez l'animal non humain indiquent qu'une odeur acquise précocement peut ensuite venir influencer le comportement alimentaire ou social jusqu'à l'âge adulte. Le caractère singulier de la tétée dans ces acquisitions précoces est attesté par plusieurs recherches (Le Magnen & Tallon, 1968 ; Müller-Schwarze & Müller-Schwarze, 1971 ; Fillion & Blass, 1986). Par exemple, des rats mâles nourris par une rate dont la région ventrale a été odorisée au citral préfèrent, à l'âge adulte, s'accoupler avec des femelles odorisées au citral qu'avec des femelles non odorisées. Cet effet à long terme ne se manifeste

que si l'odeur du citral a été appliquée dans le champ abdominal; elle n'est pas effective lorsque l'odorisation est réalisée sur le pelage du dos (Fillion & Blass, 1986).

La longévité des acquisitions olfactives néonatales reste encore très peu explorée chez l'Homme. Une première étude a montré que des nouveau-nés exposés à un odorant (dans le berceau) pendant les 22 premières heures de vie orientent par la suite, à l'âge de 16 jours, leur tête vers cet odorant plutôt que vers un odorant nouveau présenté simultanément (Davis & Porter, 1991). L'enfant d'un jour aurait donc la capacité de retenir sur au moins deux semaines une odeur rencontrée dans l'environnement de sommeil. L'étude (mentionnée plus haut) de Schleidt et Genzel (1990) arrive à une autre conclusion. En exposant les enfants à un parfum pendant les tétées au cours des 15 premiers jours, ces auteurs ne détectent plus, à l'âge d'un mois, de préférence en faveur de l'odorant appris au sein. Entre la cessation de l'association odeur-tétée et le test (soit 2 semaines après la cessation, les enfants ayant alors 1 mois d'âge), l'odorant paraît avoir perdu toute valeur attractive en référence à l'odeur nouvelle. Ce résultat, en apparence désaccord avec celui de l'étude précédente, pourrait à première vue être interprété en termes de pouvoir de renforcement moindre de la tétée au sein par rapport à la simple exposition. Toutefois, il faut souligner que l'interruption de l'association odorant artificiel-tétée est forcément (les enfants sont allaités) suivie de 15 jours d'association entre l'odeur naturelle du sein et la tétée: tout se passerait donc comme si l'acquisition olfactive des premiers 15 jours était suivie d'un programme systématique d'extinction en faveur d'une nouvelle acquisition pour l'odeur naturelle du sein (et donc du lait et ses arômes). Toutefois, cette hypothèse n'a pas été évaluée dans l'étude de Schleidt et Genzel (cf. partie III pour critique de cette étude).

On peut enfin mentionner une dernière étude qui suggère la possibilité d'une mémoire à très long terme des acquisitions olfactives précoces. Mennella, Jagnow et Beauchamp (2001) montrent que l'exposition régulière à un arôme alimentaire pendant les deux premiers mois de tétée au sein a le pouvoir d'infléchir les préférences alimentaires de l'enfant de 5-6 mois, dans la période du passage à l'alimentation solide. L'adjonction de l'arôme familier à un aliment semi-solide (céréales) facilite l'acceptation de ce dernier par l'enfant, suggérant de ce fait la mémorisation de l'expérience passée avec l'arôme en question (nous y reviendrons dans la Partie III).

Dans leur ensemble, ces études soulignent que les capacités mnésiques du nouveau-né sont loin d'être négligeables. Pourtant, il existe très peu d'étude sur la mémorisation olfactive à long terme chez le jeune enfant et l'on connaît mal le devenir des traces mnésiques formées

au cours des premiers mois et années. Toutefois, le domaine de la mémoire infantile commence à être documenté dans d'autres modalités. Nous les relaterons ici dans les grandes lignes chez l'enfant âgé de 6 à 24 mois.

4. La mémoire olfactive infantile à long terme

L'hypothèse de la formation d'une mémoire à long terme à partir d'évènements précoces sous-entend non seulement que le jeune enfant soit capable d'acquérir l'expérience au moment où elle se produit, et donc de l'encoder en une trace mnésique stable. Elle suppose aussi qu'il puisse conserver cette trace sans déformation, atténuation ou élimination liées aux interférences avec de nouvelles acquisitions ou à des changements fonctionnels du système nerveux; elle suppose enfin qu'il peut y avoir accès quelques mois, voire quelques années, après l'acquisition initiale (Howe & Courage, 2004).

4.1. Nature de la mémoire à long terme chez le jeune enfant

Chez l'humain adulte, différents modèles ont été élaborés pour rendre compte de la complexité des phénomènes de mémoire. Ces modèles distinguent des processus de mémoire à court terme, relevant de systèmes à capacité temporelle et quantitative limitée, et des processus de mémoire à long terme, dont la capacité de rétention est illimitée dans le temps et en quantité d'information stockée. Ces modèles postulent que, avant la consolidation en une trace mnésique stable, l'information est engrangée temporairement dans un système de stockage à court terme (mémoire à court terme dans le modèle d'Atkinson & Shiffrin, 1968; mémoire de travail dans celui de Baddeley, 1993, cf. Perchev, 2001). Les données de la psychologie cognitive tendent à montrer que la capacité de rétention des informations stockées dans la mémoire à court terme serait de l'ordre de la minute (Pascalis, 1993). Toute information retenue au-delà de quelques minutes serait stockée dans la mémoire à long terme.

Outre cette distinction temporelle et quantitative, les neurosciences cognitives envisagent différentes catégories de mémoire à long terme chez l'humain adulte. La distinction la plus courante se situe entre mémoire déclarative ou explicite et mémoire non déclarative ou implicite (Tiberghien, 1997; Milner, Squire & Kandel, 1998). La mémoire déclarative/explicite fait appel aux souvenirs d'évènements (correspondant aux mémoires sémantique et épisodique définies par Tulving en 1983) qui reposent sur des connaissances verbalisables ou

représentées sous forme d'images mentales accessibles à la conscience. La mémoire non déclarative/implicite, aussi appelée procédurale (Squire & Zola-Morgan, 1988), fait référence à la conservation de savoir faire associatifs, acquis par conditionnement opérant ou classique. Elle comprend aussi la capacité de reconnaissance d'un stimulus récent par effet d'amorçage (ou priming) ou par acquisition non associative (familiarisation). Dans ce cas, le rappel mnésique est difficilement accessible à la conscience, suivant des mécanismes automatiques, non intentionnels et non verbalisables. Alors que la mémoire déclarative/explicite est généralement considérée comme rapide à s'établir (une session d'apprentissage peut suffire), faillible (les traces mnésiques se dégradent, leur rappel est imparfait) et flexible (non strictement liée à une modalité), la mémoire non déclarative/implicite est caractérisée par sa lenteur à s'établir (excepté l'effet d'armorçage, c'est le résultat d'un apprentissage graduel), sa fiabilité, et son inflexibilité (Squire, Knowlton & Musen, 1993, dans Bauer, 2004).

Certains ont proposé la possibilité d'un double encodage d'une même stimulation. Celle-ci pourrait être représentée en mémoire de deux manières: dans un système de représentation verbal et dans un système de représentation non verbal (Paivio, 1986, dans Jehl, 1996). D'autres plaident au contraire pour un système mnésique unique, la nature déclarative/explicite ou non déclarative/implicite de l'encodage ou du rappel ne correspondrait qu'à la nature du chemin d'accès à ce système mnésique déterminé par la tâche de mémorisation effectuée, cette dernière pouvant être verbale, comme l'identification, ou non verbale, comme la reconnaissance (Schab, 1991 ; Rovee-Collier, 1997).

Les enfants préverbaux (de 0 à 24 mois) ont longtemps été considérés comme incapables de retenir l'information sensorielle – habituellement de nature visuelle ou auditive – pendant plus de quelques minutes, une capacité de mémorisation à plus long terme n'émergeant pas avant un an (Kagan & Hamburg, 1981; Schacter & Moscovitch, 1984). Ces conclusions n'étonnent plus quand on sait qu'elles émanent d'études fondées sur des paradigmes mis au point pour l'adulte, humain ou animal, et donc inadaptés aux capacités motrices et cognitives du très jeune enfant, humain ou animal (Rovee-Collier, 1997). On a assisté, au cours des dernières décades, grâce aux développementalistes, à un renouveau des méthodes d'exploration de la mémoire infantile, à présent conçues en fonction des capacités motrices, cognitives et motivationnelles propres aux âges étudiés. Des paradigmes de plus en plus «écologiques» de renforcement opérant actionnés par la succion non nutritive ou l'action des jambes ou des doigts (méthode du renforcement par mobile ou train « conjugué » de Rovee-

Collier), ou encore d'imitation différée ou sollicitée, ont ainsi été utilisés avec succès (cf. Hayne, 2004, pour revue).

Depuis les années 70, un ensemble de données a été rassemblé sur la mémoire infantile. Il montre que le système mnésique du très jeune enfant est suffisamment fonctionnel pour permettre la mémorisation d'évènements à très long délai, dans la mesure où ceux-ci peuvent retenir des informations sur des évènements vécus des semaines, des mois, voire des années auparavant (Rovee-Collier, 1997 ; Courage & Howe, 2004 ; Hayne, 2004 ; Bauer, 2004). Par exemple, la mémoire d'un conditionnement opérant acquis par la méthode du train conjugué¹ est réactivable après 5, 16 et 22 semaines aux âges respectifs de 6, 12 puis 18 mois (Hsu & Rovee-Collier, 2006). Autre exemple, Myers, Clifton et Clarkson (1987) ont familiarisé 7 enfants, âgés de 1.5 à 10 mois, à localiser des objets au cours de 15-19 séances en laboratoire. Au cours de ces sessions d'entraînement, les enfants avaient à atteindre des objets sonores à la lumière, puis dans l'obscurité. Lorsque 5 enfants sur les 7 entraînés ont été testés dans les mêmes conditions 2 ans plus tard, ainsi que 5 enfants témoins appariés en âge, 2 enfants exposés, mais aucun témoin, ont réussi à atteindre les objets sonores dans le noir. Répétée sur un échantillon plus important (n=16), cette approche a confirmé que des enfants entraînés à localiser des objets sonores dans le noir à l'âge de 6.5 mois ont de meilleures performances pour atteindre des objets sonores dans le noir que les pairs inexpérimentés. En outre, les premiers étaient moins affectés d'être plongés dans le noir que les seconds (Perris, Myers & Clifton, 1990). Ces expériences suggèrent que les très jeunes enfants ont la capacité de retenir à très long terme des informations sur une situation à laquelle ils ont été confrontés au cours de la première année de vie.

Les processus de mémoire à long terme mis en jeu chez le jeune enfant constituent l'une des énigmes du développement cognitif. La position des chercheurs sur cette question est loin d'être unanime, mais tous s'accordent maintenant *a minima* sur la fonctionnalité dès le plus jeune âge des formes de mémoires accessibles de manière implicite. Pour les uns, ce minimum est le maximum: les capacités mnésiques des enfants d'âge préverbal sont exclusivement de nature implicite. La mémoire déclarative ou explicite n'entrerait pas en fonction avant la fin de la seconde année, lorsque les structures nerveuses sous-jacentes (hippocampe et structures dans le lobe temporal) sont supposées atteindre une maturité

¹ Méthode de conditionnement opérant qui consiste en un train électrique qui se met en marche lorsque l'enfant presse sur un bouton, d'où le terme de renforcement par train « conjugué ».

suffisante (Liston & Kagan, 2002 ; Mandler, 1990 et Nelson, 1995, dans Rovee-Collier, 1997).

Pour les autres, les types de mémoire distingués chez l'adulte existeraient également chez le jeune enfant, dès la première année. Selon eux, le rappel explicite d'un souvenir est possible avant l'avènement du langage. Autrement-dit, le langage n'est pas la condition exclusive d'accès à la conscience (cf., Rovee-Collier, 1997 ; Courage & Howe, 2004 ; Hayne, 2004 ; Bauer, 2004 pour revues). C.K. Rovee-Collier, qui prône un continuum entre les phénomènes de mémoire, affirme que s'il existe des systèmes mnésiques distincts (ce qu'elle remet fort en question), alors ces systèmes se développent en parallèle. Reprenant la règle de dissociation expérimentale de Tulving¹ (1983), Rovee-Collier (1997) expose sa vision de la dissociation explicite/implicite dans les activités mnésiques des enfants de moins de deux ans et considère que celle-ci ressemble à celle observée chez des adultes normaux. Toutefois, les formes de mémoire accessible de manière implicite et explicite ne seraient pas influencées de la même manière par les variables expérimentales. Le nombre et la durée des sessions d'apprentissage et l'intervalle de rétention affectent peu les performances aux tâches de mémoire implicite, mais ont un impact important sur les performances aux tâches de mémoire explicite.

4.2. Particularités de la mémoire olfactive

Comme pour la mémoire liée aux autres entrées sensorielles, la dissociation entre processus mnésiques explicites et implicites est cultivée dans le domaine de l'olfaction (Schab, 1991). Les deux types de processus paraissent clairement recrutés dans le traitement mnésique de l'information olfactive. Mais il semble qu'en olfaction, peut-être plus que dans les autres modalités sensorielles, l'information sollicite plus fréquemment les processus implicites de mémorisation que les processus qui enrôlent le langage et la conscience (Engen, 1982 ; Degel & Köster, 1999). Cette forme de mémorisation devrait donc, en principe, être tout à fait fonctionnelle chez le nouveau-né et l'enfant d'âge préverbal, comme elle l'est chez les animaux non humains (Mainardi, Marsan, & Pasquali, 1965 ; Müller-Schwarze & Müller-Schwarze, 1971 ; Galef, & Kaner, 1980 ; Brake, 1981 ; Fillion & Blass, 1986 ; Hepper, 1994).

La dynamique quantitative et temporelle de la mémoire olfactive doit être distinguée de celle des mémoires visuelle ou auditive. D'une part, la proportion de stimulations olfactives

¹ Une dissociation existe entre les performances mnésiques évaluées par une tâche de rappel explicite et par une tâche de rappel implicite, lorsqu'on trouve que la manipulation des variables indépendantes affecte les performances mnésiques dans une tâche mais pas dans l'autre tâche, ou bien qu'elle les affecte dans des directions opposées (Tulving, 1983).

que l'adulte peut mémoriser à court terme (après quelques secondes) au cours d'une tâche de reconnaissance est de l'ordre de 70 %. Cette performance apparaît relativement faible au vu du niveau de performance, de l'ordre de 100%, noté avec des stimulations visuelles ou auditives (Engen, Kuisma & Eimas, 1973). Si le rappel est sollicité à plus long terme, le niveau de reconnaissance des stimulations visuelles chute graduellement pour devenir aléatoire (50%) après 3 mois de rétention, alors que dans les mêmes conditions la performance olfactive reste de l'ordre de 70%. Un an plus tard, le taux de reconnaissance olfactive reste encore à un taux supérieur (64.6%) au niveau dicté par le hasard (Engen & Ross, 1973). Ainsi, les capacités d'encodage de stimuli olfactifs arbitraires sont loin d'être négligeables (70% de rétention absolue), elles peuvent paraître limitées par comparaison avec la vision. Toutefois, une fois consolidée, la mémoire olfactive résiste remarquablement bien au passage du temps, en tout cas mieux que la mémoire visuelle.

Cette longévité de la mémoire olfactive s'expliquerait par la façon dont l'odeur est codée et stockée en mémoire. La durabilité des traces mnésiques dépendrait du niveau de traitement de l'information enregistrée en mémoire (Craik & Lockhart, 1972 ; Craik & Tulving, 1975, dans Jehl, 1996). Selon certains auteurs, les odeurs seraient encodées sous forme holistique, c'est-à-dire sous forme d'évènements perceptuels unitaires, à l'inverse des images qui auraient tendance à être encodées par assemblage de différentes composantes (Engen, 1991 ; Jehl, 1996 ; Holley, 1999). Cette première forme d'encodage réduirait l'influence négative de l'interférence mnésique liée aux composantes communes, de nature proactive, due aux évènements intercalés entre la phase d'acquisition et de rappel, et celle de nature rétroactive liée aux évènements déjà stockés en mémoire (Engen, 1991).

Une autre explication à cette particularité de la mémoire olfactive repose sur le réseau des structures impliquées dans le traitement des informations correspondantes. A la différence de ce qu'il en est pour les autres modalités sensorielles, il existe un lien anatomique étroit entre les entrées olfactives et les composantes du système limbique qui interviennent dans le traitement mnésique et affectif. Le nerf olfactif est ainsi connecté, via le cortex olfactif primaire, à l'amygdale, impliquée dans le traitement des émotions et la mémoire émotionnelle par seulement deux synapses, et à l'hippocampe qui tient un rôle clé dans les processus mnésiques par trois synapses (Herz & Engen, 1996 ; Mair, Harrison & Flint, 1995).

La mémoire olfactive à long terme reste pratiquement inexplorée chez l'enfant d'âge préverbal. Très peu d'études *ad hoc* ont décrit longitudinalement les capacités de rétention à long terme après une phase d'exposition olfactive *précoce*, et aucune étude comparative entre

la longévité des acquisitions olfactives *précoces* et celle des souvenirs visuels ou auditive n'a, à notre connaissance, été entreprise.

Une mise en regard *provisoire* des aptitudes mnésiques olfactives, visuelles et auditives chez le nouveau-né et le nourrisson (>1 mois) va dans le sens d'une certaine spécificité de la mémoire olfactive, au moins en termes de stabilité temporelle telle que rapportée chez l'adulte. Chez le nouveau-né, les études mentionnées ci-dessus indiquent clairement une capacité de rappel de la mémoire olfactive après cessation de l'exposition se situant entre 2 et 20 semaines (Davis & Porter, 1991 ; Mennella et al., 2001). Dans le domaine auditif, les aptitudes d'acquisition néonatales sont attestées, mais ne paraissent pas perdurer au-delà de quelques heures ou jours (cf., par exemple, Zelazo, Weiss, Randolph, Swain, & Moore, 1987; Swain, Zelazo, & Clifton, 1993; Cheour, Ceponiene, Leppanen, Alho, Kujala et al., 2002). Au cours du premier mois, l'exposition à des stimulations vocales (un mot arbitraire répété 60 fois/jour pendant 13 jours) est suivie d'une réponse différentielle (réponse d'orientation céphalique ou oculaire) à ce mot après des délais de rétention de 15 ou 42 heures (Ungerer, Brody, & Zelazo, 1978).

Les données en vision ne sont pas directement comparables puisqu'elles n'ont pas évalué la rétention maximale ou au moins sur de longues tranches de développement. Ainsi, des enfants de 3 jours fixent de façon sélective un stimulus visuel familier pendant une période de rétention de 2 minutes (Pascalis & de Schonen, 1994). La mémoire visuelle est aussi attestée par des expériences de préférence du visage maternel. Ainsi des nouveau-nés de 2 jours, à l'issue d'une période de séparation de 5-30 minutes d'avec la mère, fixent plus longuement le visage maternel que celui d'une femme non familière (Bushnell, Sai & Mullin, 1989). Enfin, chez l'enfant de 3 mois, une familiarisation préalable à un visage entraîne, après un épisode de rétention de 24 heures, une reconnaissance de ce visage (Pascalis, De Haan, Nelson & De Schonen, 1998).

Cette analyse comparative ne se veut nullement exhaustive, mais elle pointe l'état lacunaire des recherches sur le développement précoce de la mémoire des informations sensorielles. Pour le propos de la présente recherche, elle incite à émettre l'hypothèse de la stabilité des acquisitions olfactives précoces, étant donné la précocité des compétences olfactives, les aptitudes précoces de mémorisation chez l'enfant, et la longévité singulière de la mémoire olfactive chez l'adulte.

5. Objectif général de la présente recherche

La présente étude vise à mieux comprendre la contribution des apprentissages olfactifs néonataux dans l'établissement des réponses adaptatives du jeune enfant. Elle évalue dans quelle mesure des apprentissages acquis dans une situation hautement écologique pour un enfant humain – la tétée au sein – ont la capacité de moduler les réponses sélectives de l'enfant au cours de périodes de durée «moyenne» (plusieurs heures) ou «très longues» (plusieurs mois, voire un an).

Dans un premier temps, nous nous intéresserons à la capacité du nouveau-né à réagir sélectivement à diverses odeurs de la mère ou associées à la mère. Une première série d'expériences visera à examiner les réponses actives du nouveau-né, indicatrices de préférences, pour des odeurs biologiques (lait ou autres sécrétions mammaires) dont le pouvoir renforçant pourrait être déterminé par l'expérience prénatale. Les réponses de préférence ainsi «prédéterminées» seront utilisées pour analyser le modelage progressif d'une préférence olfactive se mettant nouvellement en place après la naissance. Cette préférence pour une odeur acquise dans le contexte de l'allaitement au sein sera, dans une seconde série d'expériences, tracée longitudinalement, aux âges de 6-8 et 18-24 mois, après des périodes de rétention d'environ 3.5-7.5 et 15.5-23 mois.

PARTIE I

Préférences du nouveau-né à l'égard des odeurs mammaires maternelles

PARTIE I

Préférences du nouveau-né à l'égard des odeurs mammaires maternelles

1. Introduction

Au cours des premiers jours postnatals, le corps maternel dégage des stimulations olfactives qui jouent un rôle manifeste dans la régulation du comportement du nouveau-né humain. Les nouveau-nés détectent et sont attirés par les émanations de diverses régions cutanées maternelles, comme celles des seins, des aisselles, et du cou (Macfarlane, 1975 ; Russel, 1976 ; Schaal et al., 1980 ; Cernoch & Porter, 1985 ; Schaal, 1986 ; Sullivan & Toubas, 1998). Les nouveau-nés agités tendent à se calmer face à ces odeurs corporelles maternelles. Ils réduisent leur activité motrice générale lorsqu'ils sont exposés à l'odeur du sein ou du cou de la mère (Schaal, et al., 1980 ; Schaal, 1986) et diminuent leurs pleurs face à l'odeur corporelle globale (prélevée sur un vêtement) (Sullivan & Toubas, 1998). Enfin, chez les enfants qui sont dans un état d'accalmie, l'odeur maternelle déclenche des activités buccales de succion (Sullivan & Toubas, 1998). Une telle activité orale est particulièrement stimulée par l'odeur du sein (Russel, 1976).

La région mammaire émet un facteur odorant qui a un pouvoir attractif marqué sur les nouveau-nés. La première étude expérimentale contemporaine qui a mis en évidence cette propriété de l'odeur du sein maternel a été réalisée par Macfarlane en 1975. Ce chercheur s'est intéressé à l'olfaction en observant des mères allaiter leur nouveau-né. Il a¹ noté que les enfants tournaient leur tête vers le sein avant même de manifester un mouvement des yeux vers le sein, et avant tout contact avec le sein. D'où l'hypothèse que les enfants utiliseraient leur odorat pour se tourner vers la mère et localiser la source lactée. Pour tester cette hypothèse, Macfarlane a opté pour une méthode de double-choix qui permet de comparer les réponses du nouveau-né à l'odeur du sein maternel et à un stimulus témoin en utilisant l'orientation de la tête comme indicateur de préférence. Dans ce cas, l'ensemble des nouveau-nés testés (tous nourris au sein) s'est orienté préférentiellement vers l'odeur du sein maternel (70.9% du temps total d'orientation), montrant que celle-ci peut être détectée par le nouveau-

¹ Tout comme Darwin l'avait relevé un siècle avant lui dans ses notes biographiques sur le développement de son propre fils (1877).

né. Sur les 20 enfants testés, 17 se sont orientés préférentiellement vers l'odeur du sein maternel. Les résultats de cette étude pionnière ont permis 1) d'attester de la capacité des nouveau-nés à détecter l'odeur subtile du sein maternel et 2) de confirmer son pouvoir attractif.

Mais l'odeur du sein apparaît également attractive pour des nouveau-nés qui ne sont pas nourris au sein, et qui n'ont donc pas pu être familiarisés à cette odeur. Des nouveau-nés de 2 semaines nourris au biberon depuis la naissance s'orientent préférentiellement vers l'odeur du sein d'une femme allaitante (contrastée avec une stimulation inodore), alors que l'odeur des aisselles d'une femme allaitante ne suscite pas une telle réponse (Makin & Porter, 1989). De plus, l'odeur du sein d'une femme allaitante, autre que la mère, est plus attractive que l'odeur des aisselles de cette même femme (Makin & Porter, 1989 ; Porter et al., 1992). On peut alors s'interroger sur l'existence d'une préférence pour l'odeur mammaire dont le développement ne dépend pas de l'expérience postnatale.

Plusieurs observations suggèrent l'apparente singularité de l'odeur du sein pour les nouveau-nés humains. Lorsque, juste après la naissance, des nouveau-nés sont placés sur la poitrine de leur mère, leur nez à équidistance entre les deux seins, la majorité d'entre-eux est capable de se diriger sans assistance vers l'un des seins et de saisir le mamelon pendant l'heure qui suit la naissance (Widström, Ransjö-Arvidson, Christensson, Matthiesen, Winberg, & Uvnäs-Moberg, 1987). Une série d'expériences a reproduit cette procédure suggérant que les caractéristiques olfactives du sein pourraient jouer un rôle notable dans l'expression de cette orientation initiale vers le sein maternel, parmi l'ensemble des indices pouvant influencer la réponse (*e.g.* gradient thermique, couleur aréolaire). Lorsqu'ils sont placés dans une situation de choix entre les deux seins, l'un ayant été lavé, les nouveau-nés se dirigent majoritairement¹ vers le sein resté olfactivement intact (Varendi, Porter & Winberg, 1994). Cet effet de guidage de l'odeur du sein a été montré en dehors du contexte maternel. Placés dans une couveuse chauffée, à distance (17 cm) d'une gaze imprégnée de l'odeur du sein maternel, des nouveau-nés âgés de 36 à 80 h rampent jusqu'à atteindre la stimulation du sein. En revanche, ceux-ci ne manifestent pas ce comportement quand la stimulation est inodore (Varendi & Porter, 2001). L'odeur du sein maternel serait ainsi porteuse d'un effet d'attraction chez le nouveau-né. La ou les sources de ce facteur attractif restent à identifier.

¹ On peut toutefois se demander si les enfants effectuent réellement un choix entre les deux seins. Les auteurs font état d'une seule occurrence (valeur médiane) d'orientation de la tête, chez les nouveau-nés qui ont sélectionné le sein non lavé ($n = 22$), avant qu'ils n'aient effectué leur choix de côté. Or, ils ne précisent pas si les nouveau-nés étaient en mesure de maintenir leur tête en équilibre, sans que celle-ci ne penche spontanément du côté soit-disant « sélectionné », après qu'ils aient été placés dans la position de départ de leur test comportemental.

La période de lactation représente le contexte physiologique le plus favorable à l'émission de ce facteur attractif. Alors que les odeurs du sein d'une femme allaitante ou d'une femme non parturiente sont attractives pour des enfants de 2 semaines (nourris au biberon depuis leur naissance) si chacune est contrastée avec un témoin inodore, l'odeur du sein allaitant est plus attractive lorsque ces deux odeurs sont mises en opposition simultanée (Makin & Porter, 1989). La valeur attractive de l'odeur du sein pourrait donc s'intensifier en période de lactation. Cette intensification olfactive pourrait être liée à des changements qualitatifs ou quantitatifs des sécrétions locales. Le sein est en effet pourvu d'un réseau glandulaire exocrine dense et varié (Figure 2). Cet équipement exocrine pourrait contribuer à l'élaboration d'un signal chimiosensoriel spécifique à la période de lactation (pour revues voir Schaal & Porter, 1991 ; Schaal, Doucet, Soussignan, Weibchen, & Francke, 2007). Certaines de ces glandes ont une activité accrue en fin de gestation et au cours de la lactation. 1) Le canal excréteur des glandes sébacées (au niveau du mamelon comme de l'aréole) s'élargit en fin de gestation, la production de sébum augmente et demeure élevée pendant la durée de lactation. Ce substrat lipidique agirait comme fixateur de molécules volatiles sur la surface de l'aréole et du mamelon, augmentant la persistance locale des molécules odorantes. 2) Les glandes de Montgomery, dispersés sur la surface aréolaire, deviennent de plus en plus proéminentes vers la fin de la gestation et entrent en activité au début de la lactation, sécrétant un liquide lactescent au moment de chaque allaitement. Une étude récente souligne l'importance potentielle de ces sécrétions, en révélant un lien entre l'abondance des glandes de Montgomery et la prise de poids du nouveau-né, au cours des 3 premiers jours postnatals (Doucet, Soussignan, Sagot, & Schaal, en préparation ; Schaal, Doucet, Sagot, Hertling, & Soussignan, 2006). 3) Enfin, la glande mammaire principale débouchant au niveau du mamelon produit la sécrétion la plus abondante, le colostrum puis le lait.

Le colostrum et le lait pourraient être à l'origine des propriétés attractives du sein maternel en période de lactation. Ils ont eux-mêmes une odeur attractive pour le nouveau-né, attestée par l'orientation céphalique préférentielle qu'ils déclenchent chez des nouveau-nés âgés de 2 et de 4 jours (Marlier et al., 1998a). Le lait humain déclenche aussi une intense activité buccale chez les nouveau-nés de 3-6 jours (Russel, 1976 ; Marlier & Schaal, 1997 ; Soussignan et al., 1997). La puissance de cette propriété activatrice du lait ne repose pas uniquement sur l'expérience postnatale, puisque l'odeur lactée déclenche, chez les nouveau-nés nourris au biberon depuis la naissance, une activité buccale plus marquée que l'odeur de leur formule lactée familière (Marlier & Schaal, 2005). On peut alors se demander dans quelle mesure le lait humain comporterait des composés volatils lui conférant un pouvoir attractif

propre ? Si tel est le cas, le nouveau-né humain devrait manifester des réponses d'orientation et d'activité buccale préférentielle face à cette odeur en comparaison à d'autres odeurs maternelles émanant de la région mammaire ou de zones cutanées éloignées de la région mammaire. Cette question est examinée dans ce premier ensemble de cinq expériences, en comparant la réactivité néonatale envers l'odeur du lait maternel à celle envers des substrats biologiques émis soit au niveau du sein maternel, soit au niveau de la région du cou.

2. Méthode

2.1. Participants

2.1.1. Recrutement des participants

Les mères des nouveau-nés ayant participé à cette étude ont été recrutées à la maternité de la Clinique Sainte Anne de Strasbourg, au cours des heures suivant l'accouchement. Elles ont dans un premier temps été informées oralement de l'étude, puis par une note d'information rappelant les objectifs et modalités de l'étude. Ce n'est qu'après obtention d'un consentement signé que leurs nouveau-nés ont pris part à l'étude.

Parmi les 174 couples mère-nouveau-né contactés, 109 ont dû être écartés : 37 mères ont renoncé à l'étude (renoncement volontaire : 21 ; interruption de l'allaitement : 7 ; varicelle : 1, hyperbilirubinémie néonatale : 8) et 72 nouveau-nés n'ont pas rempli les critères d'inclusion au test olfactif décrits au paragraphe 2.3. (non-orientation bilatérale : 2, incidents techniques : 2 ; perturbations auditives : 12 ; ou état de vigilance incompatible avec le test : 56).

2.1.2. Caractéristiques générales des participants

Un total de 65 nouveau-nés caucasiens (33 filles, 32 garçons) a été retenu pour l'étude. Ils sont tous nés à terme (âge gestationnel moyen : $39,5 \pm 1$ semaines d'aménorrhée) dans des conditions de santé optimales (score d'apgar ≥ 8 à 1 minute, puis = 10 à 3 et 5 minutes postnatales ; poids de naissance moyen : 3410 ± 406 g (Ecart type) ; valeurs extrêmes : 2720 g - 4480 g), après une gestation sans complications pour la mère ni pour l'enfant. L'accouchement s'est fait par voie basse ($n = 63$) ou par césarienne ($n = 2$). Les nouveau-nés ont été testés une seule fois au cours du 3^e jour postnatal (âge moyen au moment du test : $78\text{h} \pm 13,7\text{h}$; valeurs extrêmes : 55h à 115 h). Tous ont été allaités au sein, et la majorité de façon

exclusive [seuls 2 enfants ont bénéficié d'un complément de lait artificiel : ≤ 6 prises ≤ 30 g]).

Au moment du test, les nouveau-nés sont tous en excellente condition sanitaire.

Les mères (26 primipares) sont en bonne santé et non fumeuses (à l'exception de 2 mères fumant moins d'une cigarette par jour pendant la grossesse, mais pas après l'accouchement). Elles sont âgées de 31.3 ans en moyenne (Ecart type : 4,4 ans ; valeurs extrêmes : 24 à 44 ans) et sont majoritairement issues de catégories socioprofessionnelles moyennes à supérieures.

Tableau 1 : Caractéristiques des nouveau-nés par groupes d'expériences.

Expériences	1	2	3	4	5
Nombre de sujets	11	14	14	12	14
Filles / Garçons	6/5	7/7	7/7	6/6	7/7
Terme gestationnel (semaines d'aménorrhée) ¹	39,6 ± 0,9 38 – 41	39,9 ± 0,9 38-41	39,5 ± 1,1 37 – 41	39,4 ± 0,8 38 – 41	39,2 ± 1,3 37 – 41
Poids de naissance (g) ¹	3346 ± 455 2870 – 4100	3334 ± 341 2720 -3960	3495 ± 505,3 2940 – 4480	3468 ± 293 2900 – 3960	3400 ± 431 2850 – 4280
Age (h) ¹	80,5 ± 13,6 68 - 113	75,8 ± 12,2 55 - 98	74,3 ± 8,7 63 - 92	82,4 ± 14,4 63 - 109	81,9 ± 18,2 62 - 115

¹ Moyenne ± écart type (valeurs extrêmes).

Les 65 nouveau-nés participants sont répartis en 5 groupes indépendants dont les caractéristiques sont homogènes entre les différents groupes en terme de sexe, d'âge gestationnel, de poids de naissance, d'âge au moment du test et d'âge de la mère [F(4,60)= 0,76 ; 0,39 ; 0,97, et 1,27, respectivement, pour les quatre dernières variables ; cf. Tableau 1].

2.2. Stimulations

Chaque groupe d'enfants est testé dans une expérience évaluant l'attractivité d'odeurs mammaires ou non mammaires, soit par comparaison à un stimulus témoin inodore, soit par comparaison à l'odeur du lait.

2.2.1. Préparation et recueil des stimulations

Les substrats odorants sont prélevés sur des tampons de gaze (100% coton, 10 x 10 cm, Stérilux®, Hartmann, Châtenois). Les sécrétions cutanées sont recueillies par application de cette gaze à même la peau durant la nuit précédant le test olfactif (durée moyenne : 10.8 ± 1.5 h ; extrêmes : de 8 à 15 h) et dans la mesure du possible jusqu'au moment du test olfactif. Dans le cas où les mères sont amenées à interrompre le port de la gaze avant le test (58 % des mères), il leur est demandé de glisser celle-ci dans un sachet de polyéthylène inodore, afin d'éviter toute contamination par une odeur artificielle et de limiter l'évaporation des substrats recueillis. Les gazes sont retirées de la zone corporelle en moyenne $66 \pm .78$ minutes avant le test (valeurs extrêmes : de 0 à 5 h) et conservées à température ambiante. La durée de conservation n'est pas apparue influencer les réponses des enfants pour la plupart des tests réalisés, mais le score d'activité buccale différentielle s'est révélé négativement corrélé à la durée de conservation sous sachet pour l'Expérience 1 où l'odeur globale du sein est contrastée à un témoin inodore ($r = -0.66$, $p = 0.027$, cf. Annexe 1).

Les stimuli étudiés proviennent de deux zones du corps maternel : la zone mammaire et la zone du cou. En ce qui concerne la zone mammaire, différentes régions sont échantillonnées (aréole, lait) pour tenter de distinguer une contribution à l'odeur globale du sein (cf. Figure 2).

Les mères ont pour consigne d'éviter d'appliquer des odorants artificiels (parfum, eau de toilette ou crèmes parfumées) sur leur corps pendant la période postnatale précédant le test.

a) Odeur globale du sein

L'odeur globale du sein est recueillie en apposant la gaze sur l'aréole et le mamelon. On collecte ainsi les sécrétions aréolaires aussi bien que les sécrétions lactées. Néanmoins une telle "contamination" par le lait n'a pas toujours pu être constatée de façon objective, ni par la couleur ni par le degré d'humidité de la gaze. Les mères ayant recours à un soin prophylactique du sein (pommade odorante directement appliquée sur l'aréole et le mamelon du sein), ainsi que les mères ayant des sécrétions lactées surabondantes n'ont pas été sollicitées.

b) Odeur du lait

L'odeur du lait est recueillie isolément du complexe aréolaire au cours des 5 minutes qui précèdent le test par expression manuelle, en évitant tout contact du lait ou de la gaze avec la surface aréolaire. Vingt gouttes sont déposées de façon standardisée sur la gaze. Si la mère utilise une

pommade prophylactique, il lui est demandé de ne pas en appliquer le matin du test, puis de rincer le sein avec une gaze imbibée d'eau minérale avant le recueil du lait.

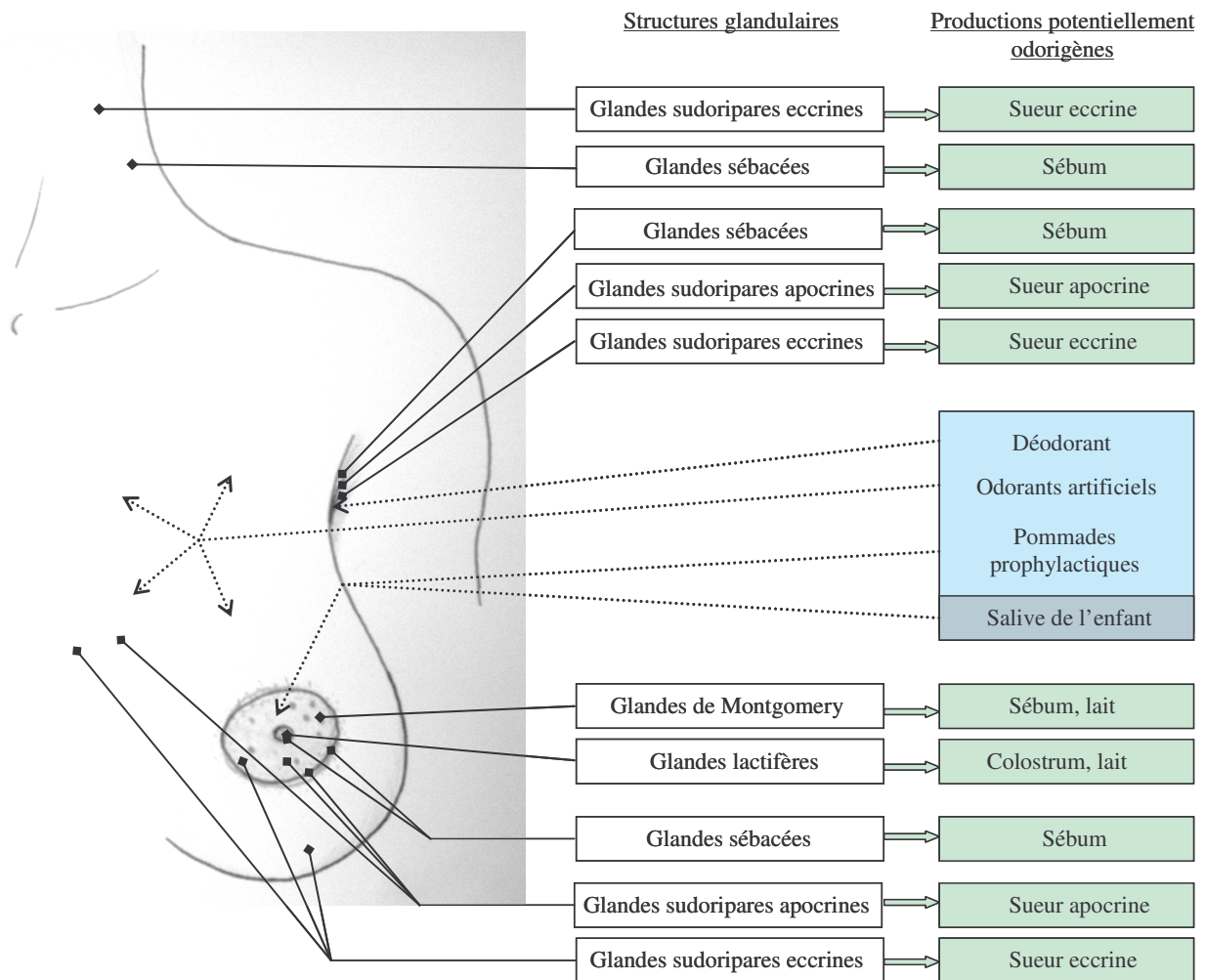


Schéma inspiré de Schaal et Porter, 1990, 1991

Figure 2. Sources des composés volatiles émis sur et autour de la région mammaire.

c) Odeur du complexe aréolaire sans sécrétion lactée

Une méthode a été conçue pour recueillir les sécrétions aréolaires séparément du lait. Celle-ci consiste à appliquer deux tampons de gaze maintenus l'un au-dessus de l'autre tout en étant séparés de 5 mm pour éviter tout échange entre-eux par capillarité. La gaze supérieure est appliquée sur l'aréole au dessus du mamelon ; après avoir été découpée à sa base pour éviter tout contact avec le mamelon. La gaze inférieure, découpée dans sa partie supérieure de façon symétrique à la base de la compresse supérieure, est apposée sur les orifices galactophores du mamelon de telle sorte que tout suintement de lait y est absorbé sans contaminer l'autre gaze (cf. Figure 3).

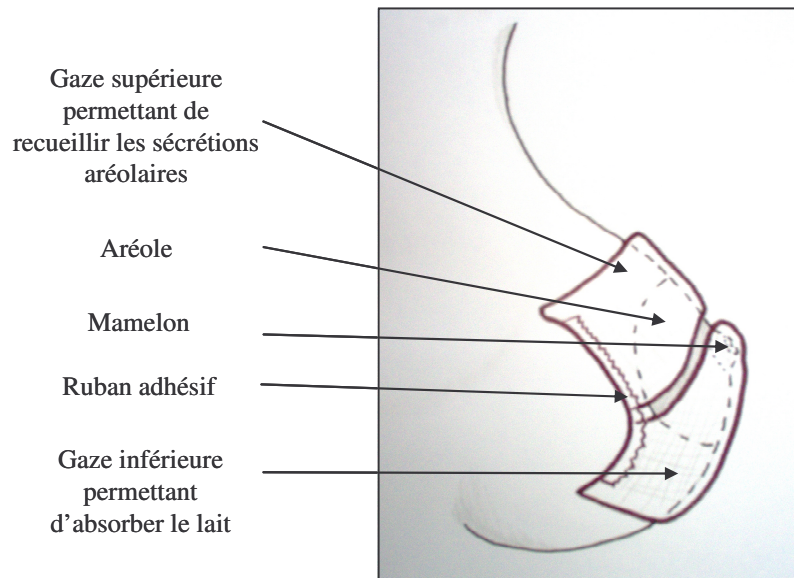


Figure 3 : Schéma de la méthode de recueil des sécrétions aréolaires sans contamination par le lait.

d) Odeur du cou

L'odeur du cou est recueillie sur une gaze appliquée dans le creux du cou au-dessous de l'oreille et fixée grâce à un ruban adhésif microporeux inodore (Hansaplast®, Savigny-le-temple, France). Cette zone a été choisie parce que c'est une zone corporelle éloignée de la zone mammaire à laquelle l'enfant est souvent exposé en dehors du contexte d'allaitement.

d) Stimulus témoin

Le stimulus témoin est constitué d'un tampon de gaze sur lequel 20 gouttes d'une eau minérale (Volvic®) sont déposées de façon standardisée.

e) Equilibre hygrométrique des stimulations

Les nouveau-nés se montrant réactifs à la vapeur d'eau inhalée (Soussignan et al., 1997), les stimulations sont systématiquement équilibrées en humidité. A cette fin, 20 gouttes d'eau sont ajoutées sur toute stimulation sèche (de l'aréole, du cou et parfois du sein) juste avant le test olfactif.

2.2.2. Exposition aux différentes stimulations olfactives avant le test

L'évaluation du degré d'exposition de l'enfant à différentes zones du corps maternel, de la naissance jusqu'au moment du test, a été réalisée à partir d'un questionnaire journalier rempli par la mère avec l'assistance de l'expérimentatrice (cf. Annexes 2 et 3). De ce relevé il ressort qu'avant le test, les nouveau-nés testés ont été directement exposés à l'odeur du sein lors des tétées pendant une

durée totale de 6 h 50 min \pm 3 h 12 min (moyenne \pm écart type) et ont été en contact indirect avec le sein à l'occasion de portages dans les bras de la mère à raison de 25 h 30 min \pm 13 h 46 min. Ils ont également été exposés directement à l'odeur du cou maternel pendant une durée moyenne de 1 h 10 min \pm 1 h 55 min. En conséquence, les enfants ont pu, au cours de ces multiples expositions, se familiariser aux odeurs du sein, du lait et du cou au cours des premiers jours postnataux. Les durées totales d'exposition sont homogènes dans les différents groupes d'enfants testés [$F(4, 60) < 2, p > 0.05$].

2.3. Procédure expérimentale

2.3.1. Conditions générales

Les tests olfactifs sont menés dans un local réservé à cet effet où la lumière est atténuée (de manière compatible avec l'enregistrement vidéo), la température constante (22-24°C), et les bruits parasites réduits au maximum. En particulier, la mère, toujours présente, est tenue de garder le silence pendant la durée du test. Les tests olfactifs ont lieu entre 7 et 14 h, en période pré-prandiale (3 h \pm 1 h 29 min en moyenne après la dernière tétée) pour limiter les phénomènes d'alliesthésie négative, dont on a démontré par ailleurs qu'ils interviennent chez le nouveau-né (Soussignan, Schaal, & Marlier, 1999). L'intervalle de temps entre la dernière tétée et le test ne modifie pas les réponses des enfants aux différents tests de double-choix (cf. Annexe 1).

2.3.2. Dispositif

Le dispositif utilisé a été mis au point par B. Schaal et J.P. Lecanuet, et mis en oeuvre dans le cadre des études sur l'olfaction néonatale réalisées depuis 1994 (Schaal et al., 1995).

a) Environnement général

Les nouveau-nés sont installés à l'intérieur d'une cabine faite de tubes métalliques (1 x 2 x 0.7 m) recouverte d'un tissu de couleur claire, destiné à homogénéiser l'environnement visuel du nouveau-né. Cette cabine est équipée d'un plateau fixé à 80 cm du sol. Les enfants sont assis dans un siège (conçu par D. Mellier au laboratoire de Psychologie Cognitive de Rouen) dont le dossier est incliné de 25° par rapport à la verticale. Ce siège est constitué de mousse de polyuréthane recouvert d'un tissu éponge blanc. Les enfants sont ceints d'un large tissu élastique qui permet de les maintenir dans une position semi-verticale. Cette position favorise la libre rotation de la tête et optimise les capacités attentionnelles du nouveau-né (Schaal et al., 1995).

b) Dispositif de double-choix

Un dispositif en forme de U en aluminium anodisé sert de support pour les stimulations olfactives. Il est relié au cadre métallique de la cabine par un bras articulé en acier chromé inoxydable. L'expérimentateur peut ainsi ajuster la position du dispositif avant le test olfactif pour maintenir les tampons odorants à équidistance (à 1-2 cm) du nez de l'enfant, afin que les mouvements d'orientation de la tête ne soient pas déclenchés par des stimulations tactiles. Un repère visuel permet de standardiser la disposition des stimulations olfactives dans les champs angulaires de 20 à 70° par rapport au plan sagittal du sujet (cf. Figure 4). Ce repère sert aussi à délimiter les mouvements d'orientation céphalique de l'enfant lors de l'analyse comportementale. Une caméra vidéo (Sony Hi8 TR45, sensibilité : 1 Lux, inaudible, télécommandée) est fixée sur le cadre à 65 cm au-dessus et en avant de la tête du nouveau-né. Elle permet d'enregistrer ses mouvements d'orientation de la tête, ainsi que son activité orale. Lors de la passation du test, l'expérimentatrice se tient à l'arrière du nouveau-né, hors de son champ de vision.

c) Présentation des stimulations

Les stimulations sont fixées sur le support à l'aide de pinces à dessin (cf. Figure 4). Leur position latérale est alternée pour chaque sujet de sorte que le nombre de présentations des stimulations à droite et à gauche est égalisé pour chaque comparaison d'odeurs.

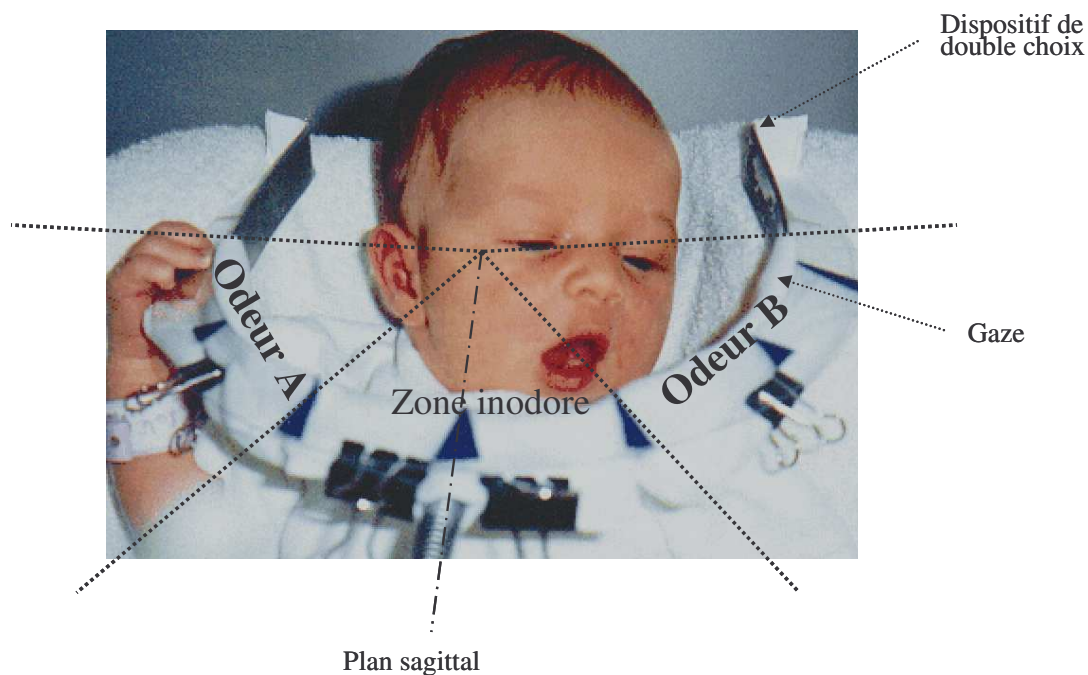


Figure 4. Dispositif de double-choix qui permet la présentation symétrique des stimulations olfactives.

2.3.3. Stade d'activation néonatal

Les nouveau-nés sont testés dans un stade d'éveil calme, mais actif (stades 3 et 4 de la classification de Prechtl, 1974), qui se caractérise du point de vue comportemental par l'ouverture des yeux, une activité faible à modérée des membres, et une absence de pleurs soutenus. Si le nouveau-né ne se trouve pas dans un stade adéquat juste avant le test olfactif, il est doucement manipulé pour être amené au stade propice. Dans le cas où il est peu actif, il est stimulé tactilement notamment dans le creux des mains. Inversement, s'il commence à s'activer, il est calmé par des bercements ou des vocalisations. Lorsque le nouveau-né atteint le stade de vigilance requis, il est installé dans le siège, dans une posture rectiligne qui favorise le centrage céphalique, puis est amené sous l'objectif de la caméra. Il en va sans dire (cf. paragraphe 2.1.1.) que l'obtention du stade de vigilance adéquat est extrêmement difficile chez le nouveau-né.

2.3.4. Procédure de test olfactif

Les tampons odorants, fixés sur le support en demi-cercle (Figure 4), sont alors présentés au nouveau-né. Chaque test est composé de deux demi-tests d'une minute, précédés d'une brève phase de pré-exposition aux stimulations, suivant en cela la procédure mise au point par Macfarlane (1975). Au cours de cette phase, l'expérimentatrice oriente la tête de l'enfant de façon à positionner son nez face à chacune des stimulations pendant 5 secondes. L'ordre et le côté de cette pré-exposition aux stimuli sont alternés à chaque test de telle sorte que toutes les possibilités d'ordre et de côté soient égalisées dans chaque groupe de sujets. La tête du nouveau-né est ensuite centrée et maintenue jusqu'à dissipation de l'asymétrie tonique du cou. Le début du test olfactif correspond au moment où la tête du nouveau-né est libérée. L'enfant est alors filmé pendant 1 minute. A l'issue de ce premier demi-test la position latérale des stimulations est inversée pour pallier tout effet de latéralisation précoce des mouvements de la tête. Les réponses sont enregistrées au cours d'un second demi-test d'une minute, après pré-exposition aux deux gazes odorantes. Un intervalle de 2 à 3 minutes est respecté entre les deux demi-tests pour limiter les phénomènes d'adaptation olfactive. Chaque nouveau-né n'a été testé qu'une seule fois pour éviter toute familiarisation avec le contexte expérimental. Les nouveau-nés ont été intégrés dans les analyses dès lors qu'ils se sont orientés au moins une fois vers chaque stimulation pendant une durée minimale de 2 secondes au cours des deux demi-tests.

2.3.5. Conditions d'hygiène

Avant toute manipulation de l'enfant, l'expérimentatrice se lave les mains avec un savon antiseptique peu odorant à base de chlorhexidine (Hibiscrub®, Astrazeneca, Rueil-

Malmaison), et elle renouvelle cette opération à la fin de chaque test. Après chaque expérience, le support à stimulations est nettoyé à l'éthanol absolu. En fin de journée, le dispositif de test est nettoyé à l'Incidine® (mélange bactéricide et fongicide ; Henkel-Ecolab, Carros), et le local aéré. Le tissu éponge recouvrant le siège en mousse est également désinfecté et régulièrement lavé.

2.4. Analyse comportementale

2.4.1. Conditions générales

Les enregistrements vidéo ont été codés en temps réel par un juge aveugle quant à la position latérale des stimulations. Le logiciel Observer (version 2.0 ; Noldus, 1991) utilisé pour cette tâche permet d'attribuer à certaines touches du clavier de l'ordinateur des unités comportementales pré-définies. Le début et la fin de chaque événement sont enregistrés avec une précision de 0.1s. A partir de ce codage plusieurs variables sont quantifiées.

2.4.2. Variables dépendantes

Les variables quantifiées reposent sur deux comportements, l'orientation latérale de la tête et les mouvements buccaux et linguaux.

a) L'orientation céphalique

Un repère angulaire permet de diviser en cinq secteurs la trajectoire possible de 180° que peut balayer le nez du nouveau-né (Figure 4). Deux secteurs, situés de 20 à 70° de part et d'autre du plan sagittal du sujet, correspondent aux stimulations olfactives. Le repère d'orientation est le bout du nez de l'enfant. Est considérée comme orientation positive, tout positionnement du nez de l'enfant au-dessus des secteurs correspondant aux stimulations. Est considérée comme non orientation tout éloignement du bout du nez de l'enfant du dispositif de présentation des stimulations d'au moins 5 cm à cause d'éternuements, de bâillements, ou d'activation motrice excessive. Ce type de réponse est apparu dans 25% des tests (16 / 65), dans lesquels la durée totale de non orientation ne dépassait pas 9.7 s.

Le nombre d'entrées dans chaque secteur de stimulation est compté et leur total cumulé par demi-test. Ce nombre est un indicateur de l'activité céphalique de l'enfant sur les stimulations. De même le nombre de franchissement de la ligne médiane (plan sagittal) est évalué pour mesurer la bilatéralité de l'activation des nouveau-nés dans la situation de test.

Pour chaque sujet, et pour un même test, les durées d'orientation vers les secteurs de stimulation sont additionnées pour chacune des odeurs comparées, puis elles sont rapportées à la durée totale

d'orientation vers les deux stimulations (qui correspond à la durée totale du test de 120 s de laquelle est éventuellement soustraite la durée de non orientation). Ce sont ces durées relatives qui ont été prises en compte dans les traitements statistiques.

b) L'activité buccale

Elle est mesurée par la durée de plusieurs comportements élémentaires : mouvements de succion, de léchage, protrusion de la langue, ouverture de la bouche, contacts main-bouche (en excluant les bâillements et mimiques liées aux pleurs passagers). Ces items ont été regroupés en une seule catégorie, en raison de leur manifestation brève au cours du test. Les durées de ces activités buccales exprimées par chaque enfant au cours des deux demi-tests sont cumulées puis rapportées à la durée totale d'orientation vers les deux stimulations.

Le nombre d'orientations vers chaque secteur de stimulation fournit un indice d'activité motrice bilatérale. La durée d'orientation céphalique face à chaque stimulation mesure la recherche et l'attention dirigée vers une odeur (Kuhl, 1985 ; Schaal, 2005). Ces deux variables peuvent être utilisées comme indices de motivation exploratoire. Quant à la durée d'activité buccale face à chaque stimulation, elle est interprétée comme reflétant une réponse pré-ingestive appétitive (Soussignan et al., 1997, 1999 ; Sullivan & Toubas, 1998 ; Schaal, 2005).

Finalement, un score de réponse préférentielle a été calculé à partir de chaque type de réponse comme suit : (réponse envers A – réponse envers B) / (réponse envers A + réponse envers B) ; l'odeur A représentant les odeurs corporelles du sein, de l'aréole, ou du cou, et l'odeur B l'odeur du lait ou le stimulus témoin. Ce score est utilisé pour vérifier si les réponses différentielles des enfants varient en fonction de l'intervalle entre la dernière exposition aux odeurs testées et le test et la durée de conservation des stimulations mises sous sachet à température ambiante (Annexe 1).

2.4.3. Fiabilité des mesures

Pour valider les analyses ci-dessus, un codage a été effectué en parallèle par un second observateur ignorant le côté de présentation et la nature des stimulations testées. Ce codage a porté sur 20 tests tirés au hasard parmi les 65 tests réalisés. Le coefficient de corrélation de Spearman indique un degré d'accord élevé pour chaque type de réponse et envers chacune des deux stimulations comparées. En ce qui concerne l'orientation céphalique, les coefficients de corrélation entre les évaluations des deux observateurs portant sur les durées, latences et nombres d'entrées s'élèvent respectivement à 0.91, 0.93 et 0.89 pour l'odeur A et à 0.95, 0.96

et 0.92 pour l'odeur B. En ce qui concerne le codage de l'activité orale, les coefficients de corrélations portant sur la durée atteignent respectivement 0,93 et 0.95 pour l'odeur A et 0,95 et 0.97 pour l'odeur B.

2.5. Analyses statistiques

Une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées considérant le sexe comme facteur inter-sujet et la nature du stimulus olfactif (2 modalités) comme facteur intra-sujet, a été réalisée pour chaque test. Le facteur sexe est pris en compte dans ces analyses parce que plusieurs études examinant les réponses d'orientation préférentielle ont mis en évidence des différences de réponses entre nouveau-nés des deux sexes (Makin & Porter, 1989 ; Porter, Makin, Davis & Christensen, 1991). Des tests *post hoc* (t de Student bilatéral pour données appariées) ont ensuite été effectués afin de localiser les effets pour chaque interaction entre le facteur sexe et le facteur nature du stimulus. La proportion de sujets qui s'orientent plus durablement vers l'un ou l'autre stimulus a été comparée, à l'aide du test du χ^2 , à la proportion qui serait observée si l'orientation était déterminée par le hasard.

Des corrélations de Pearson ont également été calculées pour vérifier si la durée de conservation des stimulations à l'issue de leur recueil, ou encore l'intervalle de temps entre la dernière tétée et le moment du test, modifient les scores de réponse.

Enfin, des ANOVAs d'ordre 1 ont permis de vérifier si l'activité d'orientation céphalique bilatérale néonatale varie soit en fonction du groupe, soit selon le sexe des enfants.

L'ensemble des tests statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel Statistica (version 5.1, Statsoft, USA).

3. Résultats

3.1. Comportement général des nouveau-nés dans la situation de test

Les nouveau-nés ont manifesté un comportement actif d'orientation céphalique bilatérale dans le dispositif de double-choix. Au cours du test de 2 minutes, ils ont en moyenne franchi la ligne médiane 16.4 ± 7.1 fois (extrêmes : 1-39) et ont positionné 10.7 ± 4.8 fois (extrêmes : 1-33) leur nez face à chaque secteur de stimulation. Aucune différence n'est apparue entre les groupes d'enfants testés [$F(4, 60) = 0.40$ et 0.91 , $p > 0.05$ dans les deux cas], et ces

indicateurs d'activité générale ne varient pas non plus en fonction du genre [$F(1, 63) = 0.37$ et 0.58 , $p > 0.05$ dans les deux cas].

3.2. Réponses néonatales envers diverses odeurs mammaires

Ce premier ensemble d'expériences a pour but de comparer le pouvoir attractif de différentes fractions odorantes du sein. Il vise à examiner dans quelle mesure la fraction lactée peut présenter un statut sensoriel ou hédonique particulier pour l'enfant nouveau-né.

3.2.1. Expérience 1 : odeur globale du sein versus stimulus témoin

La première expérience a été réalisée non seulement dans le but de vérifier si le nouveau-né humain a la capacité de détecter l'odeur complexe des sécrétions mammaires, mais aussi pour re-examiner l'effet de cette odeur chez le nouveau-né éveillé en situation pré-prandiale.

Méthode : Onze nouveau-nés âgés de 3 jours (6 filles, 5 garçons) ont été exposés à l'odeur globale du sein en même temps qu'à un stimulus témoin.

Résultats : (illustrés Figure 5)

Nombre d'orientations : L'ANOVA d'ordre 2 (odeur x sexe) met en évidence un effet principal de la nature du stimulus olfactif [$F(1,9) = 14.3$, $p = 0.004$] et une interaction entre la nature de l'odeur et le sexe [$F(1,9) = 14.3$, $p = 0.004$]. Ces effets indiquent que les nouveau-nés sont entrés plus souvent dans le secteur de l'odeur du sein maternel (13.1 ± 3.6) que dans le secteur témoin (10.5 ± 3.7). Mais cette réponse est différenciée uniquement chez les filles [Filles : sein : 14.2 ± 4.1 , témoin : 9.5 ± 4.0 , $t(5) = 7.59$, $p = 0.0006$; garçons : sein : 11.8 ± 2.8 , témoin : 11.8 ± 3.1 , $t(4) = 0$, $p > 0.05$].

Durée d'orientation : L'ANOVA révèle un effet principal de la nature du stimulus olfactif [$F(1,9) = 7.80$, $p = 0.02$], mais aucun effet principal ou interactif du sexe n'est révélé sur cette variable. La durée relative moyenne d'orientation céphalique des nouveau-nés vers l'odeur globale du sein maternel (0.404 ± 0.098) est significativement supérieure à celle vers le stimulus témoin (0.290 ± 0.061). En outre, cette orientation préférentielle vers l'odeur du sein s'est avérée générale puisque 9 enfants sur 11 l'ont manifestée ($\chi^2 = 4.4$, $p = 0.035$).

Durée d'activité buccale : L'ANOVA ne dévoile qu'un effet principal de la nature des stimulations olfactives [$F(1,9) = 5.7, p = 0.04$], qui témoigne d'une durée relative moyenne d'activité buccale plus longue face à l'odeur du sein (0.161 ± 0.042) que face au stimulus témoin (0.098 ± 0.071). Cette réponse préférentielle d'activité buccale vers l'odeur du sein est notée chez 9 des 11 enfants testés ($\chi^2 = 4.4, p = 0.035$).

Conclusions

Cette expérience confirme que les nouveau-nés de 3 jours détectent et sont attirés par l'odeur globale du sein maternel, confortant les résultats de plusieurs études antérieures qui révèlent que les enfants nouveau-nés s'orientent plus longuement vers l'odeur du sein maternel que vers une stimulation témoin inodore (Macfarlane, 1975 ; Schaal et al., 1980 ; Schaal, 1986), et qu'ils intensifient leur activité buccale appétitive face à cette odeur (Russel, 1976 ; Sullivan & Toubas, 1998). L'odeur du sein semble de plus stimuler l'activation de mouvements céphaliques bilatéraux. Une étude récente réalisée in situ révèle en effet que, placés en position d'allaitement à une distance de 2-3 cm du sein, les nouveau-nés manifestent non seulement une activation de mouvements buccaux appétitifs mais aussi une intensification de réponses céphaliques bilatérales ; et ce de façon plus marquée lorsque l'effluve mammaire est perceptible par l'enfant que lorsqu'elle est masquée (Doucet, Soussignan, & Schaal, 2004 ; Doucet, Soussignan, Sagot, & Schaal, 2007). Les résultats de ces deux études confirment que l'odeur du sein pourrait être responsable de l'activité appétitive manifestée par le nouveau-né avant la tétée. On peut à présent s'interroger sur le pouvoir d'activation relatif de différentes sécrétions du sein allaitant.

3.2.2. Expérience 2 : odeur globale du sein versus odeur du lait

L'expérience précédente a permis de mettre en évidence le pouvoir attractif, activateur et appétitif de l'odeur du sein maternel par comparaison à un stimulus inodore. Des travaux antérieurs ont montré que l'odeur du lait maternel présentée isolément est également attractive et appétitive pour le nouveau-né de 3 jours (Marlier & Schaal, 1997 ; Marlier et al., 1998a). Pour examiner si l'odeur du lait peut rendre compte à elle seule du pouvoir de l'ensemble des sécrétions mammaires, nous avons, dans cette deuxième expérience, placé les nouveau-nés dans une situation de choix entre ces deux odeurs.

Méthode : Ce contraste olfactif a été proposé à 14 nouveau-nés de 3 jours (7 filles, 7 garçons). Les réponses d'activité buccale n'ont pu être mesurées que chez 13 d'entre-eux (pour une fille les mouvements buccaux ont été masqués par le dispositif tout au long du test).

Résultats : (illustrés Figure 5)

Le facteur sexe n'a pas d'effet sur les réponses mesurées dans la présente expérience.

Nombre d'orientations : L'ANOVA met en évidence un effet principal marginal du stimulus olfactif [$F(1,12) = 4.2, p = 0.06$], indiquant que le nombre d'entrées sur le secteur de l'odeur globale du sein (11.0 ± 4.4) tend à dépasser le nombre d'entrées sur le secteur de l'odeur du lait (8.4 ± 3.9).

Durée d'orientation : Les nouveau-nés paraissent s'orienter plus longuement vers l'odeur globale du sein maternel (0.382 ± 0.167) que vers l'odeur du lait (0.273 ± 0.168), mais cette différence n'est pas significative [$F(1,12) = 1.88, p > 0.05$]. Seuls 8 enfants sur 14 se sont dirigés préférentiellement vers l'odeur globale du sein ($\chi^2 < 1, p > 0.05$).

Durée d'activité buccale : Les durées relatives d'activité buccale vers l'odeur globale du sein (0.142 ± 0.085) et vers l'odeur du lait (0.098 ± 0.081) ne diffèrent pas de façon significative [$F(1,11) = 1.37, p > 0.05$]. En outre, 9 participants sur 13 ont montré une activité buccale plus durable face à l'odeur globale du sein. Cette proportion ne se distingue pas d'une proportion aléatoire ($\chi^2 = 1.92, p > 0.05$).

Conclusions

Ces résultats indiquent dans l'ensemble, que le nouveau-né est autant attiré par l'odeur du sein maternel que par l'odeur du lait présenté isolément. Il se dirige aussi longtemps et manifeste autant de mouvements oraux vers l'une ou l'autre stimulation. Néanmoins, l'odeur complète du sein paraît déclencher légèrement plus de mouvements céphaliques de rotation bilatérale que l'odeur du lait présenté isolément. Cette donnée est en accord avec l'étude réalisée in situ, citée ci-dessus (Doucet et al., 2004, 2007), qui révèle que l'odeur complète du sein déclenche plus de mouvements de « rooting » que la fraction lactée isolée. Le nouveau-né pourrait donc être plus activé par l'odeur globale des sécrétions mammaires que par l'odeur de la seule fraction lactée.

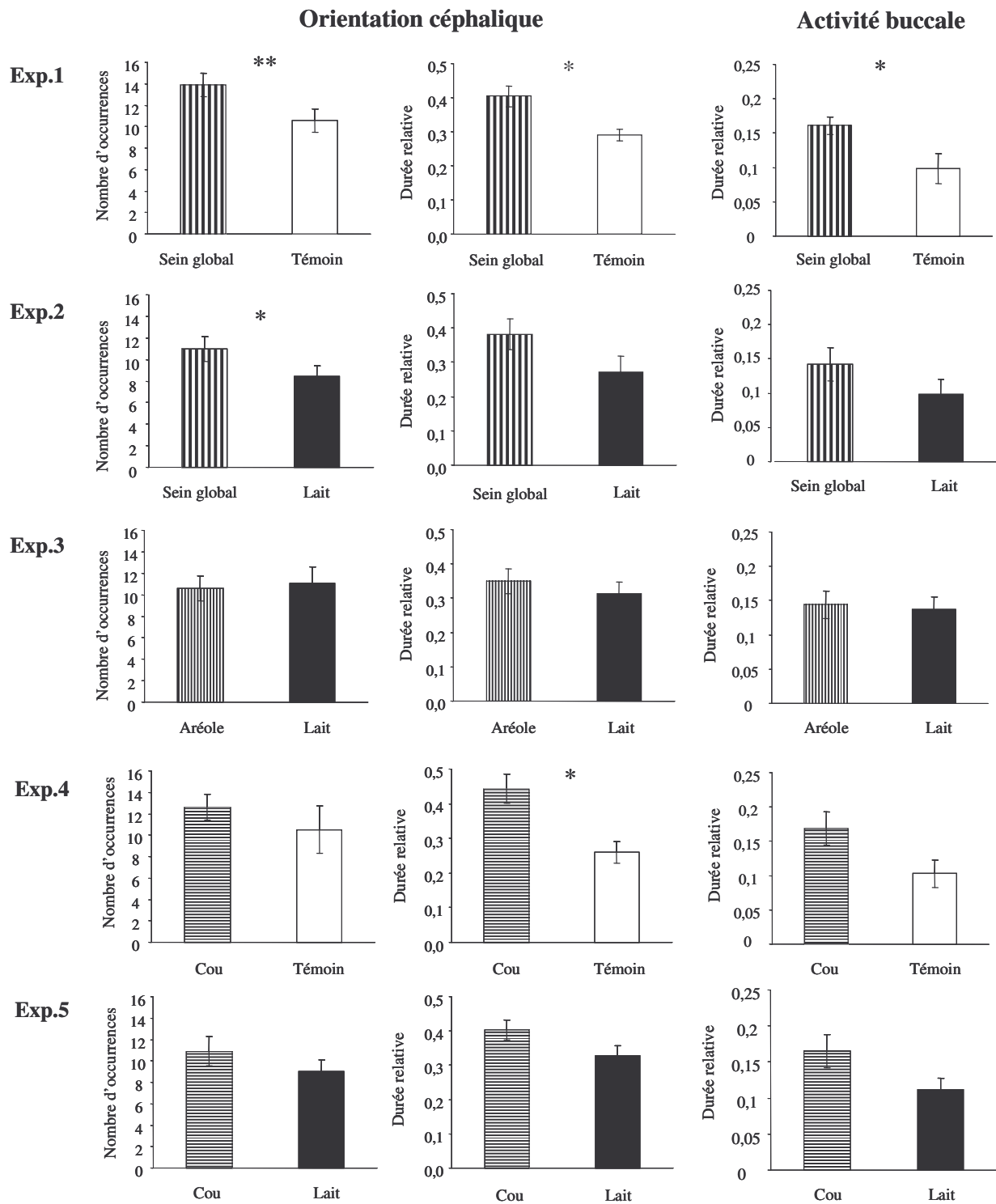


Figure 5. Nombre, durées relatives d'orientation et d'activité buccale (moyennes \pm erreurs types) vers chacune des stimulations olfactives comparées dans les expérience 1 à 5.

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$ (ANOVA d'ordre 2).

3.2.3. Expérience 3 : Odeur de l'aréole sein versus odeur du lait

En considérant la variable indicatrice de l'exploration céphalique bilatérale, les enfants ont une tendance à être plus actifs du côté de l'odeur globale du sein que de celui de l'odeur du lait présenté isolément. Ces deux stimulations diffèrent par la présence de sécrétions aréolaires. On ne peut exclure que ces sécrétions aréolaires pourraient conférer à l'odeur globale du sein une valeur attractive différente ou additionnelle à celle du lait. Dans cette expérience, en exposant les enfants à un choix entre l'odeur des sécrétions aréolaires recueillies sans la fraction lactée et l'odeur du lait prélevé isolément, nous examinons leurs valeurs réactogènes relatives.

Méthode : Quatorze nouveau-nés de 3 jours (7 filles, 7 garçons) ont été observés dans cette situation de choix (un garçon a dû être écarté des analyses de l'activité buccale, sa bouche n'étant pas visible tout au long du test olfactif).

Résultats : (illustrés Figure 5)

Les ANOVAs réalisées à partir des différentes variables mesurées lors de ce test de choix n'ont révélé aucun effet significatif, principal, ou interactif des facteurs odeur et sexe.

Nombre d'orientations : Les enfants ont dirigé leur nez autant sur le secteur de l'odeur de l'aréole du sein (10.6 ± 4.3) que sur celui de l'odeur du lait (11.1 ± 5.6), [F(1,12) = 0.15, $p > 0.05$].

Durée d'orientation : Les nouveau-nés se sont orientés autant vers le stimulus aréolaire (0.349 ± 0.138) que vers le stimulus lacté (0.313 ± 0.130), [F(1,12) = 0.32, $p > 0.05$]. Les résultats individuels confirment cette réponse indifférenciée puisque la moitié des sujets s'est orientée plus longtemps vers l'odeur de l'aréole, l'autre vers l'odeur du lait ($\chi^2 = 0$, $p > 0.05$).

Durée d'activité buccale : Les nouveau-nés ont paru autant activés par l'odeur du lait (0.137 ± 0.065) que par l'odeur des sécrétions aréolaires (0.144 ± 0.072), [F(1,11) = 0.07, $p > 0.05$]. En outre, les réponses préférentielles sont apparues aléatoires, puisque que 7 enfants se sont activés plus durablement face à la stimulation aréolaire, alors que les 6 autres enfants ont manifesté une tendance inverse ($\chi^2 < 1$, $p > 0.05$).

Conclusion

Dans nos conditions de test, les nouveau-nés n'expriment pas de réponse différentielle entre l'odeur de l'aréole et celle du lait de leur mère. Des résultats convergents ont été reproduits dans d'autres conditions expérimentales lorsque des nouveau-nés sont directement exposés au sein maternel (Doucet et al., 2004, 2007). Dans ces conditions aussi, les nouveau-nés manifestent autant de mouvements appétitifs lorsque le sein est complètement découvert que lorsque seules les régions aréolaire ou mamillaire sont découvertes, ou que lorsque le lait est présenté isolément (Doucet et al., 2004, 2007).

L'équivalence des effets comportementaux de ces deux odeurs peut s'expliquer de deux façons. Premièrement, elles pourraient partager des composés communs. Les deux substrats comportent tous deux du lait. L'aréole du sein comporte, en effet, des glandes dites de Montgomery (Figure 2) constituées de lobules mammaires et de glandes sébacées, (Schaal et al., 2006). Bien que cette sécrétion de lait aréolaire soit quantitativement faible par rapport au flux lacté principal, il ne peut être exclu qu'elle soit porteuse des mêmes propriétés attractives et appétitives que le lait lui-même.

Deuxièmement, les odeurs du lait et de l'aréole sont perçues dans les mêmes conditions de renforcement associé à l'allaitement. Elles pourraient donc acquérir une signification psychologique équivalente pour l'enfant. Si cette deuxième hypothèse est correcte, toute odeur associée au sein maternel ou plus généralement, au corps maternel, devrait avoir des propriétés d'activation des comportements d'attraction et d'appétence.

3.3. Les réponses néonatales à l'égard de l'odeur du lait et de l'odeur non mammaire du cou

Les différentes sécrétions du sein testées ont, à peu de choses près, les mêmes conséquences comportementales sur le nouveau-né de 3 jours : elles déclenchent des réponses d'orientation positive de la tête et d'activation buccale. Pour examiner si ce pouvoir attractif est spécifique aux odeurs mammaires, nous avons comparé les réponses néonatales à une odeur mammaire et à une odeur non mammaire. Le lait étant la fraction mammaire la plus facile à recueillir, c'est son odeur que nous examinerons. L'odeur non mammaire sélectionnée est celle du cou, parce que cette région ne comporte pas de glandes sécrétant de substrat lactescent (cf. Figure 2) et parce que l'enfant y est exposé dans un contexte fonctionnel différent de la tétée (au cours des moments paisibles qui suivent la tétée ou pour apaiser les pleurs).

3.3.1. Expérience 4 : Odeur du cou versus témoin

Dans un premier temps, nous avons réalisé une expérience pour vérifier que l'odeur du cou maternel est détectée par le nouveau-né, et pour examiner si elle exerce des effets d'activation des mouvements céphaliques et buccaux.

Méthode : Douze nouveau-nés de 3 jours (6 filles, 6 garçons) ont été mis en situation de choix entre l'odeur du cou maternel et un stimulus témoin.

Résultats : (illustrés Figure 5)

Aucun effet du facteur sexe n'est ressorti des analyses dans cette expérience.

Nombre d'orientations : Les enfants se sont orientés à peu près aussi souvent vers l'odeur du cou (12.6 ± 4.1) que vers le stimulus témoin (10.9 ± 7.8), [$F(1,10) = 2.46$, $p > 0.05$].

Durée d'orientation : L'effet principal du stimulus olfactif mis en évidence par l'ANOVA [$F(1,10) = 6.34$, $p = 0.03$] confirme que les nouveau-nés s'orientent plus durablement vers l'odeur du cou (0.443 ± 0.147) que vers le témoin (0.260 ± 0.112). Cet effet est général puisque 10 enfants sur 12 se sont tournés plus longuement vers le stimulus du cou que vers le stimulus témoin ($\chi^2 = 5.3$, $p = 0.02$).

Durée d'activité buccale : La durée relative moyenne d'activité buccale observée face à l'odeur du cou (0.169 ± 0.082) est marginalement supérieure à celle observée face au stimulus témoin (0.103 ± 0.069), [$F(1,10) = 3.88$, $p = 0.077$]. Les réponses individuelles vont dans le même sens, 8 nouveau-nés sur 12 ayant manifesté cette réponse préférentielle ($\chi^2 = 1.33$, $p > 0.05$).

Conclusion

L'odeur du cou maternel est bien détectée par le nouveau-né de 3 jours et est attractive pour lui ce qui confirme les résultats d'études antérieures (Schaal et al., 1980 ; Schaal, 1986). Toutefois, cette odeur ne semble pas déclencher plus de mouvements buccaux appétitifs que le stimulus témoin. En comparaison des résultats de l'Expérience 1, ceux de la présente expérience suggèrent que les odeurs du sein et du cou n'évoquent pas les mêmes réponses comportementales chez le nouveau-né. Si des réponses d'orientation positive de la tête sont notées dans les deux cas, il n'en va pas de même pour les réponses buccales. En effet, les enfants manifestent une réponse appétitive plus importante face à l'odeur du sein que face au

témoin mais n'expriment pas une telle réponse différentielle lorsque l'odeur du cou est opposée à un témoin. Le contexte fonctionnel à laquelle chacune de ces odeurs a été associée pourrait expliquer cette différence, car seule l'odeur du lait est associée à un contexte de prise lactée suscitant des mouvements buccaux appétitifs. La différence de quantité d'exposition préalable à chacune de ces odeurs pourrait aussi être à l'origine de la différence de réponses observée, dans la mesure où les nouveau-nés ont été exposés 5 fois plus à l'odeur du sein qu'à celle du cou au cours des 3 premiers jours postnatals (cf. paragraphe 2.2.2). Pour évaluer l'impact relatif des odeurs du cou et du sein, ces odeurs sont directement mises en opposition dans l'Expérience suivante.

3.3.2. Expérience 5 : Odeur du cou versus odeur du lait

Cette expérience vise à comparer la réactivité néonatale envers les odeurs maternelles du lait et du cou, pour vérifier si les effets attractifs, appétitifs, et activateurs mis en évidence dans les expériences 1 à 3 sont particuliers aux odeurs mammaires.

Méthode : Quatorze nouveau-nés de 3 jours (7 filles, 7 garçons) ont été mis en situation de choix entre l'odeur du cou et l'odeur du lait maternels. L'activité buccale n'a pu être analysée que sur 13 enfants.

Résultats : (illustrés Figure 5)

Aucun effet des facteurs d'odeur ou de sexe n'est ressorti des ANOVAs réalisées à partir des différentes variables mesurées lors de ce test de choix.

Nombre d'orientations : Les enfants sont entrés autant dans le secteur de la stimulation du cou (10.9 ± 5.2) que dans celui de la stimulation du lait (9.0 ± 4.1), [F(1,12) = 2.83, $p > 0.05$]. Huit participants se sont dirigés plus souvent vers l'odeur du cou, 5 vers l'odeur du lait, et 1 dernier n'a pas présenté de réponse différenciée ($\chi^2 < 1$, $p > 0.05$).

Durée d'orientation : Les nouveau-nés ont dirigé leur nez aussi longuement vers la stimulation du cou (0.404 ± 0.108) et du lait (0.327 ± 0.112), [F(1,12) = 2.2, $p > 0.05$]. Huit participants se sont orientés plus longuement vers l'odeur du cou, alors que 6 autres ont préféré s'orienter vers l'odeur du lait ($\chi^2 < 1$, $p > 0.05$).

Durée d'activité buccale : Les durée relatives moyennes d'activité buccale sont apparues similaires face à l'odeur du cou (0.165 ± 0.084) et à l'odeur du lait (0.112 ± 0.058), [F(1,11) =

2.59, $p > 0.05$]. Seuls 7 enfants sur les 13 observés se sont activés plus durablement vers l'odeur du cou ($\chi^2 < 1$, $p > 0.05$).

Conclusion

Les enfants ne semblent pas manifester de réponse comportementale distincte entre les deux stimulations. Celles-ci paraissent être quasi-également attractives pour les nouveau-nés, déclenchant chez eux, en moyenne, autant de mouvements buccaux et de rotation céphalique. Ce résultat indique que des odeurs qui ont des compositions différentes et qui sont perçues dans des situations différentes peuvent déclencher des réponses d'attraction et d'appétence similaires, et ne confirment pas les conclusions tirées de la comparaison des tests témoins (Expériences 1 et 4).

Il semblerait que les odeurs d'origine mammaire n'aient pas de statut d'attraction ou d'appétence particulier pour le nouveau-né, en tout cas dans une comparaison avec une autre odeur maternelle que l'enfant a aussi pu expérimenter avant le test au contact du cou maternel.

4. Discussion partielle

Les résultats des expériences 1 et 4 se placent dans la lignée des travaux sur la réactivité néonatale à l'égard des odeurs cutanées maternelles ayant été menés par différents groupes de recherche depuis les années 70 (Macfarlane, 1975 ; Russel, 1976 ; Schaal et al., 1980 ; Schaal, 1986 ; Varendi, Porter, & Winberg, 1994 ; Sullivan & Toubas, 1998). Ils confirment, dans des conditions différentes de présentation, que les odeurs du sein et du cou sont attractives pour le nouveau-né. Ils confirment également l'effet d'activation de mouvements buccaux par l'odeur du sein.

L'objectif principal de cette première série d'expériences visait à estimer la spécificité de l'effet de l'odeur du lait sur les réponses du nouveau-né. Cette spécificité a été examinée dans les expériences 2, 3, et 5 en comparant l'impact relatif de l'odeur du lait avec soit des odeurs provenant de la région mammaire soit des odeurs provenant d'une région non mammaire. Il ressort que les nouveau-nés manifestent une réponse d'attraction et d'appétence similaire envers le lait et les autres stimulations mammaires ou non mammaires. Une étude précédente, mettant en œuvre des conditions de test comparables va dans le même sens. Elle montre que des nouveau-nés de 15 jours nourris au sein sont attirés autant par l'odeur du sein maternel

que par son odeur axillaire (Porter, Makin, Davis, & Christensen, 1992). Les odeurs maternelles émises par des régions cutanées non mammaires peuvent donc avoir un pouvoir d'attraction et d'activation orale similaire à celui des odeurs mammaires. De telles réponses indifférenciées peuvent avoir deux causes majeures non mutuellement exclusives.

La première est liée à la composition chimique du lait et des sécrétions exocrines des glandes cutanées, qui bien que différentes, pourraient partager des notes communes. Trois sources de ressemblance sont envisageables. 1) En période de lactation, des composés spécifiques, attractifs et stimulants pour le nouveau-né pourraient être émis non seulement dans le lait, mais aussi dans d'autres productions exocrines cutanées comme par exemple celles des glandes sébacées et eccrines particulièrement abondantes au niveau du cou (Baillie, Ferguson, & Hart, 1966 ; Schaal & Porter, 1991). 2) Le transfert parallèle d'arômes issus de l'alimentation maternelle pourrait contribuer à marquer l'odeur du lait et des autres sécrétions cutanées. Un tel transfert d'arômes alimentaires dans le lait (voir par exemple, Galef & Sherry, 1973 ; Mennella et Beauchamp, 1991a,b, 1999 ; Desage, Schaal, Soubeyrand, Orgeur, & Brazier, 1996) et dans les sécrétions cutanées (Wallace, 1977 ; Mitchel & Smith, 2001 ; Moeser, See, van Heugten, Morrow, & van Kempen, 2003) est en effet bien documenté. 3) Enfin, des caractéristiques olfactives individuelles sous contrôle génétique pourraient toucher aussi bien la composition des sécrétions du cou que celle du lait. On sait maintenant que les caractéristiques génétiques individuelles influencent la qualité olfactive de différentes sécrétions corporelles (Wallace, 1977 ; Porter, Cernoch & Balogh, 1985 ; Roberts, Gosling, Spector, Miller, Penn, & Petrie, 2005 ; voir aussi Porter & Schaal, 2003, pour revue).

La seconde est liée à l'expérience olfactive préalable. En effet, les nouveau-nés de 15 jours nourris au sein se comportent différemment face à une situation de choix entre l'odeur du sein et l'odeur des aisselles si ces odeurs proviennent de leur propre mère ou d'une autre femme allaitante (Porter et al., 1992). Alors qu'ils ne manifestent pas de préférence lorsqu'ils ont été directement exposés à chacune de ces odeurs en période postnatale (dans le cas où elles proviennent de leur propre mère), ceux-ci montrent une réponse d'orientation différenciée lorsqu'ils n'ont pas rencontré ces odeurs dans leur environnement postnatal (dans le cas où les odeurs proviennent d'une femme non familière), s'orientant plus longuement vers l'odeur mammaire. L'acquisition de la signature olfactive maternelle en période postnatale, au cours de contacts peau-à-peau avec la mère, pourrait influencer les réponses indifférenciées des nouveau-nés envers les odeurs maternelles (Porter & Schaal, 2003 ; Mizuno, Mizuno, Shinohara, & Noda, 2004 ; Porter, 2004).

Les odeurs du lait et du cou pourraient aussi avoir acquis la même valeur attractive pour le nouveau-né par association, au cours des interactions avec la mère, à des événements qualitativement différents, mais ayant une valeur renforçante similaire. Cela sous-entend que l'odeur

du cou perçue dans une situation de portage maternel à l'issue des tétées ou pendant des moments d'apaisement mettant en jeu des stimulations maternelles de nature kinesthésique, tactile, et vocale, pourrait avoir acquis une valeur attractive et/ou affective similaire à l'odeur du lait acquise dans le contexte d'allaitement, alliant contact rapproché avec la mère, apport nutritif, et une multitude de stimulations sensorielles tactiles, auditives, visuelles et gustatives, toutes connues pour leur propriété de renforcement (DeCasper & Fifer, 1980 ; Blass, Ganchrow, & Steiner, 1984 ; Blass, 1994 ; Lavelli & Poli, 1998 ; Wendland-Carro, Piccinini, & Millar, 1999 ; Schaal, 2005).

En conclusion, dans ce premier ensemble d'expériences, il apparaît que l'odeur du lait ne permet de rendre compte que partiellement des propriétés attractives de l'odeur globale du sein maternel, car d'autres odeurs provenant soit du sein, soit d'une zone cutanée éloignée du sein, apparaissent aussi attractives que le lait. Cette indifférenciation perceptive ou hédonique peut recevoir deux hypothèses non exclusives. Elle pourrait reposer sur des composés volatils communs ou relever de l'expérience préalable avec les odeurs maternelles. C'est cette hypothèse que nous allons examiner dans la deuxième partie de ce travail, en choisissant des stimulations olfactives plus facilement maîtrisables en terme de recueil et de conservation, car les odeurs cutanées étudiées dans cette première série d'expériences évoluent rapidement (Schaal & Porter, 1991), et en ayant recours à un relevé plus précis de l'exposition aux stimulations testées en terme de durée et de fréquence.

PARTIE II

Influence de l'apprentissage olfactif en association avec la tétée

PARTIE II

Influence de l'apprentissage olfactif en association avec la tétée

1. Introduction

La première partie de ce travail a permis de confirmer que les nouveau-nés nourris au sein sont réactifs aux odeurs corporelles maternelles. Elle a également révélé que ceux-ci manifestent une certaine similarité de réponse envers diverses odeurs maternelles, qu'elles proviennent de la région mammaire ou non. Mais lorsque chacune des odeurs maternelles du sein, du lait, du cou ou des aisselles est contrastée avec l'odeur provenant de la zone correspondante chez une femme allaitante non familière, les nouveau-nés montrent une préférence pour les odeurs maternelles (Macfarlane, 1975 ; Russel, 1976 ; Schaal et al., 1980 ; Schaal, 1986 ; Marlier & Schaal, 1997 ; Marlier et al., 1998a ; Sullivan & Toubas, 1998). Cette différenciation indique que l'enfant nouveau-né peut acquérir un certain nombre d'indices olfactifs propres à la mère.

Cependant, l'odeur du lait humain s'avère particulièrement réactogène pour l'enfant né à terme ou prématurément, même lorsqu'il n'y a jamais été directement confronté (Russel, 1976 ; Soussignan et al., 1997 ; Bingham, Abassi & Sivieri, 2003 ; Mizuno & Ueda, 2004 ; Mizuno et al., 2004). Exposés simultanément à l'odeur du lait homospécifique (non familial) et à l'odeur d'un lait artificiel (non familial), les nouveau-nés nourris au sein manifestent une réactivité préférentielle pour le lait humain. Lorsque le même test est reproduit chez des nouveau-nés nourris au biberon depuis la naissance, ceux-ci s'orientent aussi plus longuement vers l'odeur du lait humain. Ce dernier résultat révèle que l'odeur du lait humain est plus attractive que l'odeur d'un lait d'origine bovine, ressemblant à celui que les enfants ont ingéré depuis la naissance (Marlier & Schaal, 2005). Cependant, si dans un autre test de choix, l'odeur du lait artificiel familial est opposée à l'odeur du lait humain (non familial), les nouveau-nés nourris au biberon ne s'orientent cette fois plus de façon différentielle vers chacun des stimuli contrastés, suggérant que les odeurs du lait humain et de la formule lactée familière ont un pouvoir attractif similaire.

A partir de ces données, trois conclusions peuvent être tirées :

- 1) Le lait humain est porteur d'un facteur attractif indéterminé dont le pouvoir ne dépend apparemment pas de l'apprentissage postnatal. Cette attraction des enfants humains envers le lait homospécifique pourrait relever de deux mécanismes distincts : (i) d'un apprentissage fœtal de propriétés odorantes idiosyncrasiques transférées par la mère dans le liquide amniotique et le lait (Schaal, 2005 pour revue) ; (ii) d'un éventuel facteur spécifique de l'espèce humaine tel un signal phéromonal du même type que celui récemment identifié dans le lait de lapine (Schaal, Coureaud, Moncomble, Langlois & Perrier, 2005, pour revue).
- 2) Les acquisitions olfactives postnatales dans le contexte de la prise lactée au biberon n'apparaissent pas changer de façon notable l'attraction pour le lait homospécifique.
- 3) L'attraction pour l'odeur du lait homospécifique pourrait demeurer équivalente sur le plan motivationnel à l'attraction envers des odeurs non homospécifiques acquises pendant la prise lactée au biberon.

Les différents modes de nourrissage ne semblent pas avoir la même influence sur le développement d'une réactivité néonatale préférentielle envers l'aliment familier. En effet, les nouveau-nés nourris au biberon depuis la naissance ne manifestent pas, à 3 jours d'âge, de réponse d'orientation préférentielle envers l'odeur de la formule lactée artificielle familière lorsque celle-ci est comparée à l'odeur d'une autre formule lactée artificielle non familière. À l'inverse, les enfants nourris au sein se tournent et s'activent buccalement plus longtemps vers l'odeur du lait maternel lorsqu'il est contrasté à l'odeur du lait d'une femme non familière (Marlier & Schaal, 1997). L'expérience postnatale de tétée au sein maternel semble donc optimiser la réponse du nouveau-né pour l'odeur de son aliment.

C'est ce que suggèrent certaines études qui indiquent que l'expérience postnatale favorise l'acquisition des réponses néonatales en faveur des propriétés olfactives du sein maternel. Deux études pionnières ont observé que les nouveaux-nés âgés au moins d'une semaine sont plus nombreux que les enfants de 2 jours à s'orienter préférentiellement ou à manifester une réaction buccale face à l'odeur du sein maternel par comparaison à celle d'une autre femme allaitante (Macfarlane, 1975 ; Russel, 1976). Les auteurs de ces deux études ont conclu à une évolution progressive de la réactivité du nouveau-né à l'odeur du sein maternel en fonction de l'âge. Plus récemment, Mizuno et ses collaborateurs (2004) ont examiné à la fois l'effet de l'âge et de l'exposition précoce au sein maternel sur la réactivité buccale différentielle envers les sécrétions lactées maternelles et non maternelles. Ils ont mené cette expérience chez deux groupes de nouveau-nés, dont l'un a bénéficié d'une exposition précoce enrichie avec la mère sous la forme d'un contact peau-à-peau d'au minimum 50 minutes et d'une tétée effective. Seuls les enfants de ce groupe ont différencié les odeurs de lait maternel et non maternel,

exprimant une préférence face à la première, et ce au quatrième jour postnatal uniquement. Ces résultats soulignent le rôle de l'expérience postnatale dans l'établissement de la préférence néonatale envers les odeurs maternelles. Au total, ces différentes études montrent qu'avec l'expérience grandissante du sein maternel, les nouveau-nés manifestent une réponse de plus en plus sélective envers les odeurs maternelles.

La présente série d'expériences vise à mieux comprendre le développement de l'attraction néonatale envers l'odeur du lait maternel, et se focalise sur l'effet d'un apprentissage. Les odeurs corporelles, en particulier l'odeur du lait, étant difficilement contrôlables en terme de composition et de labilité ; nous avons eu recours à un odorant artificiel de composition constante appliqué sur le sein.

Trois expériences ont été réalisées chez deux groupes de nouveau-nés de 3-4 jours qui ont été exposés (ou non) à un odorant arbitraire au cours de la tétée au sein. Les deux premières (Expérience 6 et 7) comparent les réponses des deux groupes d'enfants placés face à un contraste olfactif entre l'odorant cible et divers stimuli témoins afin de vérifier l'effet de l'exposition à cet odorant en association à la tétée sur la valeur attractive et appétitive que les nouveau-nés pourraient lui attribuer. A l'image des résultats de l'expérience de Schleidt et Genzel (1990), ayant montré l'acquisition par le nouveau-né d'une odeur au sein maternel, nous nous attendons à ce que les enfants encodent et retiennent à court terme l'odorant artificiel appliqué sur le sein maternel.

La troisième expérience (Expérience 8) mesure le pouvoir d'attraction et d'appétence d'une odeur mammaire naturelle (l'odeur du lait) et d'une odeur artificielle appliquée sur le sein (l'odorant arbitraire) chez les deux groupes d'enfants. Nous prédisons que le groupe d'enfants exposés aux tétées non odorisées devrait exprimer une préférence pour l'odeur familière du lait maternel par rapport à l'odeur artificielle non familière. En revanche, la direction des réponses des enfants allaités en présence de l'odeur artificielle ne peut être facilement anticipée. Une attraction ou une appétence plus grande envers l'odeur du lait maternel par rapport à l'odeur artificielle soulignerait la préséance des propriétés de l'odeur mammaire naturelle sur les propriétés de l'odeur acquise dans l'environnement postnatal. Une attractivité équivalente des deux odeurs reflèterait un renforcement similaire, conséquence d'un conditionnement associatif commun. Enfin, une attraction plus marquée envers l'odeur artificielle dénoterait la labilité de la préférence spontanée envers l'odeur naturelle du lait, et confirmerait l'absence d'un statut attractif particulier des propriétés du lait humain pour le nouveau-né humain.

2. Méthode

2.1. Participants

Un total de 156 enfants nouveau-nés caucasiens (75 filles) a été recruté à la maternité de la clinique au premier jour postnatal. Parmi eux, 105 (54 filles) ont rempli les critères d'inclusion et effectué le test olfactif dans un état d'éveil et d'activation adéquat. Tous ces enfants sont nés à terme (âge gestationnel : 39.9 ± 1.1 semaines d'aménorrhée ; 84 par voie vaginale et 21 par césarienne, également répartis dans les différents sous-groupes, cf. Tableau 2), sans complication prénatale ou natale (Score d'apgar > 8 à 1 et 5 minutes, et = 10 à 10 minutes ; poids de naissance moyen : 3516 ± 436 g). L'âge moyen au moment du test est de $86 \text{ h} \pm 18.9\text{h}$ (valeurs extrêmes : 56-126h).

Les enfants ont été répartis en trois groupes indépendants, équilibrés au point de vue du sexe, de l'âge gestationnel, du poids de naissance, et de l'âge au moment du test [comparaisons pour les 3 dernières variables, $F(5, 99) = 0.58, 0.39$ et $1.39, p > 0.05$, dans tous les cas]. Les caractéristiques de ces groupes figurent dans le Tableau 2. Chacun des groupes a été divisé en deux sous-groupes, l'un réunissant des enfants qui ont été exposés à l'odeur de camomille pendant les tétées précédant le test (dénommé Ca+), l'autre rassemblant des enfants n'ayant jamais été exposés à l'odeur de camomille (dénommé Ca-). Tout enfant qui aurait pu être exposé à l'odeur de camomille par l'intermédiaire de la consommation maternelle (produits alimentaires ou cosmétiques) pendant la gestation ou après la naissance a été écarté.

Toutes les mères (55 primipares) ont allaité leur enfant au sein depuis la naissance jusqu'au moment du test. Elles sont toutes en bonne santé et non fumeuses. Leur âge est homogène pour tous les groupes [$F(5, 99) = 0.77 ; p > 0.05$, voir Tableau 2]. Il leur a été fourni un certain nombre d'explications orales et écrites sur l'étude en cours et elles ont accordé leur consentement écrit et signé avant de laisser leur enfant prendre part au test.

Tableau 2 : Caractéristiques descriptives des nouveau-nés, de leur mère, et de l'exposition à la camomille pendant la prise lactée au sein.

Expérience	6		7		8	
	Ca ⁺	Ca ⁻	Ca+	Ca-	Ca+	Ca-
Nouveau-nés						
Nombre filles / garçons	14 8 / 6	16 8 / 8	16 8 / 8	16 8 / 8	22 11 / 11	21 11 / 10
Terme (semaines) ¹	39.7 ± 1.0 (37.5 – 41.5)	40.0 ± 1.3 (38 – 42)	40.2 ± 1.2 (38 – 42)	39.6 ± 1.2 (37.5 – 41)	39.9 ± 1.1 (38 – 42)	40.1 ± 1.0 ¹ (38 – 42)
Naissance						
Vaginale / Césarienne	11 / 3	12 / 4	14 / 2	12 / 4	18 / 4	17 / 4
Poids (g) ¹	3514 ± 386 (2930 – 4150)	3485 ± 437 (2770 – 4370)	3611 ± 544 (2920 – 4850)	3469 ± 560 (2710 – 4740)	3575 ± 334 (2930 – 4150)	3443 ± 393 (2730 – 4130)
Age au test (h) ¹	90.9 ± 23.1 (61 – 120)	83.1 ± 18.5 (63 – 118)	87.2 ± 18.4 (65 – 126)	78.9 ± 16.6 (60 – 121)	92.5 ± 17.0 (61 – 125)	82.7 ± 19.5 (56 – 125)
Exposition						
Nombre total ¹	14.1 ± 7.6 (6 – 32)	0	10.6 ± 4.7 (5 – 36)	0	15.8 ± 9.1 (4 – 43)	0
Durée totale (h) ¹	5.05 ± 3.10 (1.12 – 10.17)	0	3.95 ± 2.78 (1.25 – 12.08)	0	5.55 ± 3.88 (1.0 – 17.63)	0
Age à la première exposition (h) ¹	44 ± 15 (7-64)	0	54 ± 15 (27-78)	0	44 ± 19 (7-76)	0
Mères						
Age ¹	29.9 ± 4.2 (20 – 36)	29.3 ± 4.3 (23 – 37)	30.3 ± 4.0 (25 – 36)	31.7 ± 3.9 (25 – 40)	30.1 ± 4.4 (20 – 36)	29.2 ± 4.2 (20 – 40)
Primipares / Multipares	8 / 6	11 / 5	8 / 8	9 / 7	11 / 11	8 / 13

¹Moyenne ± Ecart type ; entre parenthèses figurent les valeurs extrêmes.

²Ca+: nouveau-nés exposés à la camomille, Ca-: nouveau-nés jamais exposés à la camomille.

2.2. Exposition à la camomille avant le test

L'introduction de la senteur de camomille dans la situation d'allaitement n'a pas été imposée par l'expérimentatrice. Nous avons mis à profit une pratique courante encouragée par les sages-femmes, et suivie localement par un certain nombre de femmes allaitantes (années 2001-2002). Cette pratique consiste à utiliser une pommade en prévention des gerçures et crevasses du mamelon. Contrairement au mères des enfants Ca-, les mères des enfants Ca+ ont eut recours à ce traitement prophylactique et ont appliqué sur leur mamelon et aréoles cette pommade à l'odeur de camomille. Selon la prescription des sages-femmes, les mères doivent appliquer la pommade après chaque tétée, maintenir leurs seins couverts par un

coussinet d'allaitement bien sec (et inodore) dans un soutien-gorge, et ne doivent pas laver le sein avant la prochaine tétée, mais l'essuyer. Comme les mères ont pu le signaler et l'expérimentatrice le vérifier, l'odeur de camomille ne diffuse pas de manière perceptible entre deux tétées, lorsque le sein est couvert. En revanche, l'odeur persiste au niveau du sein et elle est perceptible par le nouveau-né dès que l'aréole est découverte au moment de la tétée suivante. Par conséquent, les enfants Ca+ ne sont exposés à l'odeur de camomille qu'au cours des séquences de tétées.

A notre demande, chaque mère note sur une fiche prévue à cet effet (Annexe 2) l'heure et la durée de chaque tétée et, dans le cas où elle a recours à un quelconque soin du sein. Elle spécifie la nature de ce soin et le moment de son application. L'utilisation de la pommade à l'odeur de camomille est ainsi relevée pour les mères des enfants Ca+. Afin de garantir la précision du relevé, l'expérimentatrice en effectue le contrôle journalier (une à deux fois par jour). Il ressort de l'ensemble de ces enregistrements que les mères appliquent régulièrement la pommade après chaque tétée. Pour chaque nouveau-né, l'âge à la première exposition à la camomille, le nombre total et la durée totale des expositions ont été relevés.

Les caractéristiques descriptives de ces variables sont données dans le Tableau 2. Aucune différence significative n'est observée entre les différents sous-groupes d'enfants Ca+ testés dans les expériences 6 à 8, concernant le nombre total, la durée totale de tétées odorisées à la camomille, ou encore l'âge à la première exposition [$F(2, 49) = 2.24, 1.06$ et $1.69, p > 0.05$, dans tous les cas]. Le nombre total et la durée totale d'expositions à la camomille pendant la tétée étant fortement corrélés pour tous les groupes Ca+ ($r > 0.82, p < 0.001$, Expériences 6 à 8), seule la première variable a été prise en compte dans les analyses. Par contre, cette variable n'est pas corrélée à l'âge des enfants lors de la première exposition à la camomille dans chaque groupe Ca+ ($r = -0.45, -0.11$ et -0.22 , respectivement pour les Expériences 6 à 8, $p > 0.05$).

2.3. Stimulations

Selon l'expérience concernée, quatre stimulations différentes ont été présentées aux nouveau-nés sur une compresse de gaze (voir partie 1, paragraphe 2.3) :

a) *L'odeur de camomille* provient de la pommade prophylactique (Chamomilla®), constituée d'une base grasse (vaseline) et de 10% d'extrait de *Matricaria chamomilla*, que la compagnie Weleda (Huningue, France) nous a fourni gracieusement. Une quantité approximative de 0.2 g est disposée sur la gaze de manière standardisée. L'odeur émise

par une telle quantité de pommade est détectable par un nez adulte et est clairement plus intense que l'odeur du lait fraîchement exprimé.

- b) *L'odeur du lait maternel* est recueillie manuellement par les mères elles-mêmes pendant les 5 minutes précédant le test. Avant d'exprimer leur lait, les mères des enfants Ca+ essuient leur mamelon avec une compresse humide pour éliminer toute trace de pommade. Puis 20 gouttes de lait sont déposées sur une gaze sous le contrôle de l'expérimentatrice.
- c) *Un témoin odorant*, composé de la base de la pommade (l'excipient gras de la pommade dépourvu de l'extrait de camomille), a également été fourni par la compagnie Weleda. De la même manière que pour la pommade à la camomille, une quantité de 0.2 g est disposée sur une gaze. L'odeur émise par cette base est perceptible pour un nez adulte, mais nettement moins intense que l'odeur émise par la même quantité de pommade avec camomille.
- d) *Un témoin inodore* est constitué de 20 gouttes d'eau minérale déposées sur une gaze.

Le degré d'humidité des stimulations est équilibré en ajoutant 20 gouttes d'eau à la stimulation de camomille lorsque celle-ci doit être comparée au stimulus lacté (20 gouttes de lait) ou au témoin inodore (20 gouttes d'eau).

2.4. Procédure expérimentale

Les conditions générales de test, le dispositif et la procédure utilisés sont identiques à ceux décrits dans la partie 1 (paragraphe 2.3). Les nouveau-nés ont été testés entre 7:00 et 15:00, en période préprandiale, en moyenne $2\text{ h }30 \pm 1\text{ h }40$ min après la dernière tétée. Six enfants parmi les 105 testés (3 Ca+ et 3 Ca- distribués de façon équilibrée dans les différents groupes expérimentaux) ont été autorisés à téter le sein de leur mère moins de 3 minutes, pour les amener au stade d'éveil adéquat.

2.5. Analyse comportementale

Nous avons effectué les mêmes analyses comportementales que dans la partie I (paragraphe 2.4.) et les mêmes variables ont été quantifiées. Les participants ont manifesté une activité exploratoire adéquate, demeurant orientés face au dispositif de test, pendant plus de 110 secondes sur 120. Seuls 17 enfants sur 105 se sont trouvés en zone de non-orientation pendant une

courte durée (moyenne : 2.64 ± 1.91 sec) au cours du test à cause de bâillements, d'éternuements ou d'une brève agitation.

A partir du codage les variables suivantes ont été calculées pour chaque enfant :

- 1) *Le nombre d'entrées dans chaque secteur de stimulation,*
- 2) *La durée relative d'orientation céphalique vers chaque stimulus,*
- 3) *La durée relative d'activité buccale face à chaque stimulation.*

Enfin, le cas échéant, des scores de réponse préférentielle ont été calculés, à partir de chacune de ces variables comme suit : (réponse envers A – réponse envers B) / (réponse envers A + réponse envers B); l'odeur A représentant l'odorant camomille, et l'odeur B l'odeur du lait ou du stimulus témoin opposé.

2.6. Fiabilité des mesures

La fiabilité du codage comportemental a été vérifiée par un second observateur non averti de la nature et de la position latérale des stimulations. Cette analyse a porté sur 20 tests sélectionnés au hasard parmi les 105 tests réalisés. Les coefficients de corrélation de Spearman calculés à partir des données des deux codeurs attestent de la fiabilité du codage. En effet, les coefficients de corrélation portant sur les durées, latences et nombres d'orientations céphaliques vers chaque stimulus atteignent 0.95, 0.97 et 0.91 pour l'odeur A ; et à 0.96, 0.95 et 0.93 pour l'odeur B. Les coefficients relatifs à la durée d'activité buccale s'élèvent à 0,95 et 0.90, respectivement pour les odeurs A et B.

2.7. Analyses statistiques

Pour évaluer les effets différentiels de l'odeur, de l'exposition préalable à la camomille et du sexe sur les réponses d'orientation (nombre et durée relative) ainsi que de durée d'activité buccale vers chacune des stimulations olfactives comparées au cours des différents tests, des analyses de variance à mesures répétées (ANOVA) à 3 facteurs ont été effectuées, où l'exposition préalable à la camomille (groupes Ca+ ou Ca-) et le sexe constituent les facteurs inter-sujets, et la nature du stimulus olfactif (2 modalités) représente le facteur intra-sujet. Des tests *post hoc* (t de Student) ont été réalisés pour vérifier la direction des effets interactifs. La proportion de sujets manifestant une réponse différenciée a été comparée à la proportion déterminée par le hasard par le test du χ^2 .

Des analyses de régression multiple ont été effectuées afin de vérifier si les scores de réponses préférentielles des enfants peuvent s'expliquer par le nombre total d'expositions préalables à l'odeur de camomille ou par l'âge de l'enfant à la première exposition à l'odeur de camomille, et d'évaluer le poids relatif de chacun de ces facteurs.

Enfin, le pourcentage de tétées additionnées de camomille est corrélé aux autres paramètres de l'exposition ($r = 0.91$ et -0.42 , $p < 0.001$ et 0.06 , respectivement pour les corrélations au nombre total d'expositions et à l'âge à son commencement). Donc, pour vérifier plus précisément si l'attraction relative des nouveau-nés envers les odeurs de camomille et de lait, au cours de l'Expérience 8, dépend de la proportion différentielle d'exposition préalable à chacune de ces odeurs, des analyses de corrélations de Pearson ont été effectuées entre le score de préférence relative pour l'odeur de camomille (par rapport à l'odeur du lait maternel) et le pourcentage de tétées « camomillées ».

3. Résultats

3.1. Comportement général des nouveau-nés dans la situation de test

Les nouveau-nés ont exploré activement les différents stimuli olfactifs présentés au cours des tests, comme en témoignent le taux de passages du nez au-dessus de la ligne médiane du dispositif de présentation des stimulations pendant les 2 minutes de test [moyenne générale : 16.4 ± 8.7 fois (de 2 à 41), pas de différence significative entre les 6 sous-groupes des 3 expériences : $F(5, 99) = 0.97$, $p > 0.05$], et par la moyenne du nombre des occurrences d'orientation du nez de l'enfant vers chaque stimulation [camomille : 9.0 ± 4.2 (de 2 à 24) versus stimulation opposée : 8.4 ± 4.4 (de 1 à 21)]. Aucun effet du facteur sexe n'est apparu pour les variables ci-dessus au cours des 3 expériences [$F(1, 102) = 0.02$ et $1.58, 1.23$; $p > 0.05$].

3.2. La tétée en tant que renforçatrice de l'apprentissage olfactif néonatal

Un premier ensemble d'expériences nous a permis de vérifier les capacités d'apprentissage olfactif néonatal dans le contexte de la tétée au sein et d'estimer dans quelle mesure celles-ci sont dépendantes de la quantité d'expositions à la camomille au cours des

premiers jours postnatals et de l'âge de l'enfant lors de sa première expérience de tétée « camomillée ».

3.2.1. Expérience 6 : Odeur de camomille versus témoin (eau)

Par cette première expérience, nous avons tout d'abord souhaité vérifier si le nouveau-né peut détecter l'odeur de camomille indépendamment de son expérience préalable avec cette odeur.

Méthode

La stimulation de camomille (Ca) est présentée simultanément avec un stimulus témoin inodore (eau, E) à 14 nouveau-nés préalablement exposés à l'odeur de camomille (Ca+) et à 16 nouveau-nés n'y ayant jamais été exposés (Ca-). Les caractéristiques de ces sous-groupes sont données Tableau 2.

Résultats

Nombre d'orientations : Seul un effet principal de l'odeur est ressorti de l'ANOVA à 3 facteurs (odeur x groupe d'exposition à la camomille x sexe) réalisée sur cette variable [$F(1,26) = 24.46, p < 0.0001$]. Il spécifie que les enfants explorent, dans l'ensemble, le stimulus camomille plus souvent que le stimulus témoin (Nombre d'entrées vers Ca : 9.6 ± 4.1 , vers E : 6.2 ± 3.7 , pour les résultats par sous-groupes : cf. Figure 5 A, Expérience 6).

Durée d'orientation : L'ANOVA révèle les effets principaux de l'odeur [$F(1,26) = 48.0, p < 0.0001$] et du sexe [$F(1,26) = 5.51, p = 0.027$], mais pas du groupe d'exposition à la camomille. Les nouveau-nés s'orientent plus longtemps vers la camomille que vers le stimulus témoin, indépendamment de l'exposition préalable à cette odeur dans le contexte de l'allaitement (groupe Ca+ : durée d'orientation relative moyenne vers Ca : 0.472 ± 0.141 ; vers E : 0.204 ± 0.152 ; groupe Ca- : orientation vers Ca : 0.422 ± 0.139 ; vers E : 0.161 ± 0.103 ; cf. Figure 5 B, Expérience 6). Les données individuelles confirment ce résultat, puisque 27 enfants sur les 30 s'orientent plus longtemps vers la camomille que vers le témoin d'eau, ($\chi^2 = 19.2, p < 0.0001$). Cette réponse est également plus prononcée chez les filles que chez les garçons (filles: Ca: 0.484 ± 0.144 ; E: 0.203 ± 0.147 ; Garçons: Ca: 0.401 ± 0.126 ; E: 0.156 ± 0.102).

Durée d'activité buccale : L'ANOVA fait apparaître un effet principal de l'odeur [$F(1,26) = 36.79, p < 0.0001$]. Ceci signifie que les deux sous-groupes d'enfants s'activent au niveau oral plus longuement face à l'odeur de camomille que face au témoin (Durée d'activité buccale relative moyenne : vers Ca : 0.171 ± 0.093 ; vers E : 0.062 ± 0.053), pour les résultats par sous-groupes : cf. Figure 5 C, Expérience 6). Considérés individuellement, 25 enfants parmi les 30 manifestent une activité buccale plus longue face à l'odeur de camomille que face à l'eau, alors que 5 enfants s'activent autant ou plus longuement face au témoin ($\chi^2 = 16.27, p < 0.0001$).

Enfin, les réponses préférentielles des enfants Ca+ envers l'odeur de camomille ne sont pas corrélées à l'âge des enfants à la première exposition, ou au nombre total d'expositions ($R^2 \leq 0.04, p > 0.05$ dans tous les cas).

Conclusions

Cette première expérience montre que les nouveau-nés de 3 jours détectent clairement l'odeur de camomille quand celle-ci est contrastée avec un stimulus témoin. Les enfants, quelle que soit leur expérience préalable avec la camomille, manifestent une réponse d'orientation et d'activité buccale plus marquée vers l'odeur de camomille que vers le témoin inodore.

Plusieurs explications peuvent être proposées pour rendre compte de cette indifférenciation de l'attractivité de la camomille entre sous-groupes : 1) l'odeur de camomille pourrait être intrinsèquement attractive pour les nouveau-nés, 2) les enfants pourraient s'orienter vers la plus intense des stimulations mises en contraste, dans le cas présent, la camomille ; enfin 3) les enfants pourraient réagir plus positivement au stimulus odorant qu'au stimulus inodore, de sorte que le résultat observé serait l'expression d'une tendance à répondre non sélectivement à toute stimulation odorante.

3.2.2. Expérience 7 : Odeur de camomille versus témoin odorant

Cette expérience a été réalisée dans l'intention de re-examiner les réponses des nouveau-nés à l'odeur de camomille en fonction de leur exposition préalable à cette odeur, en changeant la nature du stimulus témoin. Nous avons utilisé cette fois un témoin odorant constitué de la base de la pommade. Ce témoin paraît plus adapté pour vérifier si les enfants Ca- répondent spécifiquement à l'odeur de camomille ou à n'importe quelle odeur, et si les

enfants Ca+ répondent de façon différentielle à la note camomille qu'ils ont rencontrés combinée à l'odeur de cette base grasse.

Méthode

Deux groupes d'enfants, différant par leur expérience de la camomille lors de la tétée (Ca+ : n = 16, 8 filles ; Ca- : n = 16, 8 filles) sont comparés pour leurs réponses au cours d'un test de choix opposant la pommade complète à la camomille (Ca) et la base de cette pommade (B), dénuée de toute trace de camomille. Les caractéristiques des deux sous-groupes sont présentées dans le Tableau 2. Une enfant Ca+ a dû être retirée des analyses concernant l'activité buccale (visibilité insuffisante de la bouche sur l'enregistrement vidéo).

Résultats

Nombre d'orientations : Aucun effet ne ressort de l'ANOVA à 3 facteurs (odeur x groupe d'exposition à la camomille x sexe) calculée sur cette variable (cf. Figure 5 A, Expérience 7). Les occurrences totales d'orientation ne diffèrent donc pas en fonction de l'expérience olfactive préalable.

Durée d'orientation : L'ANOVA met en évidence une interaction odeur x exposition à la camomille [$F(1,28) = 5.03$, $p = 0.033$] qui indique que les groupes d'enfants Ca+ et Ca- ne montrent pas les mêmes réponses d'orientation au contraste olfactif présenté dans ce test. Les nouveau-nés Ca+ orientent leur nez plus longuement vers la camomille que vers l'odeur témoin (Ca : 0.403 ± 0.181 ; B : 0.236 ± 0.132 , $t = -2.61$, $p = 0.02$; cf. Figure 6 B, Expérience 7). Par contre, les nouveau-nés Ca- manifestent des durées relatives d'orientation céphalique similaires vers le stimulus camomille et vers le stimulus témoin (Ca : 0.324 ± 0.163 ; B : 0.370 ± 0.165 ; $t = 0.62$, $p = 0.55$; cf. Figure 6 B, Expérience 7). Les données individuelles confirment ce résultat. La majorité des enfants Ca+ (12 sur 16) s'oriente préférentiellement vers la camomille, alors que seulement 10 enfants Ca- sur 16 manifestent une telle réponse ($\chi^2 = 4$ et 1 ; $p = 0.046$ et $p > 0.05$, respectivement pour les enfants Ca+ et Ca-).

Durée d'activité buccale : Aucun effet principal ou interactif, n'a été détecté par l'ANOVA sur cette variable, indiquant que l'activité buccale des enfants au cours de ce test olfactif n'est affectée par aucun des facteurs considérés (cf. Figure 6 C, Expérience 7). La moitié des enfants (15 enfants sur 31) s'active plus longuement vers la pommade à la camomille. Cette proportion ne diffère pas d'une proportion due au hasard ($\chi^2 < 1$, $p > 0.05$).

Finalement, chez les enfants Ca+, les scores de réponses préférentielles en faveur de la camomille ne sont influencés ni par l'âge au commencement de l'exposition à la camomille, ni par la récurrence de l'exposition ($R^2 \leq 0.11$, $p > 0.05$ dans tous les cas).

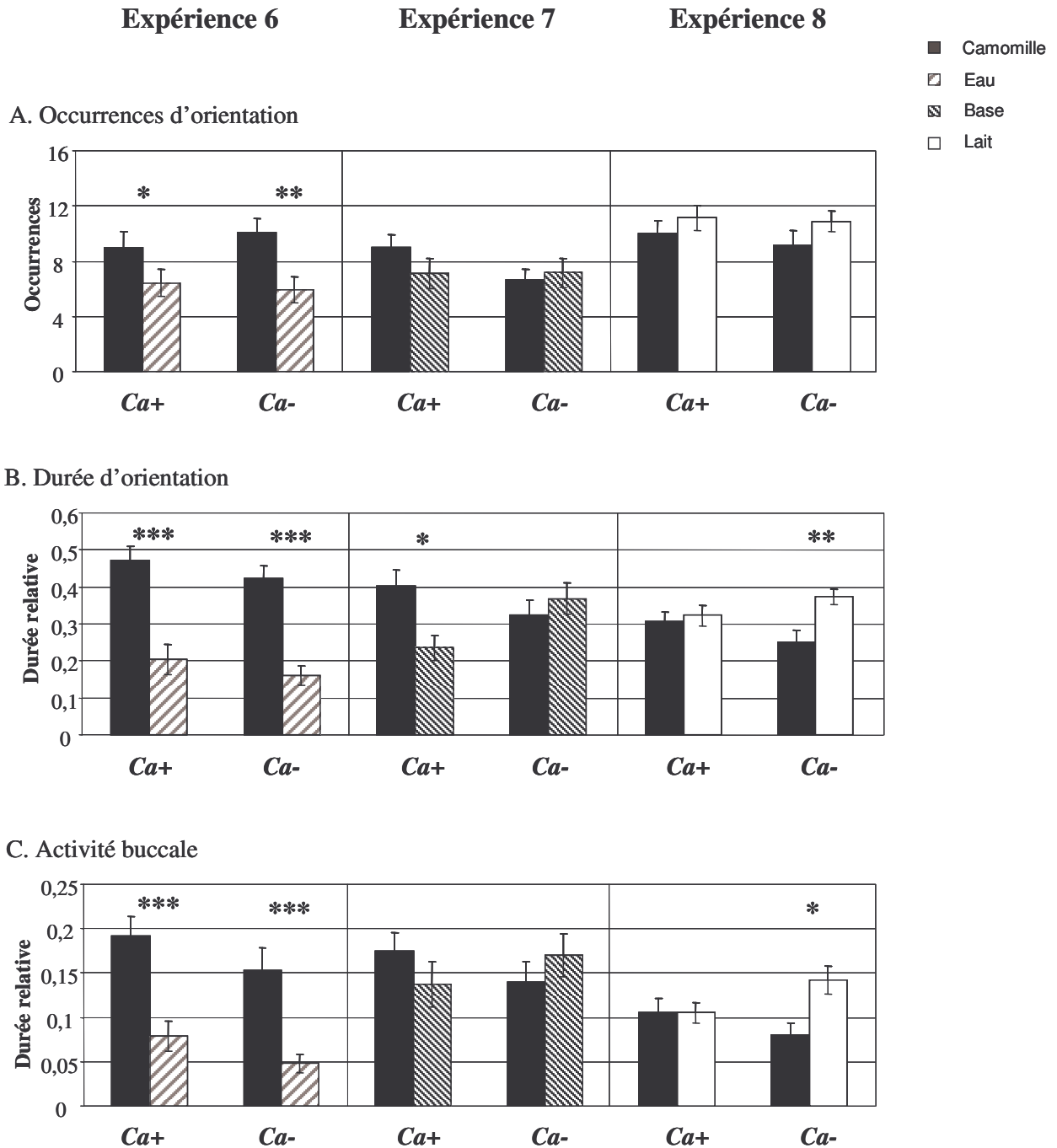


Figure 6. Nombre moyen (\pm erreur type) d'occurrences (A), et durées moyennes (\pm erreur type) d'orientation et céphalique (B) et d'activité buccale (C), vers chaque stimulation olfactive opposée dans les expériences 6, 7, et 8 pour chaque groupe de nouveau-nés Ca+ et Ca-.

Ca+ : nouveau-nés exposés à l'odeur de camomille pendant l'allaitement, Ca- : nouveau-nés n'ayant jamais été exposés à la camomille avant le test. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Conclusions

Face à la situation de choix entre l'odeur de la pommade à la camomille et l'odeur de sa base dépourvue de toute trace de camomille, les nouveau-nés manifestent des patterns de réponse différents selon leur régime d'exposition à la camomille. Parmi les trois variables considérées, seules les actions directionnelles (durée relative d'orientation céphalique) sont significativement affectées par l'odorisation des seins maternels chez les enfants Ca+. La durée relative d'activité buccale n'est pas affectée par l'expérience antérieure avec la camomille. Il apparaît ainsi que différents composants d'un stimulus olfactif complexe peuvent provoquer des réponses différentes chez les nouveau-nés en fonction de leur expérience préalable avec l'odeur.

Ces résultats nous permettent de rejeter deux explications avancées en conclusion de l'Expérience 6. Comme les enfants du sous-groupe Ca- se sont orientés de façon équivalente vers les stimuli appariés, les interprétations fondées sur un déséquilibre d'intensité (l'odeur de la pommade à la camomille est plus intense que l'odeur de la base seule), ou sur une tendance à répondre positivement envers n'importe quelle odeur, peuvent être exclues.

3.3. Impact de l'apprentissage olfactif sur le développement de la réactivité néonatale à l'odeur du lait maternel

L'Expérience 7 montre qu'un odorant artificiel appliqué sur les seins peut influencer les réponses néonatales d'orientation envers cet odorant. De plus, elle indique que les nouveau-nés peuvent discriminer deux fractions d'un mélange olfactif (base plus camomille versus base seule) auquel ils ont été exposés pendant l'allaitement. La présente expérience tente de vérifier si les nouveau-nés sont capables de fractionner la mosaïque olfactive complexe à laquelle ils ont été exposés en étant allaités au sein. En situation de tétée, les nouveau-nés devraient être, en principe, capables de détecter les propriétés chimiosensorielles des sécrétions naturellement émises par le sein et par le lait (voir partie 1), aussi bien que les produits artificiels appliqués sur l'aréole.

Dans cette expérience nous examinons si les enfants peuvent discriminer l'odeur de la sécrétion mammaire principale, le lait, et l'odorant exogène de camomille. Nous nous attendons à ce que les enfants jamais exposés à la camomille s'orientent préférentiellement vers le seul substrat auquel ils ont été confrontés au préalable, c'est-à-dire le lait, la réponse des enfants exposés à la camomille n'étant pas simple à prédire. Si l'expérience postnatale est le facteur qui détermine principalement la réponse des nouveau-nés aux odeurs, alors les

enfants exposés à la camomille devraient être au moins autant attirés par l'odeur de camomille que par l'odeur du lait. A l'inverse, si le lait est porteur d'indices odorants prédisposés (acquis dans le milieu prénatal ou inconditionnels), alors l'odeur du lait devrait rester plus attractive que l'odeur de camomille.

3.3.1. Expérience 8 : Odeur de camomille versus odeur du lait maternel

Méthode

Un test mettant en opposition les odeurs du lait maternel (LM) et de camomille (Ca) a été réalisé chez 22 nouveau-nés Ca+ (11 filles) et 21 nouveau-nés Ca- (11 filles). Au cours de la période précédant le test, les enfants Ca+ ont été exposés à la camomille en moyenne au cours de 50 ± 20 % du nombre total de tétées. Cependant, cette proportion de tétées enrichies en camomille varie de 24 à 97% du nombre total des tétées.

Un nouveau-né (fille) du groupe Ca+ a dû être exclu de cette analyse à cause d'une visibilité insuffisante de la région orale.

Résultats

Nombre d'orientations : Un effet principal marginal de la nature de l'odeur ressort de l'ANOVA à 3 facteurs (odeur x groupe d'exposition à la camomille x sexe) effectuée sur cette variable [$F(1,39) = 3.89$, $p = 0.055$]. Dans l'ensemble, les enfants entrent plus souvent sur le secteur où est présentée l'odeur du lait maternel que sur celui où est présentée l'odeur de camomille (LM : 11 ± 3.8 ; Ca : 9.5 ± 4.6 ; cf. Figure 6 A, Expérience 8 pour les réponses de chaque sous-groupe Ca+ et Ca-).

Durée d'orientation : L'ANOVA calculée sur cette variable révèle deux effets principaux : l'un lié à la nature de l'odeur et l'autre au sexe des enfants [$F(1,39) = 4.31$ et 5.3 ; $p = 0.04$ et 0.03 , respectivement]. Aussi, quel que soit le groupe d'exposition, l'odeur du lait est plus attractive que l'odeur de camomille (LM : 0.348 ± 0.118 ; Ca : 0.279 ± 0.141), et les garçons s'orientent plus longuement vers les stimulations que les filles (garçons : 0.335 ± 0.119 ; filles : 0.293 ± 0.145).

Le facteur exposition préalable à la camomille interagit de façon marginalement significative avec le facteur odeur et avec le facteur sexe [$F(2,39) = 3.44$, $p = 0.07$]. Les nouveau-nés Ca+ et Ca- expriment des réponses d'orientation céphalique vers chaque stimulus qui diffèrent selon le sexe. Comme l'illustre la Figure 6 B (Expérience 8), les enfants

Ca+ s'orientent autant vers l'odeur de camomille que vers l'odeur du lait, sans différenciation sexuelle [Groupe total : LM : 0.324 ± 0.133 versus Ca : 0.306 ± 0.135 ; $t(21) = 0.36$, $p > 0.05$; filles : LM : 0.305 ± 0.153 versus Ca : 0.295 ± 0.117 ; $t(10) = 0.146$, $p > 0.05$; garçons : LM : 0.343 ± 0.113 versus Ca : 0.317 ± 0.155 ; $t(10) = 0.344$, $p > 0.05$]. Par ailleurs, la moitié des enfants Ca+ se tourne préférentiellement vers l'odeur du lait (dont 5/11 filles), l'autre moitié vers l'odeur de camomille ($\chi^2 = 0$, $p > 0.05$).

Au contraire, les enfants Ca- s'orientent plus longuement vers l'odeur du lait maternel que vers l'odeur de camomille [Groupe total : LM : 0.374 ± 0.096 versus Ca : 0.251 ± 0.145 ; $t(20) = 2.67$, $p = 0.01$, cf. Figure 6 B, Expérience 8]. Mais cet effet repose principalement sur les réponses plus discriminatives des filles (Filles : LM : 0.402 ± 0.102 versus Ca : 0.171 ± 0.112 ; $t(10) = 4.18$, $p = 0.002$; garçons : LM 0.343 ± 0.084 versus Ca : 0.325 ± 0.130 , $t(9) = 0.08$, $p > 0.05$). La majorité des nouveau-nés Ca- se dirige préférentiellement vers le stimulus lacté (15/21 enfants, $\chi^2 = 4.8$, $p = 0.03$, dont 10/11 filles, $\chi^2 = 7.36$, $p = 0.007$).

Durée d'activité buccale : L'ANOVA dévoile un effet principal du facteur odeur [$F(1,38) = 4.34$, $p = 0.044$] et un effet interactif entre ce facteur et le facteur d'exposition préalable à la camomille [$F(1,38) = 4.25$, $p = 0.046$], mais aucun effet incluant le facteur sexe. Alors que chez les enfants Ca+ la durée relative moyenne d'activité buccale est indifférenciée pour les stimuli proposés (LM : 0.105 ± 0.055 versus Ca : 0.106 ± 0.072 ; $t(20) = -0.02$, $p > 0.05$), les enfants Ca- se sont activés plus longuement face à l'odeur du lait que face à l'odeur de camomille (LM : 0.142 ± 0.075 versus Ca : 0.080 ± 0.063 , $t(20) = 2.99$, $p = 0.007$, cf. Figure 6 C, Expérience 8).

Au sein du groupe Ca+, le score d'occurrences d'orientations préférentielles vers l'odeur de camomille n'est corrélé ni au nombre total de tétées odorisées à la camomille, ni à l'âge au début de l'exposition, comme l'indique la régression multiple ($R^2 = 0.05$, $p > 0.05$). Par contre, une corrélation de Pearson montre que ce score est positivement corrélé au pourcentage de tétées « camomillées » ($r = 0.44$, $p = 0.044$, cf. Figure 7 A).

Une autre régression multiple révèle que la réponse d'orientation préférentielle vers la camomille est positivement corrélée au nombre de tétées « camomillées », mais n'est que marginalement corrélée à l'âge des nouveau-nés au début du traitement ($R^2 = 0.36$, $p = 0.015$; r partiels = 0.44 et -0.39, $p = 0.044$ et 0.073, respectivement pour le nombre d'expositions à la camomille et l'âge au commencement de l'exposition). De plus, une corrélation de Pearson calculée entre le pourcentage de tétées camomillées et le score d'orientation préférentielle

vers la camomille indique que ces deux variables sont corrélées positivement ($r = 0.48$, $p = 0.024$, cf. Figure 7 B).

La ligne de régression fournit une estimation moyenne du pourcentage de tétées à la camomille nécessaire pour que le pouvoir d'attraction de l'odeur de camomille égale celui du lait (Figure 7 B). Dans les conditions de cette expérience, il ressort que les nouveau-nés Ca+ requièrent un taux d'exposition à la camomille avoisinant 50% du total des tétées pour que leurs réponses d'orientation vers les odeurs de camomille et du lait maternel s'équilibrent, ce qui représente en moyenne 16 ± 9 expositions. Cependant, des différences individuelles sont notées. Par exemple, un enfant s'oriente préférentiellement vers la camomille alors qu'il a tété des seins maternels sans camomille au cours de 78% des tétées. A l'inverse, d'autres enfants ($n = 2$) se tournent de façon plus insistante vers l'odeur du lait alors qu'ils ont été exposés à la camomille durant près de 70% des tétées.

En ce qui concerne les scores d'activité buccale préférentielle vers la camomille, la régression multiple ($R^2 = 0.29$, $p = 0.04$), indique qu'il est corrélé au nombre total d'expositions, mais pas à l'âge des enfants à la première exposition (r partiels respectifs = 2.24 et -1.05, $p = 0.04$ et 0.3). En revanche, la corrélation de Pearson entre le score préférentiel d'activité buccale et le pourcentage d'exposition à des tétées « camomillées » n'est pas significative ($r = 0.39$, $p > 0.05$, cf. Figure 7 C).

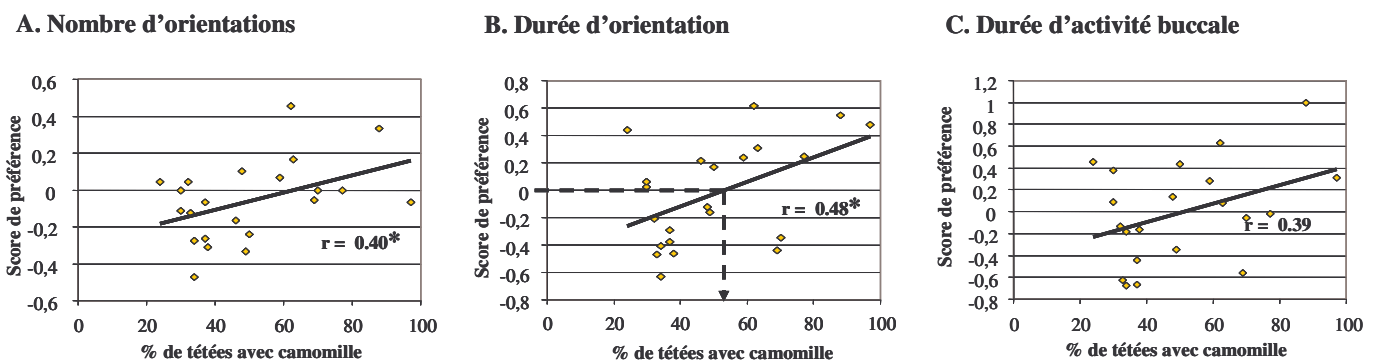


Figure 7. Corrélations entre le pourcentage de tétées camomillées et les scores de réponses préférentielles d'occurrences d'orientation (A), de durée d'orientation (B), et de durée d'activité buccale (C) envers l'odeur de camomille lorsque celle-ci est mise en opposition à l'odeur du lait.

Une valeur >0 indique une préférence pour la camomille et une valeur <0 une préférence pour le lait.

La flèche indique le pourcentage moyen de tétées camomillées nécessaire pour que la force d'attraction de l'odeur de la camomille égalise celle de l'odeur du lait maternel.

r : coefficient de corrélation de Pearson, * : $p < 0.05$.

Conclusions

Face au test présentant les odeurs de lait et de camomille, les nouveau-nés manifestent des patterns différenciés de réponse en fonction de leur expérience préalable avec la camomille. Les enfants du groupe Ca+ expriment dans leur ensemble des réponses d'orientation et d'activité buccales équivalentes vers chacun des stimuli qu'ils ont perçus pendant la tétée. Ce résultat concorde avec l'hypothèse d'une influence de l'apprentissage postnatal proposée plus haut.

En outre, les réponses des sujets du groupe Ca- convergent avec cette hypothèse, dans la mesure où ces enfants montrent une orientation et une activation buccale plus durable vers l'odeur familière du lait que vers l'odeur non familière de camomille. Il apparaît cependant que la réponse d'orientation moyenne de ce groupe repose sur les filles qui sont plus discriminantes que les garçons. Bien qu'un tel effet de sexe soit loin d'être généralisable aux études sur l'olfaction néonatale, et même à l'ensemble des groupes de la présente étude, plusieurs études en font état (Balogh & Porter, 1986 ; Makin & Porter, 1989 ; Porter et al., 1991). Cependant, une telle différenciation sexuelle de l'olfaction pourrait relever de disparités au niveau sensoriel, intégratif ou exécutif. Par exemple, des différences sexuelles de l'activité d'orientation bilatérale de la tête ont été rapportées chez le nouveau-né (Michel, Harkins, & Meserve, 1990).

Pour les nouveau-nés Ca+, la préférence relative envers la camomille est principalement influencée par la récurrence des tétées odorisées à la camomille, sans réel impact de la précocité de cette exposition au cours de la période précédant le test. De plus, les différents indices de réponse néonatale ne sont pas également modifiés par l'effet de l'exposition préalable à l'odorant artificiel dans le contexte de tétée. Alors que la réponse d'activité buccale n'est pas clairement influencée par la fréquence d'exposition à la camomille pendant les tétées, la réponse d'orientation céphalique est favorisée par une fréquence importante de tétées « camomillées ». En particulier, le niveau de réponse d'orientation vers la camomille atteint celui du lait quand le taux d'exposition à la camomille approche 50% du nombre total de tétées. Toutefois, les résultats ci-dessus attirent l'attention sur les différences inter-individuelles dans la propension à attribuer à un odorant artificiel, associé à l'allaitement, la même valeur attractive que celle attribuée à l'odeur du lait maternel.

4. Discussion partielle

Les Expériences 6 à 8 confirment que les nouveau-nés encodent activement les propriétés olfactives associées au sein maternel. Cette capacité est révélée ici par des tests opposant un odorant artificiel appliqué sur le sein et, soit des stimulations témoins, soit l'odeur du lait humain. Une étude antérieure avait déjà mis en évidence une telle capacité après 7 ou 14 jours d'exposition à un odorant pendant l'allaitement (Schleidt & Genzel, 1990). Nos résultats indiquent que cet apprentissage olfactif est effectif dès l'âge de 3-4 jours, après un minimum de 5 tétées odorisées. Mais d'autres études ont révélé que l'apprentissage olfactif peut être encore plus précoce, car des nouveau-nés de 2-3 jours manifestent des capacités de reconnaissance olfactive après une simple exposition pendant 16-23 h en continu ou 10 épisodes de 10 sec; ou encore une modification de réponse olfactive après 10 épisodes consécutifs de 30 secondes d'association odeur + léger massage (Balogh & Porter, 1986 ; Sullivan et al., 1991 ; Goubet, et al., 2002 ; Rattaz et al., 2005). Le cerveau du nouveau-né est donc réceptif à l'environnement olfactif en général, et en particulier aux odeurs rencontrées pendant l'allaitement. On peut supposer que les processus d'apprentissage révélés par l'utilisation d'un odorant artificiel sont également à l'oeuvre dans l'acquisition des odeurs complexes naturellement émises par la mère.

Nous avons tenté d'explorer les performances analytiques de l'olfaction néonatale en vérifiant comment les nouveau-nés réagissent quand ils sont face à deux composés odorants acquis soit combinés dans un même mélange (Expérience 7), soit individuellement mais associés au même contexte (Expérience 8). L'Expérience 7 a permis d'évaluer la différenciation néonatale des fractions d'un mélange odorant (la pommade à l'odeur de camomille par comparaison à sa base odorante sans camomille) en fonction de l'exposition antérieure à la pommade complète. L'expérience préalable avec la pommade à la camomille influence les réponses des nouveau-nés qui font face aux deux fractions. Les enfants exposés au mélange base + camomille (groupe Ca+) s'orientent plus longtemps vers l'odeur de la pommade à la camomille que vers l'odeur de la base seule. Par contre, les enfants qui n'ont jamais été exposés au mélange base + camomille (groupe Ca-) répondent de façon équivalente à chacune des stimulations. Ce résultat conforte l'observation de Engen et Lipsitt (1965) selon laquelle l'exposition préalable à une odeur améliore les performances de discrimination et de reconnaissance de cette odeur chez le nouveau-né. Cependant, dans l'Expérience 7, l'effet de l'expérience préalable avec la camomille ne touche pas également tous les indices

comportementaux considérés. Si l'odeur du mélange dominée par la camomille affecte l'action d'orientation de la tête chez les enfants Ca+, cette odeur n'est pas plus effective que l'odeur de la base sans camomille lorsque la réponse buccale est considérée. Ce résultat suggère que les nouveau-nés pourraient attribuer une signification fonctionnelle différente à diverses fractions d'un même mélange. En d'autres termes, la note dominante de camomille pourrait avoir acquis une fonction de guidage directionnel, alors qu'elle ne modifierait pas les actions orales chez le nouveau-né.

L'Expérience 8 a permis d'examiner la différenciation d'un odorant appliqué sur le sein maternel (l'odeur de la camomille) et d'odeurs naturelles véhiculées dans le lait maternel. Les résultats de cette expérience peuvent être discutés selon deux perspectives : le pouvoir d'attraction de l'odeur du lait par rapport à celui de la camomille et le gain d'attractivité du nouvel odorant de camomille en fonction de l'exposition à cet odorant.

Le pouvoir relatif d'attraction de l'odeur du lait a pu être confirmé de plusieurs manières. En premier lieu, les nouveau-nés Ca- (Expérience 8) s'orientent plus vers l'odeur du lait et manifestent un taux plus élevé d'activité buccale vers cette odeur que vers l'odeur de camomille. Ainsi, bien que ces enfants montrent une attraction pour chacune de ces odeurs (par exemple pour l'odeur de camomille dans l'Expérience 6 de la présente étude, et pour l'odeur du lait maternel dans des études antérieures, Marlier & Schaal, 1997 ; Marlier et al., 1998a), ils expriment une réponse préférentielle envers l'odeur du lait maternel quand ces deux odeurs leur sont présentées en concomitance. En second lieu, pour le groupe d'enfants Ca+ (Expérience 3), l'odeur de la camomille équivaut celle du lait maternel en termes de valeur attractive (orientation céphalique) et appétitive (activité buccale) après leur association avec la tétée. Ce résultat souligne l'influence de l'apprentissage dans le contexte de l'allaitement au sein et son influence dans l'acquisition de la signification affective de l'odeur maternelle.

Néanmoins, la réponse relative des nouveau-nés entre les odeurs de camomille et de lait dépend du degré d'association préalable de la camomille avec la tétée. Ce résultat général peut être discuté dans deux directions. Premièrement, l'exposition préalable à l'odeur de camomille n'a pas la même influence en fonction de l'indice de réponse considéré. L'orientation de la tête est clairement liée à la proportion de tétées « camomillées » par rapport à l'expérience totale de tétées. A l'inverse, l'activité buccale, considérée comme indicatrice d'une réponse appétitive, n'apparaît que faiblement affectée par l'exposition à la camomille et surtout indépendante de la proportion de tétées « camomillées ». Ce résultat suggère soit que les réponses orales sont étroitement liées aux propriétés olfactives du lait,

soit qu'elles sont difficilement re-assignables à un nouvel odorant. Ainsi, les mécanismes qui contrôlent l'expression néonatale des mouvements buccaux ne sont pas forcément les mêmes que ceux qui contrôlent les mouvements directionnels de la tête. Le fait que la réponse d'orientation dans l'espace soit plus facilement canalisée par l'expérience olfactive récente que les réponses buccales, derniers contrôles avant la succion et l'ingestion, n'est pas dépourvu de signification psychobiologique.

Deuxièmement, les nouveau-nés Ca+ (Expérience 8) ont dû être exposés fréquemment aux seins odorisés à la camomille au cours des 3-4 premiers jours postnatals avant d'exprimer une réponse d'orientation céphalique similaire envers l'odeur de la camomille et l'odeur du lait. La régression linéaire du score de préférence d'orientation relative pour la camomille (par rapport au lait) sur le pourcentage de tétées avec camomille permet de situer le point d'équivalence motivationnelle des deux odeurs autour de 50% des tétées avec camomille. Ce résultat est en contraste avec des études soulignant la rapidité avec laquelle les nouveau-nés d'autres mammifères peuvent acquérir une odeur en association avec la tétée (Blass, 1990 ; Brake, 1981 ; Johanson & Hall, 1982 ; Kindermann, Hudson, & Distel, 1994 ; Coureaud, Moncomble, Montigny, Dewas, Perrier, & Schaal, 2006). Mais cette attraction persistante pour l'odeur du lait suggère qu'elle n'est pas si facilement transférée à un odorant appris récemment. En d'autres termes, l'odeur du lait maternel pourrait bénéficier d'un effet de préséance (en terme d'attraction relative) sur n'importe quel odorant artificiel acquis en période postnatale.

Cependant, cette assertion générale doit être nuancée si l'on considère la dispersion des résultats individuels des durées relatives d'orientation céphalique vers le lait par rapport à la camomille. Certains enfants acquièrent plus rapidement que d'autres la camomille comme un indice d'orientation dans ce test de choix. Une telle variabilité peut être reliée à diverses causes qui dépassent les objectifs de la présente étude, mais elle rappelle que les études sur la cognition olfactive chez le très jeune enfant devraient être pensées en termes individuels. Lipsitt, Engen, et Kaye (1963) avaient déjà suggéré depuis plusieurs décennies que les seuils sensoriels (olfactifs) pourraient constituer d'utiles indicateurs de différenciation individuelle, et plusieurs investigations ultérieures ont montré que tous les niveaux du fonctionnement perceptif et cognitif chez le nouveau-né sont sujets à variabilité individuelle (DeLoache, 1976 ; McCall & Kagan, 1970).

Pour finir, les Expériences 6 à 8 attestent que, comme chez l'adulte (Cain & Johnson, 1978 ; Rabin, 1988), l'olfaction humaine est en grande partie modelée par les effets d'exposition depuis les premières manifestations de son fonctionnement (Schaal, Soussignan,

& Marlier, 2002 ; Schaal, 2005). L'exposition à une qualité olfactive donnée améliore sa saillance perceptive ultérieure et/ou sa valeur affective. Le contexte de l'allaitement est donc un moyen efficace de conforter la saillance perceptive et affective d'odorants arbitraires chez le nouveau-né humain. Un tel renforcement postnatal peut moduler le développement de préférences olfactives nouvelles, de même que l'ontogenèse du contrôle olfactif des comportements directionnels. Cependant, les odeurs récemment apprises n'effacent apparemment pas les signaux olfactifs véhiculés par le lait dont la signification est acquise par l'apprentissage anténatal ou par des mécanismes prédisposés.

PARTIE III

Stabilité à long terme de l'acquisition olfactive précoce

PARTIE III

Stabilité à long terme de l'acquisition olfactive précoce

1. Introduction

La seconde partie de ce travail (Expériences 7 et 8) a révélé que le nouveau-né de 3-4 jours a la capacité de mémoriser à court terme une odeur artificielle rencontrée régulièrement en association avec la tétée au sein. Dans la présente série d'expériences notre attention se focalise sur l'effet à long terme d'une telle acquisition olfactive néonatale. Le développement de la mémoire olfactive est quasiment inexploré chez l'enfant humain entre 1 mois et 2 ans. Les investigations dans cette tranche d'âge nécessitent en effet de déjouer de nombreux obstacles liés en particulier à l'évolution rapide des habiletés motrices, et cognitives.

Il existe néanmoins quelques études expérimentales sur la rétention à long terme d'un apprentissage olfactif dans le contexte de la tétée au sein dont les résultats ne sont pas toujours cohérents. La première menée par Schleidt et Genzel (1990) a consisté à odoriser la surface du sein maternel pendant les 15 premiers jours postnatals et à tester la rétention immédiatement après, et 15 jours après cessation de l'exposition, à l'aide de tests de double-choix olfactifs opposant le parfum familier à un parfum nouveau. A 15 jours, les enfants se sont orientés plus durablement vers l'odorant familier, mais ceux-ci n'ont plus manifesté de réponse différentielle à 1 mois. Les auteurs ont ainsi révélé une capacité de rétention à court terme du parfum appliqué sur le sein, mais n'ont pas pu mettre en évidence de capacité de rétention à long terme. Cependant, les réponses indifférenciées dans un test de double-choix ne relèvent pas obligatoirement d'un défaut de mémorisation. D'autres facteurs, comme l'âge, le genre, la durée de test ou l'expérience olfactive préalable sont peut-être à l'origine d'une telle réponse. Il n'est pas exclu, par exemple, que les enfants aient rencontré l'odorant témoin au cours de la période de cessation de l'exposition au parfum maternel. Les odorants de vanille et d'anis choisis comme stimuli non familiers sont en effet communs dans la culture allemande à laquelle appartiennent les participants de cette étude. Or les auteurs ne font aucune mention du contrôle de cette exposition potentielle.

L'évidence d'une rétention à long terme d'une odeur rencontrée pendant l'allaitement a été suggérée par une étude ultérieure de Mennella, Jagnow, et Beauchamp (2001). Les

auteurs ont aromatisé le lait maternel par l'intermédiaire de l'alimentation maternelle pendant les 4-6 premières semaines d'allaitement. Ils ont ensuite évalué la rétention de l'arome 4-5 mois après cessation de l'exposition, en analysant les réponses hédoniques des enfants au cours de l'ingestion d'un aliment solide additionné de l'arome cible et du même aliment non aromatisé. Les enfants exposés à cet arome lors des tétées ont exprimé moins de réponses faciales négatives face à l'aliment aromatisé que face à l'aliment non aromatisé, indiquant une plus grande appréciation du premier. En revanche, les enfants qui n'ont jamais été exposés à l'arome manifestent autant de mimiques négatives face aux deux aliments. Ces deux études suggèrent une capacité de rétention à court et à long terme des odeurs et permettent d'avancer l'hypothèse d'un encodage olfactif durable chez le nouveau-né dans le contexte d'acquisition que constitue la prise lactée au sein.

La présente série d'expériences vise à éprouver cette hypothèse et à examiner quel sera l'impact d'un tel acquis sur le comportement infantile. Pour ce faire, nous avons eu recours à une analyse du comportement des enfants mis en présence d'objets porteurs d'un odorant auquel ils ont été préalablement exposés et d'odorants témoins. Mennella et Beauchamp (1998) rapportent en effet que des enfants âgés de 6 à 13 mois interagissent différemment avec des hochets odorants en fonction de leur expérience préalable avec les odeurs appliquées sur les hochets, à travers les habitudes de consommation familiale. Les enfants de parents alcooliques portent plus à la bouche un hochet émettant de l'éthanol que les enfants de parents non alcooliques. De plus, les enfants de mères utilisant très régulièrement des produits à la vanille regardent plus le hochet odorisé à la vanille que leurs pairs moins exposés à cette odeur. Bien que dans cette étude les paramètres de l'exposition et les différents contextes dans lesquels les odorants testés ont été rencontrés ne soient pas vraiment précisés, les données suggèrent que les enfants familiarisés à un odorant sont plus influencés par cet odorant que les enfants non exposés.

Dans la présente étude, deux expériences ont été réalisées, l'une à 7 mois, l'autre à 21 mois, chez deux groupes d'enfants (déjà testés à 3-4 jours Expériences 6 à 8, cf. partie II), exposés ou non à l'odorant cible pendant les premières semaines de tétées.

2. Rétention à 6-8 mois de l'exposition olfactive précoce

2.1. Expérience 9: Interaction avec divers objets odorisés en fonction de l'expérience olfactive précoce.

Dans cette expérience nous tentons de vérifier dans quelle mesure un odorant acquis pendant les premières semaines d'allaitement au sein influence encore activement le comportement des enfants après un long délai de rétention. Le principe du test est inspiré de la procédure expérimentale mise au point par Schmidt (1990) et utilisée par Mennella et Beauchamp, (1998). Il consiste à présenter séquentiellement à des enfants de 6 à 8 mois un objet portant l'odorant cible, familier pour certains, non familier pour les autres, et les mêmes objets portant des odeurs témoins, pour évaluer leurs réponses différentielles en fonction de l'expérience olfactive précoce.

2.1.1. Méthode

Participants

Les mères allaitantes et leur enfant ont été recrutés à la Clinique Sainte Anne. Toutes les mères sont caucasiennes, en bonne santé et non fumeuses. Au moment du recrutement, leur âge est en moyenne de 31 ± 3.0 ans (valeurs extrêmes : 21-37 ans), et 28 d'entre-elles sont primipares. Leurs enfants (22 filles et 23 garçons) sont nés à terme (âge gestationnel moyen : 40 ± 1 semaines d'aménorrhée) en bonne santé (Score d'Apgar : 8-10 à 1, 5 puis 10 minutes après la naissance).

Ces enfants ont été testés une première fois à 3-4 jours (cf. Partie II, Expériences 6 à 8 ; Delaunay-El Allam, Marlier, & Schaal, 2006). A cette occasion, les parents ont été tenus informés du projet d'une étude à plus long terme sans préciser l'objet de l'étude. Ceux qui ont exprimé leur motivation pour cette étude ont été contactés cinq mois plus tard. Une lettre d'information sur le but et les conditions de la présente étude leur a été envoyée, accompagnée d'une fiche de consentement à signer. Tout enfant dont l'état de santé s'avérait compatible avec le test olfactif (absence de maladie récente) a été inclus dans l'étude. Huit enfants ne remplissant pas les critères d'inclusion (du fait d'impossibilités liées à l'éloignement, à un mauvais état de santé, ou à de l'inattention au test, cf. Figure 8) ont été écartés de l'étude. Au final, 37 enfants ont été testés à l'âge de 27 ± 3.0 semaines (valeurs

extrêmes : 23 à 34 semaines) et inclus dans les analyses finales. Les caractéristiques de ces enfants sont données dans le Tableau 3.

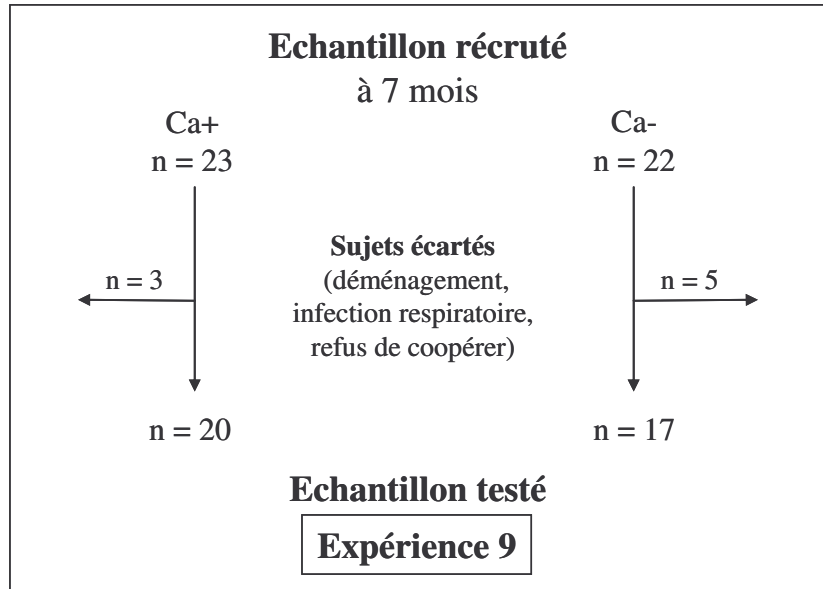


Figure 8 : Diagramme du suivi longitudinal des sujets des sous-groupes Ca+ et Ca- testés à 7 mois (Expérience 9).

Ca+ : enfants ayant été exposés à l'odeur de camomille pendant l'allaitement ;

Ca- : enfants n'ayant jamais expérimenté l'odeur de camomille.

Tous les enfants inclus dans cette étude ont été allaités au sein maternel depuis la naissance et pour une durée variant de 8 jours à 7 mois (4.8 ± 2.0 mois, cf Tableau 3). Sur la base de l'exposition précoce à l'odeur de camomille appliquée sur le sein maternel, deux sous-groupes d'enfants ont été constitués : le groupe Ca+ inclut ceux qui ont été allaités en présence de l'odeur de camomille ($n = 20$), alors que le groupe Ca- inclut ceux qui n'ont jamais été exposés à l'odeur de camomille dans ce contexte ($n = 17$). Ces deux sous-groupes sont équilibrés en sexe, âge, et durée d'allaitement [$t(35) = 0.70$ et -0.48 ; $p > 0.05$ pour les deux dernières variables, cf. Tableau 3].

Tableau 3: Caractéristiques des participants inclus dans l'Expériences 9.

Groupes ¹	Ca+	Ca-
Nombre de sujets	20	17
filles / garçons	10 / 10	9 / 8
Age ² (mois)	6.9 ± 0.7 (5.75- 7.75)	6.8 ± 0.8 (5.75 - 8.5)
Durée totale d'allaitement au sein ² (mois)	4.7 ± 2.1 (0.25 – 7.75)	5.0 ± 2.0 (1 – 8)
Durée d'exposition à la camomille ² (jours)	47 ± 40 (8 – 120)	0
Délai entre la dernière exposition et le moment du test ² (semaines)	21.4 ± 5.2 (14 – 30)	0
Nombre total d'expositions ²	110 ± 77 (20 – 270)	0
Lieu du test (Domicile / Clinique)	9 / 11	10 / 7

¹ Ca+: enfants ayant été exposés à l'odeur de camomille pendant l'allaitement ;

Ca-: enfants n'ayant jamais expérimenté l'odeur de camomille pendant l'allaitement.

² Moyenne ± Ecart type (valeurs extrêmes)

Exposition à l'odeur de camomille

Pour évaluer l'exposition globale à l'odeur de camomille, deux questionnaires ont été administrés aux mères au moment du test.

Exposition à la camomille dans la situation d'allaitement (sous-groupe Ca+ uniquement)

Les enfants Ca+ ont été exposés pendant les premières semaines d'allaitement à une pommade que leurs mères appliquaient régulièrement sur leurs aréoles et mamelons. L'odeur de camomille de cette pommade est clairement perceptible par l'adulte (cf. Partie II § 2.2) et par le nouveau-né (cf. Partie II).

La fréquence et la durée totale d'application de la pommade dépendent entièrement de la décision des mères, sans que l'expérimentatrice n'influence leur habitude. L'exposition effective des enfants Ca+ à l'odeur de camomille s'est donc révélée hétérogène entre la période néonatale et le test à 7 mois (cf. Figure 9). Le taux d'expositions individuel à l'odorant camomille lors de la tétée est estimé à l'aide d'un questionnaire. Les mères ont

détaillé leur fréquence d'application de la pommade et précisé la période pendant laquelle une fréquence donnée a été suivie avec régularité (cf. Annexe 2 et 4).

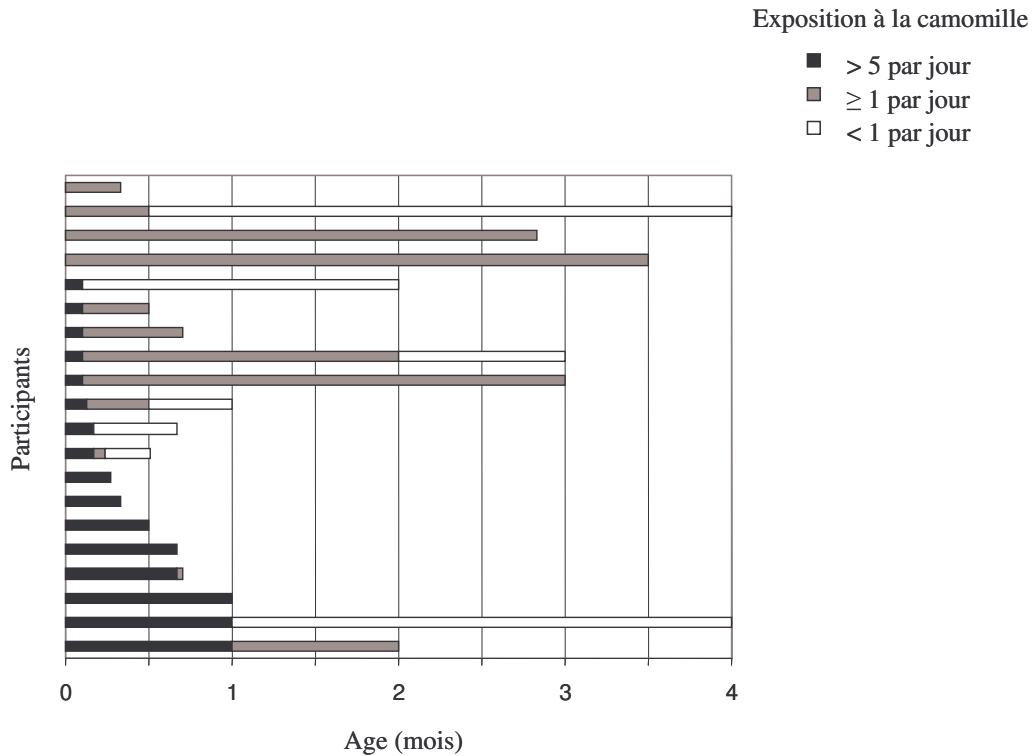


Figure 9 : Evolution de la fréquence individuelle d'exposition à l'odeur de camomille dans le contexte d'allaitement au sein chez les enfants du groupe exposé (Ca+).

De ces relevés, il est ressorti que toutes les mères des enfants Ca+ ont débuté l'application de la pommade au cours des 4 premiers jours postnatals (Age moyen à la première exposition : 45 ± 21 hr, valeurs extrêmes : 5 - 75 h), qu'en moyenne, la période d'utilisation a duré 47 ± 40 jours (valeurs extrêmes : 8 - 120 jours) et le nombre total d'applications a été estimé à 110 ± 77 occurrences (valeurs extrêmes : 20 - 270, cf. Tableau 3). La fréquence d'application a progressivement diminué au cours de la période d'utilisation, partant d'un maximum de 10 applications par jour au cours des premiers jours, pour finir à une application par semaine (cf. Figure 9 et Annexe 5). A partir de ces questionnaires ont été calculés : 1) la durée de la période d'utilisation de la pommade à la camomille, 2) le délai séparant le moment de la dernière utilisation et le moment du test (négativement corrélé à la durée d'exposition : $r = -0.76$, $p < 0.001$), et enfin 3) le nombre estimé total d'applications au long de la période d'utilisation (positivement corrélé à la durée globale d'exposition : $r = 0.5$, $p = 0.02$; cf. Tableau 3 pour le détail des données).

Exposition à d'autres produits à la camomille (sous-groupes Ca+ et Ca-)

Les enfants des deux sous-groupes Ca+ et Ca- auraient pu rencontrer l'odeur de camomille en dehors du contexte d'allaitement. Pour évaluer cette possibilité, les mères ont complété un questionnaire sur la fréquence de consommation de produits alimentaires, cosmétiques ou pharmaceutiques pouvant contenir de la camomille (cf. Annexe 6). Dès lors qu'un tel produit avait été consommé par elle-même ou par leur enfant, il leur a été demandé de détailler la fréquence d'utilisation (n/jour, n/semaine), la durée (jours), la période, et si possible la quantité consommée avant le test. Quand une consommation supplémentaire de camomille a été mise en évidence, celle-ci s'est toujours présentée sous la forme de tisanes (Babysoif®, Milupa, Rueil Malmaison, France), dont la qualité olfactive ne correspond nullement à la qualité de l'odeur de la pommade utilisée par les mères des enfants Ca+. Une telle consommation n'a concerné aucune mère allaitante et peu d'enfants [1 enfant Ca+ et 1 enfant Ca- ont reçu des infusions de camomille (≤ 7 fois, ≤ 60 ml, sur une période de 3 mois terminée plus de 2 mois avant le test) ; et 4 enfants Ca+ et 6 enfants Ca- ont reçu des infusions d'un mélange de 6 plantes incluant la camomille (≤ 15 fois, ≤ 120 ml, sur une période ≤ 4 mois terminée plus d'un mois avant le test)]. Cette exposition, hors du contexte de l'allaitement, est également distribuée dans les groupes Ca+ et Ca- [$t(35) = -1.19$ $p > 0.05$] et n'influence pas les réponses des enfants aux objets odorisés (cf. résultats).

Stimulations olfactives

Trois stimulations ont été utilisées dans les tests olfactifs : (1) la stimulation cible, la camomille, à laquelle seuls les enfants Ca+ ont été exposés pendant l'allaitement ; (2) un témoin odorant, l'odeur de violette, à laquelle aucun enfant n'a été exposé auparavant ; et (3) un témoin inodore. Les deux odorants testés sont agréables au nez des adultes et les tests antérieurs (partie II) ont montré que l'odeur de camomille est attractive pour les nouveau-nés.

L'odeur de camomille correspond à l'effluve de la pommade Chamomilla® (Weleda, Hünigues, France, composée d'un excipient gras et d'un extrait de 10% de *Matricaria chamomilla*) utilisée par les mères des enfants Ca+.

L'odeur de violette a été sélectionnée pour sa rareté d'utilisation locale dans les contextes alimentaire et cosmétique. Toutes les mères ont confirmé ce point au cours du questionnaire de consommation (Annexe 7), en affirmant que leur enfant n'avait jamais été exposé à un quelconque produit alimentaire, cosmétique, pharmaceutique ou sanitaire à base de violette.

L'odeur de violette testée est composée d'un extrait naturel de violette (Phyto Est, Rosheim, France) dilué dans l'huile minérale¹ (Aldrich, Saint-Quentin-Favallier, France).

Le témoin, composé d'huile minérale, est sans odeur ajoutée.

Les trois stimulations sont présentées aux enfants sur des objets visuellement et tactilement identiques. Nous avons sélectionné comme support un anneau de dentition, à la fois attractif, facilement préhensible et pouvant être aisément et sans danger mis en bouche par des enfants de 7 mois, mais aussi inodore. De plus, on peut facilement y introduire une stimulation odorante sans en altérer l'aspect visuel. Comme l'ont confirmé les mères avant le test, tous les jeunes enfants ont été exposés à un anneau de dentition auparavant. Un tel objet ne leur est donc pas étranger. Par contre, aucun enfant n'a été exposé à l'anneau de dentition choisi pour ces tests. Celui-ci est composé d'un anneau de plastique rigide sur lequel sont fixées 3 alvéoles de silicone souples et compressibles (« Anneau fleur », Bébéconfort, Cholet, France ; d'un diamètre de 6 cm, cf. Figure 10 et 11). Ces alvéoles ont été percées afin que l'air contenu puisse diffuser vers l'extérieur. Un morceau (1 x 1 cm) d'un polymère absorbant inodore (Powersorb®, VWR, Fontenay-sous-bois, France) est introduit dans chaque alvéole. Ces morceaux de polymères sont préalablement imbibés avec 0.5 ml de substrat de pommade à la camomille, de substrat de violette, ou d'huile minérale.

Ce volume de 0.5 ml a été choisi après sélection, par un panel de 5 adultes non fumeurs, de la quantité de pommade à la camomille à incorporer dans l'objet pour que l'odeur en soit perceptible à une distance de 10 cm du nez. Pour équilibrer l'intensité subjective de la solution de violette avec celle de la pommade à la camomille (0.5 ml), des tests d'iso-intensité ont été réalisés avec un panel de 12 juges adultes non fumeurs. Chaque juge a choisi, parmi une série de 5 dilutions de violette (5, 7.5, 10, 12.5, et 15% d'extrait de violette dilué dans l'huile minérale), la solution dont l'intensité se rapprochait le plus de celle du stimulus camomille. Dans l'ensemble, les juges ont sélectionné en majorité (67%) la solution de 7.5% de violette comme ayant l'intensité la plus proche de l'intensité de la référence.

Procédure de test olfactif

Les jeunes enfants sont testés dans une ambiance calme soit dans un local de la Clinique, soit à domicile (pour les mères qui étaient dans l'impossibilité ou refusaient de se déplacer). Le nombre d'enfants testés dans l'un ou l'autre environnement ne diffère pas

¹ Bien que l'extrait de violette contienne de la β -ionone hydrosoluble, nous avons opté pour une émulsion dans l'huile minérale pour présenter une stimulation lipophile tout comme la stimulation de camomille qui est présentée dans un substrat lipidique. Avant chaque prélèvement, la solution de violette était agitée vigoureusement pour l'émulsionner.

significativement dans les groupes Ca+ et Ca- [$\chi^2 = 0.7$, $p > 0.05$, cf. Tableau 3]. Après un temps de familiarisation avec l'expérimentatrice, les mères assoient leur enfant sur leurs genoux, les maintenant devant une table et en face d'une caméra vidéo positionnée à 1.5 m et focalisée sur l'enfant. Il leur est demandé d'éviter d'exprimer toute sorte de réponse affective à l'égard de leur enfant. Tout au long du test, l'expérimentatrice maintient une conversation avec la mère (passation des questionnaires de consommation de camomille et de violette, cf. Annexes 4, 6 et 7) pour détourner son attention des réactions de l'enfant et pour mettre ce dernier dans une ambiance auditive familière dominée par la voix maternelle.

Après une minute de familiarisation avec un objet inodore, les 3 objets de test sont présentés aux enfants de façon séquentielle, dans un ordre aléatoire¹. Chaque objet est présenté pendant une minute en ménageant un intervalle d'une minute entre les présentations. Les stimuli sont initialement présentés en approchant la partie odorante de l'anneau sous le nez de l'enfant pendant 3 secondes (cf. Figure 10). Les enfants se saisissent généralement de l'objet au cours de cette présentation initiale ; dans le cas contraire, l'objet est posé sur la table à la portée de l'enfant. Ensuite, l'expérimentatrice laisse l'enfant interagir librement avec l'objet pendant 1 minute. A l'issue de cette minute, l'expérimentatrice, restée assise près de la caméra, retire délicatement l'objet du champ d'action de l'enfant, avant de présenter le prochain. Si, au cours de la présentation, l'objet se trouve hors de portée de l'enfant, l'expérimentatrice le remet dans son champ de préhension manuelle. Dans le cas où l'enfant jette volontairement l'objet, l'expérimentatrice le lui restitue à deux reprises, au-delà desquelles le test est interrompu.



Figure 10. Présentation de l'objet odorisé à un enfant de 7 mois.

¹ Chacune des 6 combinaisons possibles de présentation a été présentée au minimum à deux reprises dans chacun des sous-groupes d'enfants Ca+ et Ca-.

Codage du comportement

Les enregistrements vidéo ont été analysés par un codeur non averti de la nature de l'odeur présentée dans chacun des objets, grâce au logiciel Observer. Le nombre d'occurrences et la durée des items comportementaux suivants ont été calculés (précision : 0.01sec) :

- (1) « Regard » : regard focalisé sur l'objet (cf. Figure 11 A),
- (2) « Manipulation » : contact mono- ou bi-manuel avec l'objet consistant à le saisir et/ou à le porter (cf. Figure 11 B),
- (3) « Secouement » : mouvements rapides de translation rythmique de droite à gauche ou de haut en bas de la main qui saisit l'objet (au moins deux mouvements consécutifs d'aller-retour) opérés avec une accélération (à la manière dont on agite un éventail ; cf. Figure 11 C),
- (4) « Contact buccal » : contact de l'objet avec la région buccale et péri-buccale (contact avec les lèvres ou la langue) et nasale (cf. Figure 11 D),
- (5) « Mise en bouche » : placement de l'objet dans la cavité buccale (cf. Figure 11 E),
- (6) « Vocalisation » : toute émission vocale, excluant pleurs et gémissements (cf. Figure 11 F).

Ces items comportementaux ne sont pas tous exclusifs. L'item « Manipulations » peut inclure deux items mutuellement exclusifs : « Secouement » et « Contact buccal ». L'item « Contact buccal » inclut l'item « Mise en bouche ». Les items « Regard » et « Contact buccal » sont exclusifs. En revanche, les autres items peuvent intervenir en même temps (par exemple : « Manipulations » + « Contact buccal » + « Vocalisation » ; ou « Manipulations » + « Regard » + « Vocalise »).

Ces six items ont été sélectionnés parce qu'ils permettent d'inférer l'intérêt distal (regard) et proximal (toucher manuel, oral et lingual) que suscite l'objet pour l'enfant. Le rapprochement de l'objet de la région faciale (contact buccal, mise en bouche) est interprété relevant de l'exploration tactile orale (Rochat, 1989 ; Ruff, Saltarelli, Capozzoli, & Dubiner, 1992) qui facilite aussi l'exploration olfactive de l'objet (soit par voie orthonasale, soit par voie rétronasale, lorsque l'objet est mis en bouche). Enfin, l'activité de secouement peut avoir un effet de diffusion de l'odorant contenu dans l'objet, et de ce fait faciliter sa perception.

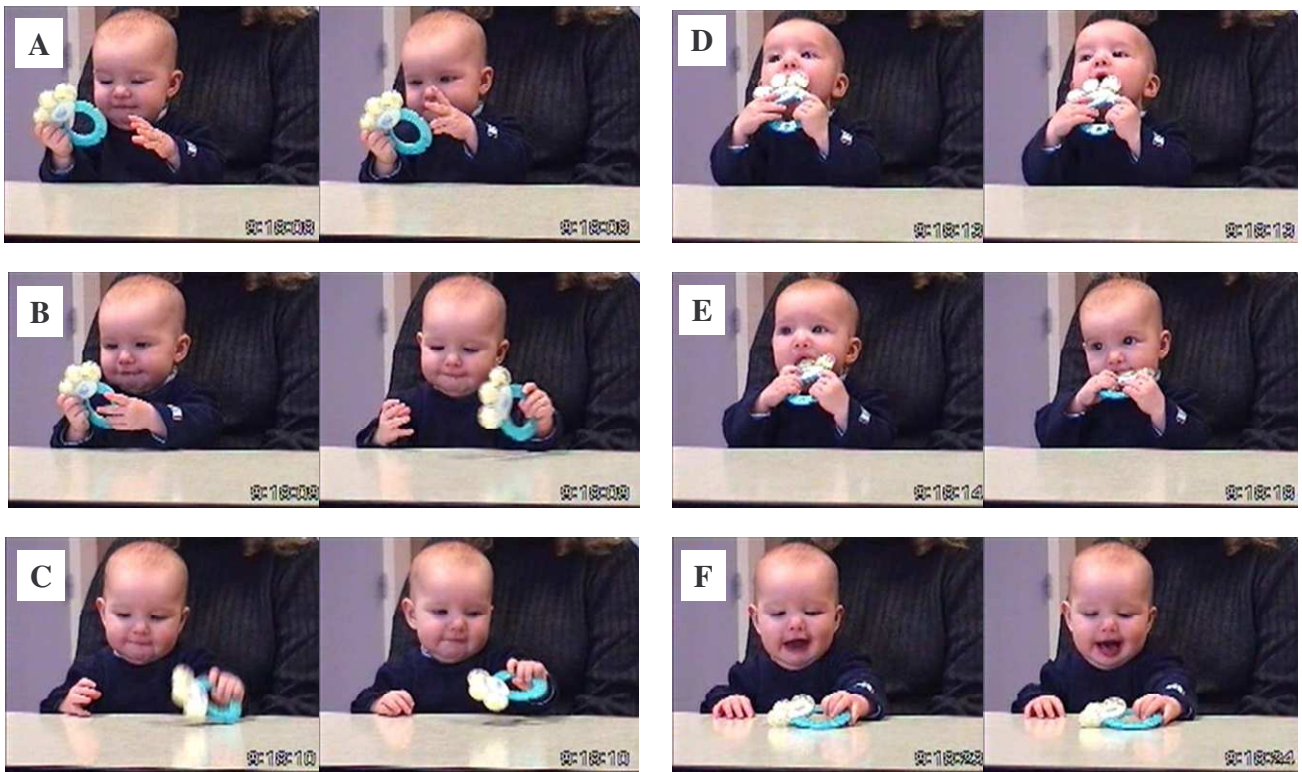


Figure 11. Enfant de 7 mois en interaction avec l'objet odorisé dans les conditions de l'Expérience 9. Les items suivants sont présentés : A. Regarde l'objet, B. Manipulation bi-manuelle et mono-manuelle, C. Secouement, D. Contact buccal, E. Mise en bouche, F. Manipulation et vocalisations.

En plus de ces items d'interaction avec l'objet, un item « regard vers la mère » considérant le regard de l'enfant porté sur sa mère a été relevé afin d'évaluer le degré de distraction ou de référenciation sociale de l'enfant.

La fiabilité du codage des items comportementaux a été vérifiée par un second codage effectué en aveugle par un autre codeur ignorant la nature des odeurs étudiées et le groupe d'appartenance des enfants. Ce double codage a été effectué sur 20 séquences filmées sélectionnées au hasard parmi les différents tests. Pour examiner l'accord inter-juges, les coefficients de corrélation de Spearman ont été calculés pour chacun des items codés. Les corrélations inter-juges sont élevées pour le nombre total d'occurrences des différentes variables (« Regard » : 0.94, « Manipulations » : 0.83, « Secouement » : 0.80, « Contact buccal » : 0.74, « Mise en bouche » : 0.86, « Vocalisation » : 0.82, « Regard vers la mère » : 0.98) et pour leur durée totale (« Regard » : 0.95, « Manipulations » : 0.90, « Secouement » : 0.83, « Contact buccal » : 0.94, « Mise en bouche » : 0.96, « Vocalisation » : 0.90, « Regard vers la mère » : 0.97).

Analyses Statistiques

Pour déterminer si les jeunes enfants ont réagi différemment aux objets en fonction de l'odeur, de l'expérience précoce avec la camomille, ou du sexe, des analyses de variance (ANOVAs) à 3 facteurs (3x2x2) ont été conduites, considérant l'odeur comme facteur intra-sujet et le groupe d'exposition et le sexe comme facteurs inter-sujets. Des tests *post hoc* ont été effectués pour localiser les effets interactifs (tests t pour échantillons indépendants pour comparer les réponses des deux groupes d'enfants et tests t pour échantillons appariés pour comparer les réponses de la totalité des enfants envers deux objets odorisés différemment).

Des corrélations de Pearson ont été réalisées pour vérifier si les réponses individuelles des enfants Ca+ envers l'objet odorisé à la camomille varient en fonction : 1) du nombre total estimé de tétées associées à la camomille, 2) de la durée de la période d'exposition, et 3) du délai entre la dernière exposition et le jour du test.

Des analyses préliminaires (ANOVAs d'ordre 3 : odeur x groupe d'exposition x ordre de présentation) ont montré que le facteur ordre n'interagissait ni avec le facteur odeur, ni avec le facteur exposition. L'influence de l'ordre de présentation des différents objets sur les réponses des enfants a donc été examinée indépendamment à l'aide d'ANOVAs d'ordre 1.

Enfin, des ANOVAs à 2 facteurs ont été effectuées pour estimer l'influence potentielle de la consommation de tisanes contenant de la camomille, considérant le facteur exposition supplémentaire à la camomille (2 modalités : exposé ou non exposé) comme facteur inter-sujets et l'odeur des objets comme facteur intra-sujets.

2.1.2. Résultats

Comportement général face au test

Les jeunes enfants ont interagi avec les objets pendant la grande majorité du temps de test. Ils n'ont que très rarement tourné leur tête en direction de leur mère (seuls 4 enfants l'ont fait pendant une durée ≤ 4.5 sec au cours des 3 minutes de test), indiquant, leur coopérativité au test, une non référenciation sociale quasi générale, et enfin que la proximité de la mère et son interaction avec l'expérimentatrice ne semblent pas constituer un facteur de distraction. Les enfants ont passé en moyenne 92% du temps de test tenant l'objet en main, dont 31% en contact buccal. Ils ont regardé l'objet pendant 37% du temps. Par ailleurs, les enfants ont généralement vocalisé pendant le test (seuls 6 / 37 n'ont jamais vocalisé), mais pendant des courtes durées (7% de la durée de test). Comme ce dernier item n'est pas apparu discriminant en fonction du groupe d'exposition, du sexe ou de l'odeur de l'objet, il a été exclu des analyses ultérieures.

La présentation répétée d'un objet identique quant à son aspect tactile et visuel à un enfant de 6-12 mois est généralement cause d'habituation ou de fatigue (Fenson, Sapper, & Minner, 1974; Steele & Pederson, 1977; Ruff, 1984, 1986). Nous avons vérifié si, dans les conditions de notre expérience, de tels effets émergent. Les ANOVAs réalisées révèlent que seule la durée de contact manuel avec l'objet s'est trouvée affectée par la présentation répétée des objets [Durée de manipulation : objet 1 : 58.52 ± 3.67 sec, objet 2 : 55.61 ± 8.74 sec, objet 3 : 51.86 ± 13.08 sec ; $F(2,108) = 4.53$, $p = 0.018$; cf. Figure 12].

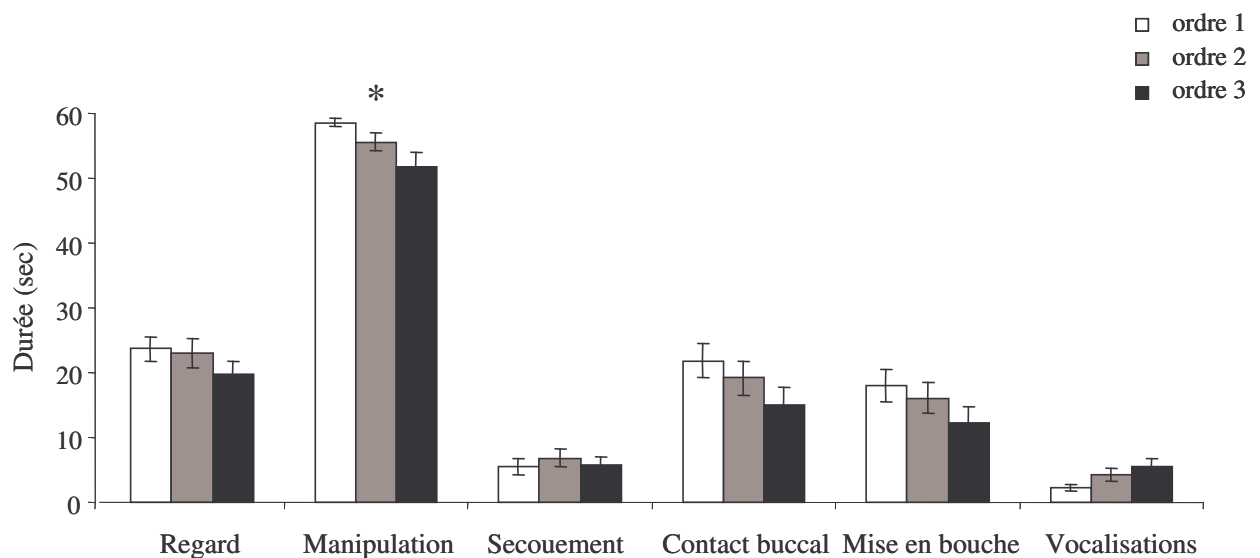


Figure 12. Durée moyenne (\pm erreur standard) des items d'interaction avec l'objet de test en fonction de l'ordre de présentation. * : $p < 0.05$.

Finalement, les ANOVAs à 2 facteurs (exposition supplémentaire à la camomille x odeur) réalisées sur l'ensemble des variables comportementales ne révèlent aucun effet principal de l'exposition supplémentaire [$F(1,34) < 1$, $p > 0.05$], et aucune interaction entre ce facteur et le facteur odeur [$F(2,68) < 1$, $p > 0.05$].

Effets de l'odeur et de l'expérience olfactive précoce

Les ANOVAs à 3 facteurs (odeur x groupe d'exposition x sexe) n'ont révélé aucun effet principal de la nature de l'odeur ou de l'expérience olfactive précoce. Par contre, l'interaction entre les facteurs odeur et groupe d'exposition est apparue significative pour le nombre de regards en direction de l'objet [$F(2, 66) = 4.94$; $p = 0.01$], le nombre et la durée de contacts buccaux [$F(2, 66) = 4.41$ et 7.82 , $p = 0.01$ et < 0.001 , respectivement], et le nombre et la durée de mise en bouche [$F(2, 66) = 3.94$ et 6.35 , $p = 0.02$ et 0.003 , respectivement, cf. Annexe 8]. Aucun effet interactif n'est ressorti concernant la manipulation ou le secouement de l'objet (cf. Annexe 8). Pour un certain nombre de variables, les enfants Ca+ et Ca- se sont donc comportés de manière différente avec les objets en fonction de leur odeur.

Les enfants des groupes Ca+ et Ca- ont dirigé autant leur regard vers l'objet camomille et vers l'objet inodore. Par contre, les enfants Ca- ont regardé significativement moins souvent l'objet violette que les enfants Ca+ [$t(35) = 2.54$, 0.27 , et -0.98 ; $p = 0.015$, 0.78 , et 0.33 , respectivement pour l'objet violette, camomille, et témoin, cf. Figure 13]. Les enfants Ca+ ont regardé les différents objets de façon similaire [$t(19) = -0.27$, 1.35 , et -1.23 ; $p > 0.05$, respectivement pour les comparaisons camomille versus violette, camomille versus témoin, violette versus témoin, cf. Figure 14]. En revanche, les enfants Ca- ont dirigé leur regard moins souvent, mais aussi longtemps, vers l'objet violette que vers l'objet camomille ou l'objet inodore, mais ils ont regardé autant ces deux derniers objets [$t(16) = 2.59$, 3.43 , -0.55 ; $p = 0.02$, 0.003 ; $p > 0.05$, respectivement pour les comparaisons violette versus camomille, violette versus témoin, camomille versus témoin, cf. Figure 14]. Donc bien que les enfants Ca+ n'aient pas regardé différemment les objets, les enfants Ca- ont différencié l'objet violette des deux autres objets en terme d'occurrences de regard.

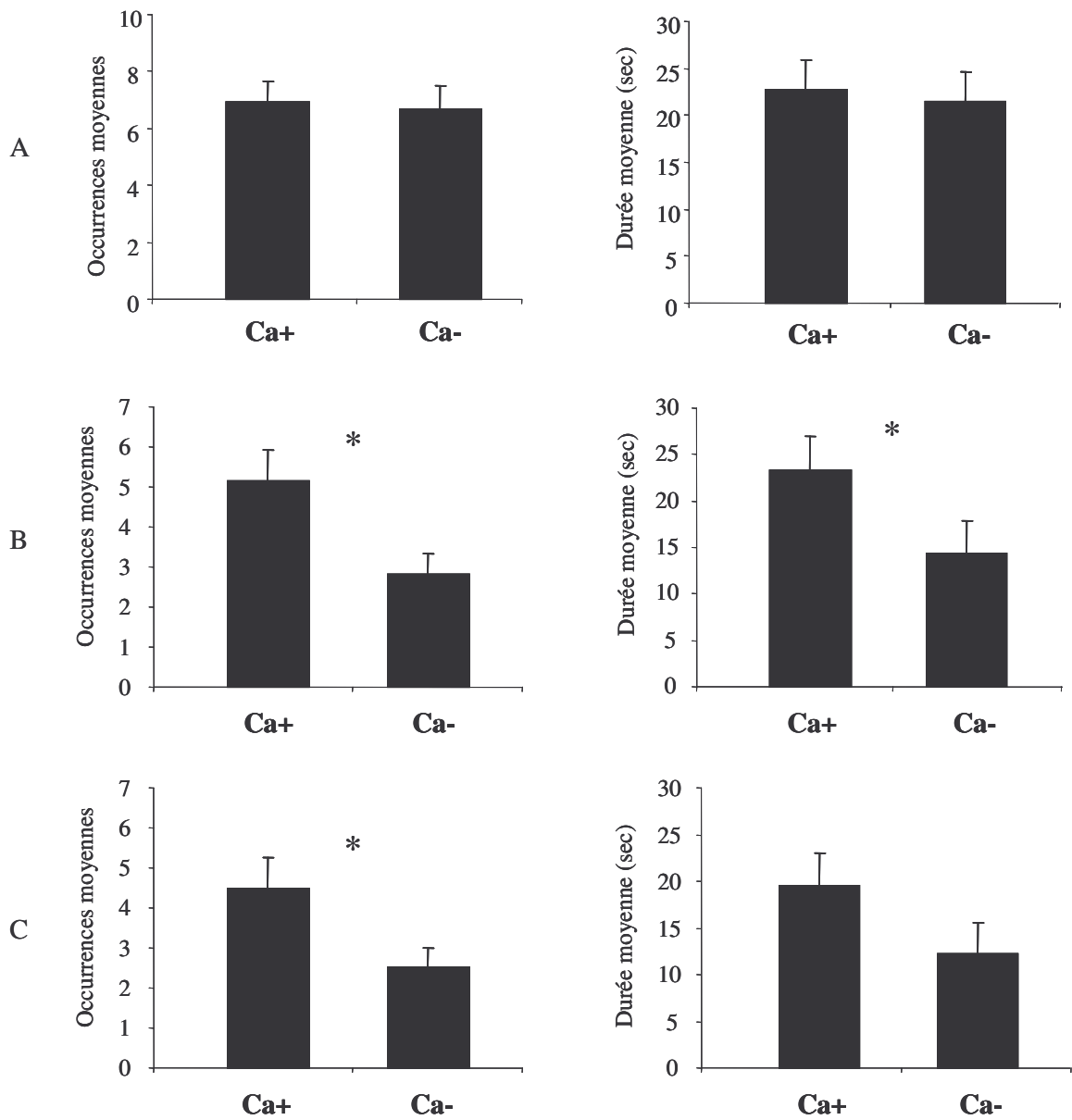


Figure 13. Occurrences et durées moyennes (\pm Erreur Standard) des regards (A), des contacts objet-bouche (B) et des mises en bouche (C) exprimés à l'égard de l'objet camomille pour les groupes d'enfants Ca+ et Ca-.

Ca+: sujets exposés à l'odeur de camomille en association au sein maternel, Ca-: sujets non exposés à l'odeur de camomille. *: $p < 0.05$ (test t).

Les enfants Ca+ ont porté à leur bouche l'objet camomille et l'ont mis en bouche plus fréquemment que les enfants Ca- [$t(35) = 2.44$ et 2.08 ; $p = 0.02$ et 0.04 , respectivement, cf. Figure 13], mais pas plus longuement [$t(35) < 1.76$, $p > 0.05$, pour la durée totale de contact buccal et de mise en bouche]. A l'inverse, les deux groupes d'enfants n'ont pas manifesté de réponse de contact buccal différentielle envers les deux objets témoins, odorant (violette) et inodore.

Au sein du groupe Ca+, les enfants ont porté l'objet camomille à la bouche marginalement plus souvent que l'objet violette [$t(19) = 1.79$ et 1.89 ; $p = 0.08$ et 0.07 , respectivement pour le nombre total de contact objet-bouche et de mise en bouche, cf. Figure 13], et ont contacté le premier avec la bouche significativement plus longtemps que le second [$t(19) = 3.97$ et 3.55 ; $p < 0.01$, respectivement pour la durée totale de contact buccal et de mise en bouche, cf. Figure 13]. Cependant, les enfants Ca+ n'ont pas manifesté plus de contacts buccaux avec l'objet camomille qu'avec l'objet inodore [pour les occurrences et durées totales de contacts buccaux et de mises en bouche : $t(19) < 1.59$, $p > 0.05$].

A l'inverse, au sein du groupe Ca-, l'objet camomille a été porté moins souvent au contact de la bouche et pendant des durée plus courtes que l'objet violette [$t(16) = -2.50$ et -2.32 , $p = 0.02$ et 0.03 , respectivement pour le nombre total et la durée totale de contacts, cf. Figure 14], bien que ces deux objets n'aient pas été différemment introduits en bouche [$t(16) < -0.90$, $p > 0.05$, pour les occurrences et durées totales de mises en bouche]. De plus, les jeunes enfants Ca- ont porté l'objet inodore à la bouche plus souvent que l'objet camomille [$t(16) = -2.12$ et -2.53 ; $p = 0.05$ et 0.02 , respectivement pour le nombre total de contacts objet-bouche et de mises en bouche, cf. Figure 14] ; néanmoins, il ne l'ont pas contacté plus durablement avec la bouche que ce dernier [$t(16) < -1.09$, $p > 0.05$, pour la durée totale de contact et de mise en bouche].

Enfin, aucune des réponses des enfants Ca+ envers l'objet camomille ne dépend de la quantité totale d'expositions à la camomille, de la durée globale de la période d'exposition ou du délai entre la cessation de l'exposition et le test (cf. Annexe 13).

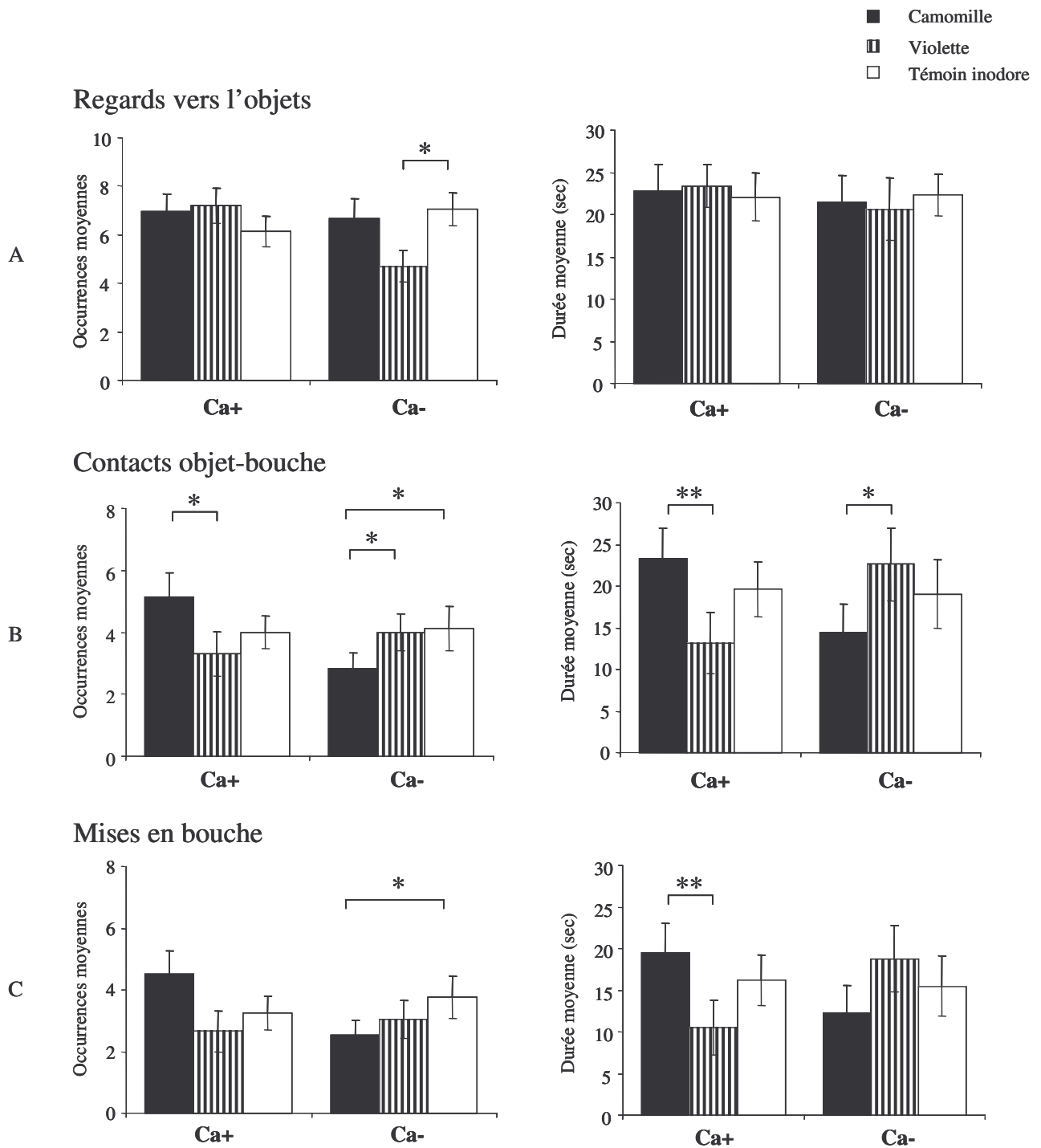


Figure 14. Occurrences et durées moyennes (\pm Erreur Standard) des regards (A), des contacts objet-bouche (B) et des mises en bouche (C) manifestées à l'égard des objets par les enfants des sous-groupes Ca+ et Ca-.

Ca+ : enfants exposés à l'odeur de camomille en association au sein maternel, Ca- : enfants non exposés à cette odeur pendant l'allaitement. **: $p < 0.001$, *: $p \leq 0.05$ (tests t).

Effet du facteur sexe

Quelle que soit l'odeur des objets, les garçons et les filles expriment un mode d'exploration différent des objets. Les ANOVAs à 3 facteurs (odeur x groupe d'exposition x sexe) confirment l'effet principal du sexe sur les réponses de contact manuel et oral avec les objets, mais aucun effet interactif comprenant ce facteur. Les garçons, bien qu'ils saisissent manuellement les objets aussi longtemps que les filles, les relâchent puis les reprennent plus souvent pendant les trois séquences de test [$F(1, 33) = 4.83$ et 0.44 , $p = 0.03$ et 0.35 , respectivement pour les occurrences et durées totales ; cf. Annexe 9 et Figure 15]. De plus, les garçons secouent les objets plus souvent et plus longtemps que les filles [$F(1, 33) = 4.46$ et 5.44 , $p = 0.04$ et 0.02 , respectivement pour les occurrences et durées ; cf. Annexe 9 et Figure 15]. Par contraste, les filles explorent les objets oralement plus que les garçons, manifestant des contacts buccaux plus fréquents et plus durables [$F(1, 33) = 6.50$ et 4.49 , $p = 0.01$ et 0.04 , respectivement pour les occurrences et durées], ainsi qu'une tendance à la mise en bouche plus longue [$F(1, 33) = 2.88$ et 3.15 , $p = 0.10$ et 0.08 , respectivement pour les occurrences et durées ; cf. Annexe 9 et Figure 15].

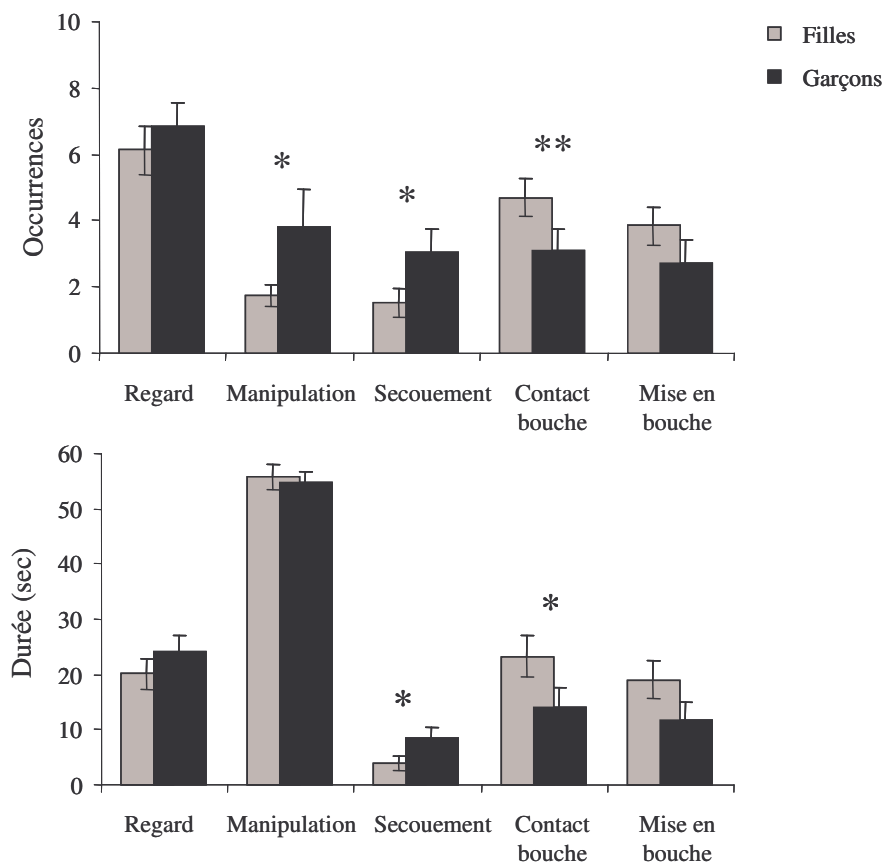


Figure 15. Occurrences et durées moyennes (\pm Erreur Standard) des Manipulations, secouements, contacts objet-bouche et mises en bouche manifestées par les filles et les garçons de 7 mois à l'égard des objets odorisés. **: $p < 0.001$, *: $p \leq 0.05$ (ANOVA).

2.1.3. Conclusions

Adéquation de la méthode aux questions de recherche

La présentation répétée de trois objets d'aspects visuel et tactile identiques portant trois odeurs différentes engendre un effet d'habituation ou de désintérêt. Toutefois, cet effet se traduit par une diminution d'intérêt ou d'attention relativement faible puisque le troisième objet est encore saisi pendant 84.6% du temps de test). Aussi, l'objet de test et la procédure mise en oeuvre s'avèrent satisfaisants pour observer les comportements différentiels des enfants de 7 mois envers différentes stimulations odorantes.

En outre, cette méthode est appropriée à l'étude de la réactivité précoce aux odeurs, car la qualité olfactive de l'objet influence les conduites exploratoires. Les réponses du groupe témoin (Ca-) indiquent que l'objet camomille et l'objet violette ne sont pas traités de manière équivalente. Les enfants regardent l'objet violette moins souvent que l'objet camomille et le portent plus dans leur champ nasal (sans pour autant l'introduire plus en bouche). Autrement dit, dans une telle situation les odorants sélectionnés sont perceptibles et distinguables par l'enfant de 7 mois.

Cependant, la présence ou l'absence d'une odeur surajoutée aux objets n'engendre pas de comportements exploratoires nettement différenciés. L'objet témoin, sans odeur ajoutée, ne suscite pas moins d'intérêt que les objets odorisés. Il est plus souvent regardé que l'objet violette et plus fréquemment porté au contact de la bouche puis mis en bouche que l'objet camomille. Ce résultat est en contraste avec les conclusions d'études antérieures indiquant que les enfants de 6 à 13 mois interagissent plus avec un objet odorisé qu'avec un objet sans odeur ajoutée (Schmidt & Beauchamp, 1989 ; Mennella & Beauchamp, 1998)¹. Ils suggèrent que la nature de l'odeur ajoutée est plus déterminante que la simple odorisation de l'objet dans la modulation des réponses exploratoires.

Effet de l'expérience olfactive précoce sur les réponses à 7 mois

La réponse des enfants aux différents objets est influencée par l'expérience précoce avec l'odeur de camomille. Les enfants Ca+ se sont comportés distinctement envers les deux objets odorisés, mais de façon opposée aux enfants Ca-. Ils ont porté l'objet camomille au contact de la zone oro-nasale plus que l'objet violette, et mis le premier plus fréquemment en bouche. De plus, les comparaisons inter-groupes montrent que l'objet camomille a été exploré par voie buccale (et donc nasale) plus par les enfants Ca+ que par les enfants Ca-.

¹ Les auteurs précisent néanmoins que les différences de réponses sont subtiles et qu'elles ont requis des analyses statistiques « rigoureuses » pour être mises en évidence.

Cette différence peut être interprétée comme reflétant un effet à long terme de l'expérience précoce avec l'odeur de camomille.

Ainsi, les enfants de 7 mois se montrent plus attirés par une qualité odorante à laquelle ils ont été exposés précocement. L'influence de l'odeur acquise demeure effective de 3.5 à 7.5 mois (en moyenne : 5.35 ± 1.3 mois) après la fin de l'exposition à l'odeur lors de la tétée.

Variation sexuelle de l'exploration des objets

Finalement, sans considération de l'expérience olfactive précoce ou de l'odeur actuelle de l'objet, les garçons et les filles diffèrent dans leur mode d'interaction avec les objets présentés. Les filles les explorent plus par voie orale, alors que les garçons restent plus manuels et plus mobiles. Lorsqu'ils manipulent un objet, les garçons ont tendance à manifester des mouvements plus vigoureux que les filles. Une telle observation a déjà été relevée par ailleurs chez des enfants de 5-6 mois (Pomerleau, Malcuit, Cossette, & Lamarre, 1987, dans Cossette, Malcuit, & Pomerleau, 1991). Cette disparité de genre pourrait refléter des différences plus générales d'activité/réactivité et de comportement exploratoire. Au cours de la première année, les garçons manifestent des niveaux d'activité motrice générale plus élevés que les filles ; ces dernières étant moins actives et plus stables dans leur comportement général (Campbell & Eaton, 1999 ; Garstein & Rothbarth, 2003 ; Martin, Wisenbacker, Backer, & Huttunen, 1997). Par ailleurs, les enfants des deux sexes suivent des courbes de développement des aptitudes de préhension manuelle distinctes : les filles ont une tonicité musculaire supérieure qui favorise la tenue de l'objet au cours des premiers mois de vie (Tanner, 1974, 1978 ; dans Segond, 1997). En somme, dans les présentes conditions, les filles semblent plus proximales et les garçons plus distaux et plus actifs dans leurs relations aux objets. En conséquence, les enfants des deux sexes pourraient avoir des expériences contrastées de perception olfactive des objets.

3. Rétention à 18-23 mois de l'expérience olfactive précoce

L'Expérience 9 a mis en évidence la capacité de rétention à long terme d'une odeur acquise en association avec la tétée au cours des premières semaines de vie. Dans le but d'évaluer la capacité de rétention d'une mémoire olfactive encodée précocement sur un terme beaucoup plus long, le même échantillon d'enfants a été exposé à des tests de rappel à des âges variant de 18 à 23 mois.

3.1. Principe de l'étude

Le développement moteur et cognitif plus avancé des enfants de 18-23 mois nous a obligé à concevoir de nouvelles procédures expérimentales mettant à profit des réponses comportementales plus sophistiquées dans des contextes fonctionnels plus variés. La présente expérience est composée de trois épreuves utilisant les mêmes stimulations olfactives (camomille, violette) dont l'administration est contrôlée soit par l'expérimentatrice, soit par l'enfant lui-même. La première épreuve (A) se focalise sur les réactions faciales déclenchées par les odorants présentés par l'expérimentatrice. La deuxième épreuve (B), calquée sur celle administrée aux enfants de 7 mois, vise à examiner l'interaction de l'enfant avec des objets qui ne diffèrent que par leur odeur. La troisième épreuve (C) consiste à présenter deux biberons odorisés, soit avec l'odeur acquise précocement, soit avec une odeur témoin, puis à estimer les réponses préférentielles.

Ces trois épreuves, passées au cours d'une même session, ont été présentées aux enfants comme des activités ludiques. Leur ordre a été fixé au cours d'une étude pilote menée sur 5 enfants du même âge, en fonction du bon vouloir des enfants à réaliser les différentes tâches proposées. Il en est ressorti que l'inhalation des odorants présentés sur des cotons-tiges est moins bien acceptée que les autres tâches. Afin de faciliter la collecte de résultats pour les tâches intéressant moins les enfants, un ordre fixe de passation des trois épreuves a été adopté (ordre A-B-C). Néanmoins, les 37 enfants étudiés n'ont pas tous achevé les trois épreuves (cf. Figure 16).

Dans chacune des tâches effectuées, la réactivité différentielle aux odeurs de camomille et de violette a été évaluée en fonction de l'expérience précoce de la camomille. Les enfants n'ont jamais été exposés à l'odeur de violette en dehors de l'Expérience 9.

Bien que les enfants soient âgés de 18 à 23.5 mois, nous considérerons ici leur âge moyen de 21 mois par souci de commodité de présentation.

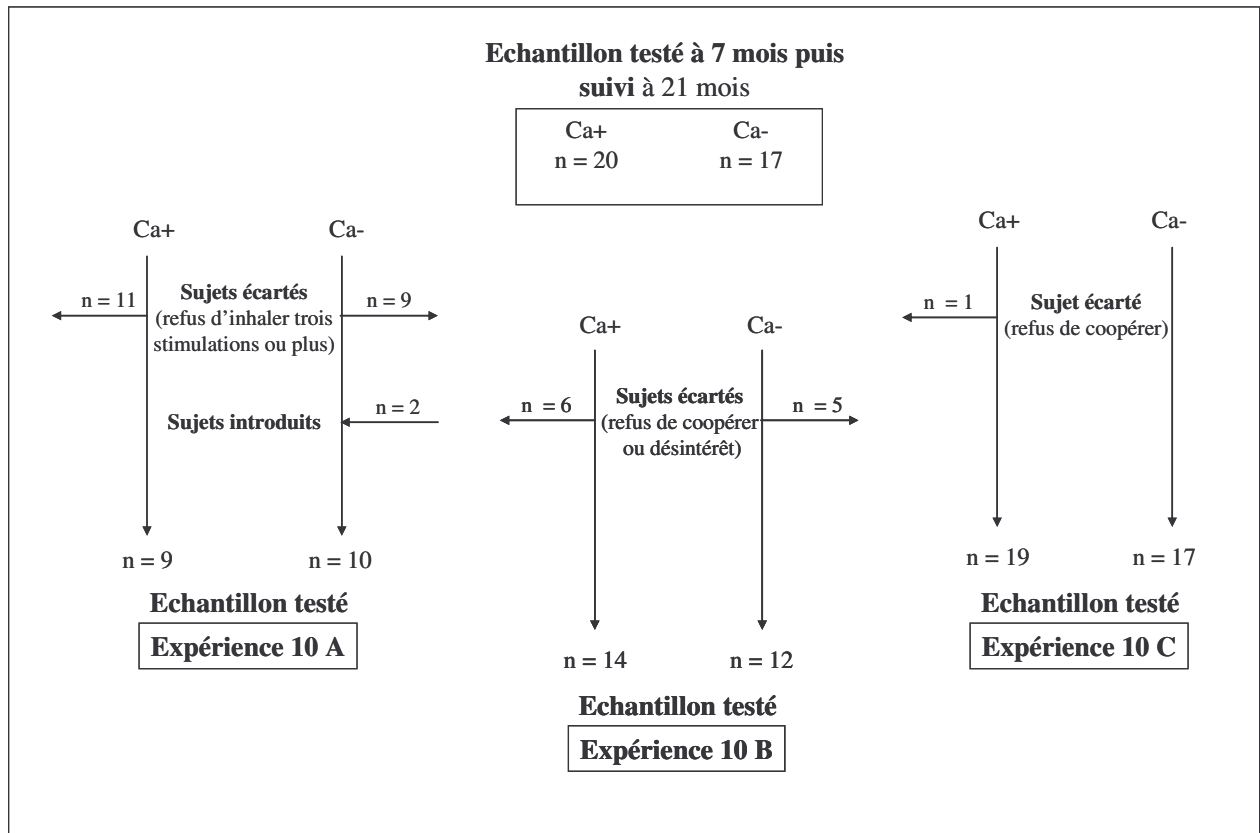


Figure 16 : Diagramme du suivi longitudinal des sujets des sous-groupes Ca+ et Ca- testés à 21 mois (Expériences 10 A, B, et C).

Ca+ : enfants ayant été exposés à l'odeur de camomille pendant l'allaitement ;
 Ca- : enfants n'ayant jamais expérimenté l'odeur de camomille.

3.2. Expérience 10 A : Réponses faciales aux odorants

Cette première épreuve a été mise en œuvre dans le but d'examiner plusieurs hypothèses. Les investigations sur la réactivité aux odeurs chez les enfants entre 12 et 24 mois restent très rares. La plupart ont utilisé des méthodes cliniques (Peto, 1936 ; Gordon Pomares, Schirrer, & Abadie, 2002), d'autres sont de nature expérimentale (étude non publiée de Lipsitt & Engen, décrite dans Engen & Engen, 1997). Ces études ont conclu que dans cette tranche d'âge, bien que les enfants détectent les stimulations olfactives, ils ne paraissent pas exprimer de réponses hédoniques différenciées.

Peto (1936) a observé 293 enfants âgés de 1 mois à 16 ans en réponses à divers odorants¹. Il s'est focalisé sur les réponses d'aversion exprimées par les réactions faciales, gestuelles et verbales. Parmi les 92 enfants âgés de moins de 5 ans, 89 n'ont pas manifesté de réaction aversive, alors qu'à partir de 5 ans (203 enfants testés), la majorité des enfants (71%) a exprimé de telles réactions².

Lipsitt et Engen ont, quant à eux, testé 50 enfants de 1 à 2 ans au cours d'une séance de jeu libre où divers odorants étaient pulvérisés³ pendant que des observateurs⁴, dissimulés derrière un miroir sans tain, évaluaient leurs réponses faciales de plaisir et déplaisir⁵. Il est ressorti que les enfants ne paraissent pas affectés par les divers odorants, pourtant fortement contrastés au plan hédonique (Engen & Engen, 1997). Ces auteurs ont conclu à la faible réactivité hédonique aux odeurs à 1-2 ans. Toutefois, une telle situation de test n'est peut être pas propice à la mise en évidence d'une réactivité aux odeurs, dans la mesure où, même chez l'adulte, peu d'individus sont capables de prêter attention à des stimulations olfactives qui leur sont présentées à leur insu lorsqu'ils sont concentrés à réaliser une autre activité (Bensafi, Rouby, Farget, Vigouroux, & Holley, 1998, dans Holley, 1999). En outre, la méthode de jugement des réponses faciales utilisée par Lipsitt et Engen est extrêmement globale.

L'analyse des mimiques faciales humaines requière l'utilisation de critères objectifs clairement définis. Ce type d'analyse détaillée a permis de révéler une réactivité faciale différentielle envers des odorants contrastés sur le plan hédonique chez le nouveau-né (Steiner, 1977 ; Soussignan et al., 1997) et chez l'enfant plus âgé (Soussignan & Schaal, 1996a, 1996b). L'application de méthodes fines de codage des expressions faciales devrait donc se révéler concluante à l'âge de 21 mois des sujets de la présente étude.

Par ailleurs, l'expérience olfactive canalise les réponses affectives aux odeurs (Cain & Johnson, 1978 ; Engen, 1991 ; Schaal et al., 2000). En conséquence, l'évaluation hédonique des odeurs devrait varier en fonction du degré de familiarité des stimulations et de la nature du contexte dans lequel elles ont été rencontrées auparavant. Si l'odorant associé au sein est

¹ Odeur d'anis (odeur épicée), parfums (odeurs florales), odeur de citron (odeur fruitée), de carbol, d'huile de corne de boeuf, de triméthylamine (odeurs de fumée), d'asa foetide, de valériane, de polysulfides (odeurs de putréfaction).

² Mais Peto ne définit pas clairement la nature des réponses. De plus, il a observé les enfants seul sans se soucier de la fiabilité de ses relevés.

³ Odeurs de disulfure de diméthyle, d'acide butyrique (désagréables pour l'adulte) et acétate d'amyl, ou de lavande (agréables pour l'adulte).

⁴ Etudiants en psychologie non experts.

⁵ Jugement global sans critère d'évaluation précis.

mémorisé à long terme, il devrait se révéler plus agréable pour les enfants de 21 mois qui y ont été exposés que pour ceux qui n'y ont jamais été exposés.

Enfin, l'Expérience 9 a montré une certaine spécificité de la mémoire olfactive précoce. Afin de tester cette notion de spécificité, la présente expérience utilise un plus grand nombre d'odorants de référence. Dans le cas où une telle mémoire olfactive serait spécifique de l'odeur encodée, elle devrait influencer la réactivité hédonique envers l'odeur acquise mais pas envers les autres odorants.

Pour examiner ces différentes hypothèses, nous avons entrepris une analyse des mimiques faciales des enfants de 21 mois en réponse à une gamme d'odorants, comprenant l'odorant cible que certains enfants ont rencontré au cours des tétées précoces.

3.2.1. Méthode

Participants

Parmi les 37 participants, seulement 17 (9 Ca+, 8 Ca-) ont complété cette épreuve (cf. Figure 16). Vingt enfants (11 Ca+ et 9 Ca-) ont dû être écartés soit à cause d'un refus d'inhaler tout odorant ($n = 5$), soit parce qu'ils ont refusé que l'expérimentatrice leur administre plus de 2 stimulations ($n = 15$). Trois enfants du groupe Ca- n'ont pas échantillonné l'ensemble des odorants.

Deux nouveaux sujets n'ayant jamais été exposés à la camomille ont été introduits dans le sous-groupe Ca- pour permettre le traitement statistique des données (cf. Figure 16). Les groupes d'enfants Ca+ et Ca- sont homogènes en terme de sexe, âge, et durée de la période d'allaitement [$t(16) = -0.84$ et -0.15 , respectivement pour les 2 dernières variables, $p > 0.05$, cf. Tableau 4].

Tableau 4 : Caractéristiques des participants de l'Expérience 10.

Expérience 10	A		B		C	
	réponses faciales		interaction avec les objets		choix entre deux biberons	
Groupes ¹	Ca+	Ca-	Ca+	Ca-	Ca+	Ca-
Nombre de sujets filles / garçons	9 5 / 4	10 5 / 5	14 7 / 7	12 5 / 7	19 9 / 10	17 9 / 8
Age ² (mois)	20.6 ± 0.9 (20 – 22)	21.0 ± 1.2 (20 – 23)	20.9 ± 1.2 (19.5 - 23.5)	21.0 ± 1.0 (20 – 23)	21.1 ± 1.2 (19.5 - 23.5)	20.7 ± 1.2 (18 – 23)
Durée totale d'allaitement au sein ² (mois)	6.2 ± 4.2 (1.5 – 15)	6.5 ± 5.3 (1 – 18)	6.8 ± 5.5 (0.5 – 21)	8.3 ± 6.0 (1 – 21)	6.4 ± 4.6 (1.5 – 21)	7.2 ± 5.4 (1 – 21)
Durée d'exposition à la camomille ² (jours)	37.3 ± 25.1 (10 – 85)	0	39.2 ± 34.9 (8 – 120)	0	49 ± 40.3 (8 – 120)	0
Délai entre la dernière exposition et le moment du test ² (semaines)	78.4 ± 6.5 (68-85.2)	0	77 ± 6 (64 – 90)	0	78 ± 8 (62 – 91)	0
Nombre total d'exposition ²	104 ± 93.7 (20 – 270)	0	96 ± 79 (20 – 270)	0	114 ± 77.3 (20 – 270)	0
Lieu du test (Domicile / Clinique)	5 / 4	7 / 3	8 / 6	7 / 5	9 / 10	10 / 7

¹ Ca+: enfants ayant été exposés à l'odeur de camomille pendant la tétée ; Ca-: enfants n'ayant jamais expérimenté l'odeur de camomille pendant la tétée.

² Moyenne ± Ecart type (valeurs extrêmes).

Estimation de l'exposition à la camomille

Les enfants Ca+ inclus dans cette Expérience ont été exposés à la camomille au cours de la tétée durant en moyenne 40 ± 26 jours (valeurs extrêmes : 8 à 85 jours), correspondant à une quantité totale moyenne estimée de 105 ± 88 tétées odorisées à la camomille (valeurs extrêmes : 20 à 270). L'application de la pommade à la camomille sur le sein étant dépendante de la décision des mères, la durée de la période d'exposition à la camomille varie d'un individu à l'autre (cf. Figure 17), et avec elle, le délai entre le moment de l'arrêt de l'exposition et celui du test (Délai de rétention moyen : 19.6 ± 1.7 mois, valeurs extrêmes : 17-21.3 mois, cf. Tableau 4).

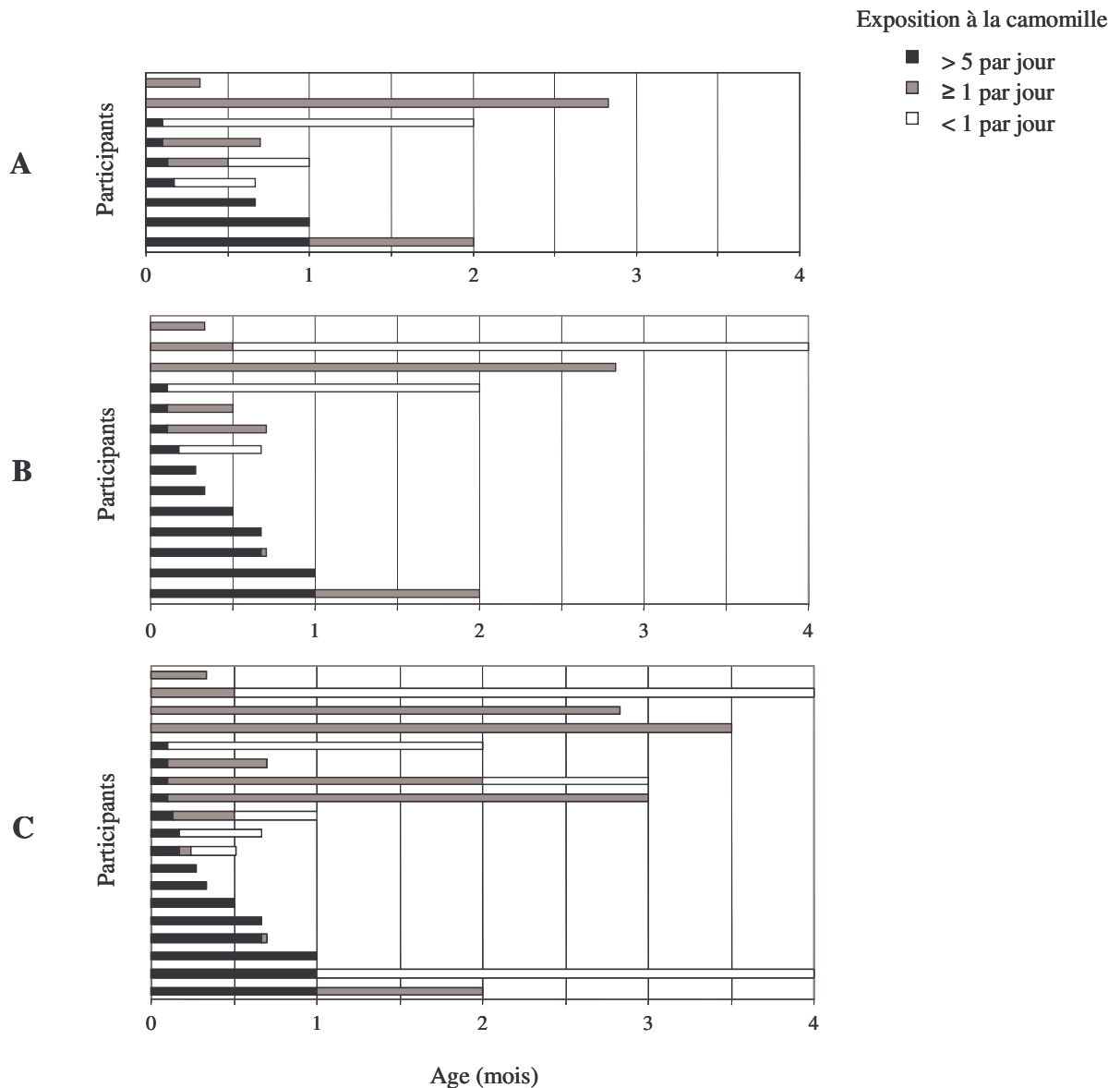


Figure 17. Evolution de la fréquence individuelle d'exposition à l'odeur de camomille dans le contexte de la tétée pour les enfants exposés du groupe Ca+ qui ont participé aux expériences 10 A, B et C.

Six enfants (3 Ca+, 3 Ca-) ont été exposés à la camomille en dehors du contexte de l'allaitement à travers la consommation de tisanes. Le niveau de cette consommation hors allaitement est similaire chez les enfants Ca+ et Ca- [$t(16) = 0.54, p > 0.05$]. Parmi eux, seul un enfant (Ca+) a consommé de la tisane composée de camomille (15 prises de ≤ 60 ml de tisane, au cours des 3 premiers mois), les cinq autres ont consommé une infusion d'un mélange de plantes où la note caractéristique de la camomille n'est pas discernable.

Estimation de l'exposition à la violette et à la vanille

La possible exposition des enfants à la violette entre l'Expérience 9 et le présent test a été vérifiée grâce au questionnaire de consommation figurant à l'Annexe 7. Les mères ont confirmé qu'aucun enfant n'a rencontré cette odeur en dehors de l'Expérience 9.

Par ailleurs, la vanille se retrouvant dans de nombreux produits alimentaires et cosmétiques, son utilisation au sein du foyer de chaque participant a également été estimée à l'aide d'un questionnaire (Annexe 11). Tous les enfants ont été régulièrement exposés à la vanille par l'intermédiaire de produits alimentaires, ou cosmétiques ($n = 8$), ou domestiques (parfum d'ambiance, $n = 4$). Un score global d'exposition à la vanille a été calculé pour chaque enfant afin d'évaluer au mieux la fréquence d'exposition à cette odeur (médiane = 4). Deux sous-groupes d'enfants ont été constitués à partir de ce score : l'un comprenant les enfants très fréquemment exposés à la vanille (score > 4 , $n = 7$), et l'autre les enfants moins fréquemment exposés (score ≤ 4 , $n = 12$; cf. Annexe 10).

Test de préférence olfactive

Stimulations

Les odorants testés à 7 mois ont été à nouveau utilisés ici (odeurs de camomille et de violette). Deux autres odorants ont été utilisés pour élargir la gamme des odorants de référence tant du point de vue de l'hédonicité que de la familiarité. Nous avons choisi l'acide butyrique (0.031%) et la vanilline (0.31%) dilués dans l'eau. Une étude antérieure utilisant ces odorants à ces concentrations (équilibrées en intensité subjective) a mis en évidence leur caractère hédonique contrasté sur la base d'évaluations sensorielles effectuées par des adultes et par des nouveau-nés (Soussignan et al., 1997). Les adultes situent l'acide butyrique vers le pôle désagréable et la vanilline vers le pôle agréable d'une échelle bipolaire en 7 points. Les nouveau-nés quant à eux manifestent plus d'expressions de dégoût envers l'acide butyrique qu'envers la vanilline.

En plus de ces odorants, des stimulations témoins ont été utilisées, constituées des différents solvants : un témoin légèrement odorant constitué de la base de la pommade (sans extrait de camomille), à laquelle les enfants Ca+ ont été exposés, et deux témoins inodores composés d'huile minérale et d'eau.

Ces 7 stimulations ont été administrées sur des cotons-tiges (longueur : 22 cm), présentés par l'expérimentatrice directement sous le nez des participants en évitant tout contact (cf. Figure 18).

Procédure de test

Les enfants ont été testés à domicile ou à la Clinique (la proportion de participants testés dans l'une ou l'autre condition ne diffère pas de façon significative, $\chi^2 = 0.5$, $p > 0.05$). Avant la présentation effective des divers odorants, la « fonctionnalité » des cotons-tiges est précisée à l'enfant, car des tests pilotes ont indiqué que de nombreux enfants détournent la tête ou se cachent le visage à la seule vue d'un coton-tige. Dans un premier temps, l'expérimentatrice explique à l'enfant que le coton-tige sert à sentir des odeurs tout en mimant de façon exagérée une séquence d'inhalation d'un coton-tige. Cette séquence préliminaire est ensuite réalisée avec l'enfant en amenant ce même coton-tige sous son nez (à 2 cm), à la fois pour le familiariser avec ce type de support dans un contexte qui n'a rien à voir avec la toilette nasale ou auriculaire, et pour s'assurer de sa bonne compréhension de la procédure.

Les 7 stimulations olfactives sont alors administrées successivement en les présentant durant 3 secondes sous le nez de l'enfant. Les présentations sont espacées d'intervalles d'au moins une minute pour limiter des phénomènes d'adaptation. L'ordre de présentation est déterminé aléatoirement par la mère. Celle-ci désigne au hasard parmi 7 un chiffre qui détermine la position des stimulations dissimulées dans une boîte opaque placée hors de son champ de vision. Pendant la présentation séquentielle des stimulations, l'expérimentatrice maintient une expression neutre et la mère a la consigne de ne pas interagir avec l'enfant. Chaque enfant est filmé en gros plan sur le visage pour l'analyse ultérieure des expressions faciales.

Codage du comportement facial

Les réponses faciales sont analysées à l'aide du système de codage des actions faciales (Facial Action Coding System ou FACS) d'Ekman et Friesen (1978) dans sa version pour enfants (Oster & Rosenstein, 1993, manuscrit non publié). Cette technique, basée sur la description du substrat musculaire des mouvements faciaux, identifie toutes les unités d'actions (UA) visibles du visage. Chaque UA, désignée par un code numérique, correspond à des changements transitoires précis dans la forme, le mouvement ou la localisation des repères faciaux (sourcils, paupières, joues, lèvres, menton), et le plissement, le creusement ou le gonflement de la peau du visage. Des études antérieures ayant montré que les mimiques faciales d'aversion étaient plus discriminatives que les mimiques d'acceptation pour examiner les réponses hédoniques provoquées par les odeurs chez l'enfant (Steiner, 1979 ; Soussignan & Schaal, 1996a, 1996b ; Soussignan, et al., 1997 ; Rosenstein & Oster, 1988),

nous nous sommes focalisés sur l'analyse des réponses faciales d'aversion, telles que définies chez l'enfant humain (Oster & Rosenstein, 1993 ; Soussignan & Schaal, 1996a).

Une mimique est considérée comme exprimant de l'aversion quand elle contient une UA indicatrice de dégoût (Rosenstein & Oster, 1988 ; Soussignan & Schaal, 1996a ; Steiner, 1977) et/ou d'autres actions négatives non spécifiques exprimées par les enfants lorsqu'on les expose à une odeur désagréable (Soussignan & Schaal, 1996a, 1996b ; Soussignan et al., 1997). Les actions caractéristiques de l'émotion du dégoût sont le plissement du nez (UA 9) et l'élévation de la lèvre supérieure (UA 10). Les autres actions qui peuvent être associées au dégoût et/ou aux odeurs désagréables incluent l'abaissement des sourcils (UA 4), l'approfondissement du sillon naso-labial (UA 11), la formation d'une fossette (UA 14), l'abaissement des commissures labiales (UA 15), l'élévation du menton (UA 17), l'étirement des lèvres (UA 20). Un codeur entraîné et certifié au FACS (Robert Soussignan) a examiné en aveugle, à partir des films, les mimiques d'aversion (cf. exemples Figure 18) exprimées par les enfants au cours des 3 secondes de présentation et des 3 secondes de post-présentation (total de 6 secondes) des différentes stimulations.



Figure 18. Expressions faciales d'aversion manifestées par les enfants non exposés à la camomille (Ca-) en réponse à cette odeur (1: UA 9, 2: UA 17, 3: UA 9, 4: UA 10, 5: UA 14, 6: UA 9), et par les enfants exposés à la camomille (Ca+) en réponse à l'odeur de l'acide butyrique (7: UA 4+9, 8: UA 9, 9: UA 14).

UA 4 : abaissement des sourcils, UA 9: plissement du nez, UA 10 : élévation de la lèvre supérieure, UA 14 : formation d'une fossette, UA 15 : abaissement des commissures labiales, UA 17 : élévation du menton, UA 20 : étirement des lèvres.

Analyses statistiques

Des tests de Cochran, évaluant des différences de proportion, ont été calculés pour examiner la réactivité faciale différentielle des enfants en fonction de la nature des odorants ou de leur ordre de présentation. Ces tests ont été appliqués sur l'ensemble des stimulations. Ensuite des tests de Mac Nemar ont permis de préciser quels odorants sont discriminés sur le plan hédonique en comparant les réponses des enfants envers deux odorants différents.

L'influence de l'exposition précoce à l'odeur de camomille a été évaluée à l'aide de tests de probabilité exacte de Fisher (bilatéraux). Ces tests permettent de vérifier si les proportions

d'enfants qui ont exprimé au moins une mimique d'aversion envers chaque stimulation au sein des sous-groupes Ca+ et Ca- différent de façon significative.

Un autre test de Fisher a aussi été calculé afin de vérifier l'impact de la fréquence d'exposition à la vanille sur les réponses hédoniques exprimées envers cette odeur.

Enfin, l'effet du facteur sexe a été étudié à l'aide de tests de χ^2 .

3.2.2. Résultats

Effet de l'ordre de présentation

L'ordre de présentation des stimulations n'affecte pas la réactivité aux odeurs comme l'atteste le test de Cochran [$Q(6) = 7.32, p > 0.05, (n = 15)$].

Effet de l'odeur

Les enfants de 21 mois, quelle que soit leur expérience olfactive précoce, réagissent de façon différentielle envers les différentes stimulations présentées, odorantes ou inodores [$Q(6) = 15.35, p = 0.02, (n = 15)$; cf. Annexe 11 et Figure 19 A].

Les odorants ne sont pas différenciés de façon significative de l'effluve de leurs diluants respectifs sur le plan hédonique. L'acide butyrique, tout comme la vanille n'est pas différencié du témoin aqueux (Mac Nemar, $\chi^2 = 0.17$ et 0.57 , respectivement, $p > 0.05$). La camomille n'est pas distinguée de la base, et la violette de l'huile minérale (Mac Nemar, $\chi^2 = 0.1$ et 2.2 , respectivement, $p > 0.05$).

Par contre, les quatre stimulations odorantes suscitent des réactions hédoniques différentielles. Les odeurs de vanille et d'acide butyrique déclenchent toutes deux des expressions faciales d'aversion. Elles sont néanmoins discriminées par les enfants (Mac Nemar, $\chi^2 = 4.17, p = 0.04$), car l'odeur de l'acide butyrique est rejetée par un plus grand nombre de sujets. L'odeur de camomille déclenche aussi des mimiques d'aversion chez une proportion plus importante d'enfants que la violette (Mac Nemar, $\chi^2 = 4.17, p = 0.04$). Cependant, la camomille suscite une réaction d'aversion chez une proportion d'enfants qui ne diffère de manière significative, ni de la proportion d'enfants rejetant l'acide butyrique ($\chi^2 = 2.29, p > 0.05$), ni de celle rejetant la vanille ($\chi^2 = 0.4, p > 0.05$). Au contraire, la violette apparaît très nettement moins aversive que l'acide butyrique ($\chi^2 = 9.09, p = 0.003$), et aussi peu aversive que la vanille ($\chi^2 = 0.8, p > 0.05$).

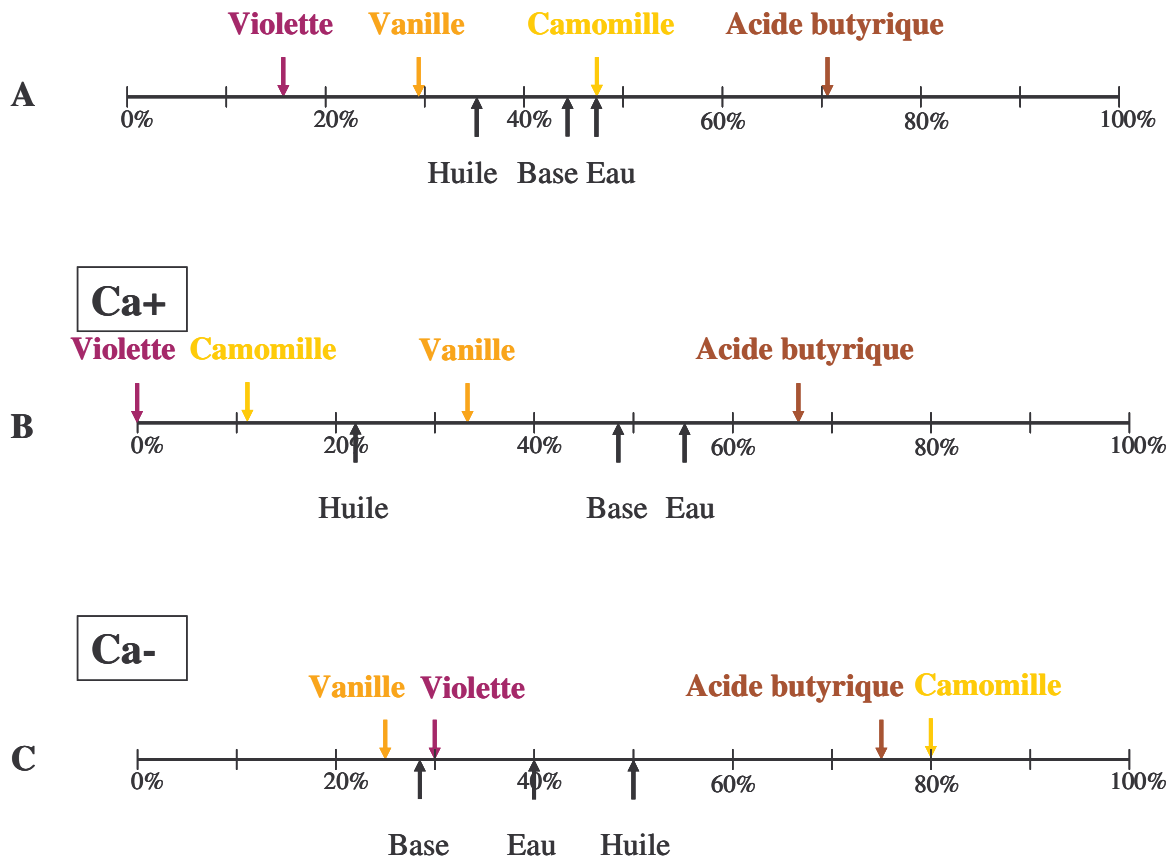


Figure 19. Proportions d'enfants de 21 mois exprimant au moins une mimique faciale d'aversion à l'égard de chacune des stimulations odorantes et témoins pour l'ensemble des sujets testés (A), pour les sujets du sous-groupe Ca+ ayant été exposés à la camomille pendant la tétée (B), et pour les sujets non exposés du sous-groupe Ca- (C).

Effet de l'exposition précoce à la camomille

Les enfants des groupes Ca + et Ca- expriment des réponses différentes envers la camomille. Un seul enfant Ca+ (parmi 9) a manifesté une mimique d'aversion envers cette odeur, alors que la majorité des enfants Ca- (8/10) a réagi de telle manière (Test de Fisher bilatéral : $p = 0.003$, cf. Figures 19 et 20). Les unités d'actions exprimées par les enfants Ca- en réponse à cette odeur comprennent les UA 4, 9, 10, 14, et 17 (cf. Figure 18).

En revanche, des proportions similaires d'enfants Ca + et Ca- ont exprimé des mimiques d'aversion envers la violette (Ca+ : 0/9 versus Ca- : 3/10, Test de Fisher bilatéral, $p > 0.05$), la vanille (Ca+ : 3/9 versus Ca- : 2/8, Test de Fisher bilatéral, $p > 0.05$), l'acide butyrique (Ca+ : 6/9 versus Ca- : 6/8, Test de Fisher bilatéral, $p > 0.05$), la base de la pommade (Ca+ : 5/9 versus Ca- : 3/9, Test de Fisher bilatéral, $p > 0.05$) et les témoins inodores composés d'huile minérale (Ca+ : 2/9 versus Ca- : 4/8, Test de Fisher, $p > 0.05$) et d'eau (Ca+ : 5/9 versus Ca- : 4/10, Test de Fisher, $p > 0.05$, cf. Figure 19 et 20).

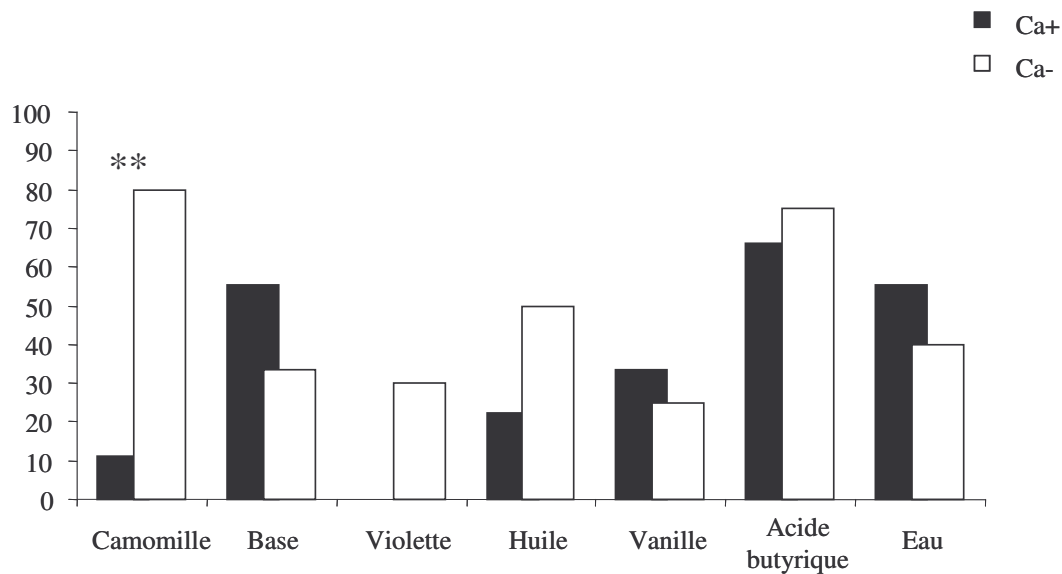


Figure 20. Pourcentage d'enfants exposés à l'odeur de camomille en association aux tétées précoces (Ca+) et non exposés à cette odeur (Ca-) ayant exprimé des unités d'action faciale d'aversion en réponse à cette odeur et aux autres stimulations.

** : $p = 0.005$ (Test bilatéral de Fisher).

Effet de l'exposition régulière à la vanille

Les variations de fréquence d'exposition à la vanille ne semblent pas influencer les réponses des enfants envers cette odeur. Les enfants très fréquemment exposés à la vanille n'expriment pas de mimique d'aversion envers cette odeur, à l'inverse des enfants moins régulièrement exposés (0/7 enfants très souvent exposés, 5/12 enfants moins souvent exposés, cf. Annexe 10). Cependant, cette différence n'est pas significative (Test de Fisher bilatéral, $p > 0.05$).

Effet du sexe

Aucune différence sexuelle n'est relevée dans la réactivité aux odorants présentés. Autant de filles que de garçons ont manifesté des réponses aversives envers les stimulations ($\chi^2 \leq 1$, $p > 0.05$).

3.2.3. Conclusions

Adéquation de la méthode aux questions de recherche

La simple présentation de cotons-tiges odorisés s'est révélée extrêmement difficile chez les enfants de 21 mois. Près de 54% d'entre-eux ont soit refusé de les échantillonner, soit mal compris comment les flairer. Plusieurs enfants ($n = 8$) se sont détournés des supports, d'autres ($n = 5$) se sont saisis des cotons pour tenter de les mettre en bouche, d'autres enfin (n

= 7), plutôt que d'inhaler, expiraient vers le coton-tige, comme cela a déjà été rapporté chez des enfants de 3 ans (Schmidt & Beauchamp, 1988). Il est clair que la présentation de l'odorant sur un coton-tige (qui de toute évidence véhicule une signification intrinsèque liée à son utilisation pendant la toilette souvent intrusive pour l'enfant) n'est pas favorable à mettre en évidence le flairage chez l'enfant. De plus, le contenu sémantique du verbe « sentir » ne s'acquerrait pas avant 4 ans selon certains auteurs (Engen & Engen, 1997), cette instruction est donc difficilement communicable à des enfants de 21 mois.

Cependant, les enfants qui ont passé cette épreuve révèlent une réactivité différentielle vis-à-vis des odeurs. L'analyse fine des unités d'action faciales permet ainsi de révéler des réponses hédoniques différenciées chez les enfants de 21 mois, pourtant réputés relativement inertes à l'égard des stimulations olfactives (Peto, 1936 ; Engen & Engen, 1997). A l'âge de 21 mois les enfants sont plus nombreux à exprimer des mimiques aversives face à l'odeur de l'acide butyrique que face à l'odeur de vanille. Ces résultats vont dans le sens des données existantes chez l'enfant plus jeune (Soussignan et al., 1997).

Effet de l'expérience sur la réactivité aux odeurs

Dans nos conditions d'étude, le degré de familiarité ne semble pas déterminer à lui seul l'orientation des réponses hédoniques. La fréquence de consommation de vanille n'affecte pas notablement la réactivité hédonique envers son odeur. De plus, l'odeur de violette non familière déclenche moins de réponses d'aversion que l'odeur de vanille très familière. Une odeur nouvelle peut donc être moins aversive pour l'enfant qu'une odeur régulièrement rencontrée dans le contexte alimentaire. En revanche, l'expérience précoce dans le contexte de la tétée affecte notablement la valence hédonique attribuée à l'odeur acquise. Cette odeur, la camomille, est acceptée par la grande majorité des enfants du groupe Ca+, alors que chez la plupart des enfants du groupe Ca- elle suscite des réponses d'aversion.

Spécificité de la mémoire olfactive

Finalement, même si quelques variations sont observées, aucune réactivité hédonique différentielle entre les enfants des groupes Ca+ et Ca- n'est apparue pour les odorants autres que la camomille. Même l'odeur de la base de la pommade, à laquelle les enfants Ca+ ont pourtant été familiarisés, ne paraît pas affectée dans sa propension à déclencher des réponses faciales différentes chez les enfants Ca+ et Ca-. Ce résultat conforte l'hypothèse d'un rappel spécifique de l'image olfactive encodée au cours de la période néonatale.

3.3. Expérience 10 B : Interaction avec divers objets odorisés en fonction de l'expérience olfactive précoce

La deuxième épreuve reprend la procédure de l'Expérience 9, dans laquelle les enfants interagissent librement avec des objets ne différant que par leur odeur. Les conditions de passation de l'épreuve ont toutefois été adaptées à l'état de développement moteur et cognitif des enfants de 21 mois.

La présente épreuve a pour but de vérifier si : 1) les enfants de 21 mois discriminent des objets identiques portant différentes odeurs ; 2) les enfants répondent de façon différentielle à l'objet odorisé à la camomille en fonction de leur expérience précoce avec cette odeur ; 3) les réponses envers l'objet portant l'odeur acquise varient en fonction de la quantité d'expérience ou du délai entre l'arrêt de l'exposition et le test ; et, enfin, 4) les réponses d'interaction avec l'objet émettant l'odeur cible, mesurées à 21 mois, sont liées à celles mesurées à 7 mois.

3.3.1. Méthode

Participants

Parmi les 37 participants, seuls 26 (14 Ca+ et 12 Ca-) ont complété cette tâche. Les autres (6 Ca+ et 5 Ca-) ont dû être exclus soit à cause d'un refus de positionnement stable et/ou d'un manque d'intérêt vis-à-vis des objets présentés ($n = 6$), soit à cause d'une opposition (pleurs) manifestée lors de la récupération de l'objet par l'expérimentatrice à l'issue d'une séquence de présentation ($n = 5$).

Les enfants sont âgés de 20.9 ± 1.1 mois en moyenne (valeurs extrêmes : 19.5-23.5 mois) et ont été allaités au sein maternel pendant une durée moyenne de 7.5 ± 5.7 mois (valeurs extrêmes : 0.5 - 21 mois, cf. Tableau 4). Les deux groupes d'enfants Ca+ et Ca- demeurent équilibrés en sexe, âge et durée totale d'allaitement [$t(24) = -0.15$ et -0.67 , $p > 0.05$, respectivement pour les deux dernières variables].

Exposition à la camomille

Les enfants Ca+ ont été exposés à la camomille en association avec le sein maternel en moyenne pendant 39 ± 35 jours postnatals (valeurs extrêmes : 8-120 jours ; cf. Tableau 4), correspondant à une quantité globale moyenne estimée de 96 ± 79 tétées odorisées à la camomille (valeurs extrêmes : 20-270 jours). La fréquence d'exposition varie selon les participants (cf. Figure 17), et, en conséquence, l'intervalle entre la dernière exposition et le

test aussi (moyenne \pm écart type : 19.6 ± 1.9 mois ; valeurs extrêmes : 15.5-22.7 mois, cf. Tableau 4).

Concernant l'exposition à la camomille en dehors du contexte d'allaitement, seul 1 enfant Ca+ a reçu de la tisane à la camomille (15 prises < 60 ml entre 0 et 3 mois), et 3 autres enfants Ca+ et 6 Ca- ont reçu des infusions d'une mixture de 6 plantes contenant de la camomille. La fréquence d'absorption de ces tisanes au sein des groupes Ca+ et Ca- n'est pas significativement différente [$t(24) = -0.23, p > 0.05$].

Test olfactif

Stimulations

Les stimulations odorantes utilisées dans l'Expérience 9 ont été à nouveau utilisées dans la présente expérience. Mais ces odeurs ont été présentées sur un type d'objet différent pour deux raisons : 1) éviter le rappel potentiel d'un objet et d'une procédure d'interaction avec cet objet 14 mois auparavant (Bauer, 2004), et (2) pour adapter l'objet à l'évolution attentionnelle et aux motivations des enfants de 21 mois (Hayne, 2004).

Des peluches ont été utilisées (15 x 10 x 8 cm), comportant deux poches de tissu fixées au niveau dorsal et ventral (Figure 21). Trois peluches ne différant que par leurs caractéristiques olfactives ont été utilisées. L'une est odorisée à la camomille, l'autre à la violette, la dernière étant sans odeur ajoutée (témoin). Les odeurs sont appliquées sur deux pièces (2 x 1.5 cm) de papier absorbant (Powersorb®, VWR, Fontenay-sous-bois, France) qui a ensuite été introduit à l'intérieur de chacune des poches fixées sur la peluche.

Procédure de test

Les enfants sont testés et filmés dans les mêmes conditions que dans l'Expérience 9, assis sur les genoux de leur mère à une table, soit à domicile, soit à la clinique. Le nombre de sujets testé dans les deux environnements est comparable pour chaque sous-groupe d'enfants [$\chi^2 = 0, p > 0.05$, cf. Tableau 4]. La procédure est adaptée aux habiletés d'exploration manuelle et visuelle des enfants de 21 mois, ainsi qu'à la labilité de leur état d'attention, en partie liée aux phénomènes d'habituation dont la rapidité s'accroît avec l'âge (McGurk, 1972 ; Mayes & Kessen, 1989). Des tests pilotes ont révélé une perte progressive d'intérêt envers les objets, menant au rejet de l'objet au cours de la deuxième ou troisième présentation chez 4 enfants sur les 5 testés. Pour optimiser l'acceptation des trois peluches au cours de l'épreuve, nous avons choisi d'éliminer la phase de familiarisation et de présenter les objets pendant des séquences plus courtes (40 sec). Ce choix a été guidé par les

observations d'autres auteurs sur l'intérêt que l'enfant porte à un jouet nouveau. Ces observations soulignent l'importance de s'ajuster aux variabilités inter- et intra-individuelles, certains enfants se montrant hésitants à manipuler l'objet au cours des premières 20 secondes, alors que d'autres s'ennuient au bout de 20 secondes (voir, par exemple, Meltzoff, 1995). Les trois objets ont donc été présentés aux enfants au cours de trois séquences successives de 40 sec, dans un ordre aléatoire, et avec une minute d'intervalle entre chaque présentation.

L'objet est présenté à l'enfant en lui donnant l'instruction suivante : « tu peux jouer avec le petit chien comme tu veux ». Il est ensuite déposé sur la table à sa portée. Après chaque séquence de 40 sec de présentation, l'objet est délicatement repris des mains de l'enfant, si celui (celle)-ci ne l'a pas rendu spontanément. A chaque tentative de rendre l'objet à l'expérimentatrice ou à le rejeter, celui-ci est retourné à l'enfant. Mais un rejet répété au-delà de deux reprises entraîne l'interruption de l'épreuve.

Tout au long de la passation, les mères ont pour instruction d'éviter de parler à l'enfant, mis-à-part pour l'encourager à jouer avec l'objet en déclarant « tu peux jouer avec le petit chien comme tu veux ». Par ailleurs, il est demandé aux mères de rester aussi neutres que possible si l'enfant regarde dans leur direction et/ou leur adresse la parole.

Codage des réponses comportementales

Les enregistrements vidéo des réponses des enfants envers les différents objets ont été codés par un observateur « aveugle » quant à l'odeur des objets et au groupe d'exposition précoce. Celui-ci a relevé les occurrences et durées de divers items comportementaux :

- (1) « Regard » : regard de l'enfant en direction de l'objet (cf. Figure 21 A) ;
- (2) « Manipulation » : contact mono- ou bi-manuel sur l'objet (cf. Figure 21 B) ;
- (3) « Enserrement » : enserrement de l'objet au contact du corps avec un ou deux bras placés autour (cf. Figure 21 C) ;
- (4) « Contact facial » : contact de l'objet avec le visage de l'enfant, incluant la bouche et le nez (cf. Figure 21 D) ;
- (5) « Vocalisations » : émission de tout type de vocalisation comme la parole, les babillages, à l'exception des pleurs (cf. Figure 21 C).

Les différents items relevés ne sont pas mutuellement exclusifs.

Les cinq items d'interaction avec l'objet ont été sélectionnés parce qu'ils permettent d'évaluer l'attention que l'enfant porte à l'objet et d'inférer plus précisément l'intérêt distal (regard, manipulation) et proximal (enserrement, contact facial) pour l'objet. Ces items

relèvent de l'exploration visuelle et tactile (Ruff, 1984, 1986). Le contact de l'objet avec la région faciale facilite en outre son exploration olfactive (cf. Figure 21 D).

Par ailleurs, les items d'interaction avec la mère [regard dirigé vers la mère et vocalisations (paroles ou babillages) adressées à la mère] permettant d'estimer le niveau de distraction de l'enfant (attention détournée de l'objet) et la recherche de communication avec l'individu familial.

La fiabilité du codage des différents items a été estimée par un second observateur non averti des hypothèses de l'étude et des stimulations olfactives testées. Celui-ci a analysé 21 séquences filmées sélectionnées au hasard parmi l'ensemble des séquences de test. Les coefficients de corrélation de Spearman ont révélé un bon accord entre les deux codeurs, à la fois pour le nombre total d'occurrences (Regard : 0.79, Manipulation : 0.89, Enserrement : 0.75, Contact facial : 0.80, Vocalisations : 0.80 ; Regard vers la mère : 0.94 ; Vocalise vers la mère : 0.63) et pour les durées totales des différents items de réponse (Regard : 0.88, Manipulation : 0.96, Enserrement : 0.83, Contact facial : 0.95, Vocalisations : 0.89 ; Regard vers la mère : 0.96 ; Vocalisations adressées à la mère : 0.68).

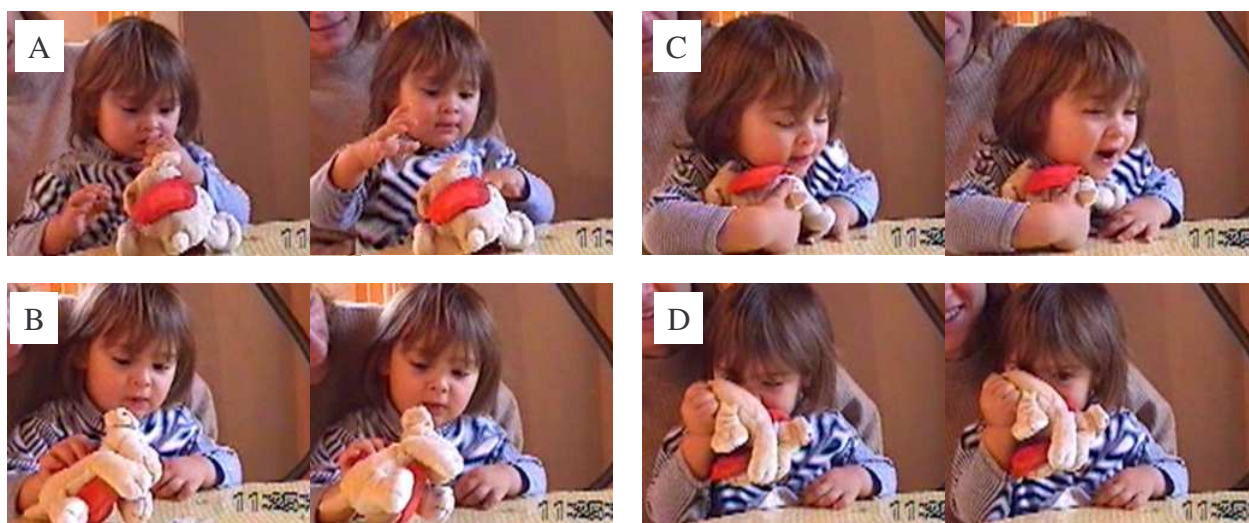


Figure 21. Enfant de 21 mois en interaction avec un objet odorisé dans la situation de test de l'Expérience 10 B. A : regarde l'objet, B : manipule l'objet en le regardant, C : enlace l'objet et vocalise, D : contacte l'objet avec le visage (et le flaire vraisemblablement).

Analyses statistiques

Les résultats de la présente expérience ont été traités par les mêmes analyses statistiques que celles utilisées Expérience 9. Pour vérifier si un intérêt distinct envers les objets différemment odorisées est exprimé par les enfants en fonction de leur expérience olfactive précoce ou de leur sexe, des ANOVAs à 3 facteurs ont été calculées, considérant l'odeur de

l'objet comme facteur intra-sujet et l'exposition précoce à la camomille et le sexe comme facteurs inter-sujets. Des tests post-hoc (tests t) ont ensuite été effectués pour préciser la localisation des effets interactifs mis en évidence par les ANOVAs. L'effet d'ordre a été examiné par un test différent (ANOVA d'ordre 1) car il est apparu après analyse préliminaire que ce facteur n'interagissait ni avec le facteur odeur, ni avec le facteur exposition.

Des corrélations de Pearson ont été réalisées pour vérifier si les réponses exprimées par les enfants Ca+ dépendent de la quantité globale d'exposition préalable à l'odeur de camomille pendant l'allaitement au sein, ou du délai temporel séparant l'interruption de l'exposition et le test.

Finalement, des corrélations de Pearson ont été utilisées pour examiner dans quelle mesure les réponses observées à 21 mois à l'égard des objets odorant peuvent être prédites par les réponses relevées à 7 mois.

3.3.2. Résultats

Attention générale portées aux objets

Seulement 70% des participants ont complété cette tâche. Les enfants ont en moyenne dirigé leur regard vers les objets pendant 41%, les ont manipulés pendant 74%, enlacés pendant 6.7%, approchés au contact du visage pendant 5% et ont vocalisé 13% du temps de test (items non exclusifs). Les tentatives d'interactions de l'enfant avec la mère concernent 57% des participants (regard vers la mère), mais elles restent peu fréquentes (la moitié des participants n'ont regardé qu'une seule fois en direction de leur mère ; fréquence moyenne : 0.51 ± 0.83 , toujours ≤ 3 fois) et sont brèves au cours des séquences de 40 sec de présentation (durée moyenne : 1.31 ± 2.79 sec, toujours < 11 sec). De plus, de nombreux participants se sont adressés à la mère en parlant ou babillant (46%), mais ces locutions restent rares (57% ne l'ont fait qu'une seule fois ; fréquence moyenne : 0.44 ± 1.16 , toujours ≤ 5 fois) et très brèves (durée moyenne : 0.77 ± 2.03 sec, toujours < 8 sec). Les items de recherche d'interaction avec la mère n'étant pas liés à l'odeur ou à l'expérience olfactive précoce, ils ont été exclus des analyses ultérieures.

Les participants ont manifesté une nette réduction d'intérêt aux objets visuellement et tactilement identiques après présentation répétée. Cependant cette diminution n'est pas homogène pour toutes les mesures comportementales. En effet, l'ANOVA d'ordre 1 souligne un effet d'habituation important au niveau des durées du regard porté sur l'objet [$F(2, 75) = 10.12$, $p = 0.0001$] et des durées de manipulation de l'objet [$F(2, 75) = 6.83$, $p = 0.002$]. De la

première à la troisième présentation de l'objet, la réduction de la durée d'exploration visuelle est d'environ 50% (Durée moyenne : objet 1 : 21.33 ± 9.74 sec, objet 2 : 17.05 ± 8.57 sec, objet 3 : 10.75 ± 7.08 sec ; cf. Figure 21) et la réduction de la durée d'exploration manuelle de 34% (Durée moyenne : objet 1 : 35.70 ± 6.35 sec, objet 2 : 29.90 ± 12.8 sec, objet 3 : 23.60 ± 14.62 sec ; cf. Figure 21). Toutefois, un tel effet de décroissance n'a pas été mis en évidence pour les réponses d'enserrement, de contact facial et de vocalisation dont la durée est globalement faible (cf. Figure 22).

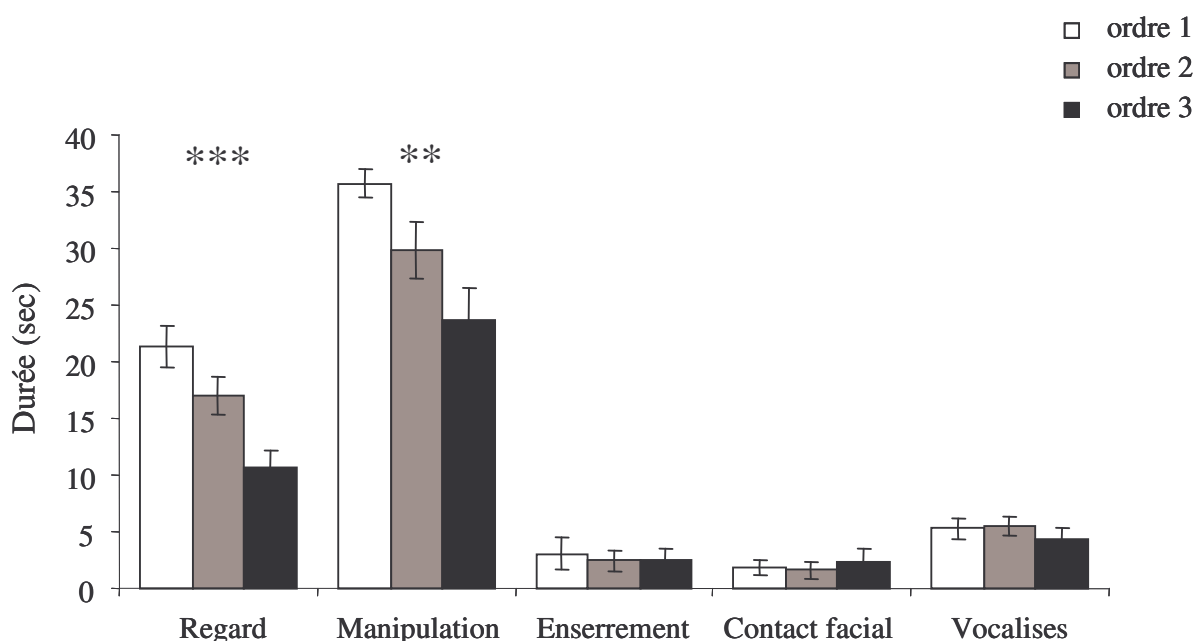


Figure 22. Durée moyenne (\pm erreur standard) des items d'interaction avec les objets de test en fonction de l'ordre de présentation. **: $p < 0.01$, *** : $p < 0.0001$.

Effet de l'odeur de l'objet et de l'expérience olfactive précoce

Les ANOVAs à 3 facteurs (odeur x exposition à la camomille x sexe) révèlent des effets interactifs entre l'odeur des objets et l'exposition précoce à la camomille sur les fréquences et durées de contact facial [$F(2, 44) = 4.09$ et 4.0 ; $p = 0.023$ et 0.025 , respectivement], mais de tels effets interactifs ne sont pas notés sur les autres items (cf. Annexe 12). Les enfants Ca+ et Ca- se comportent donc différemment vis-à-vis des objets en fonction de l'odeur qu'ils portent. Des tests t pour échantillons indépendants indiquent que les réponses des deux sous-groupes Ca+ et Ca- envers l'objet odorisé à la camomille ne sont pas significativement différentes. Cependant les patterns de réponse des enfants Ca+ et Ca- vis-à-vis des objets différemment odorisés divergent. Alors que les enfants Ca- interagissent de manière

comparable avec les différents objets, les enfants Ca+ amènent l'objet camomille en contact avec leur visage plus souvent et plus longtemps que l'objet violette [$t(13) = 2.26$ et 2.75 ; $p = 0.04$ et 0.016 , respectivement, cf. Figure 23]. Par ailleurs, les enfants Ca+ contactent aussi l'objet témoin marginalement plus fréquemment et plus longuement que l'objet violette [$t(13) = 1.92$ et 2.20 ; $p = 0.08$ et 0.046 , respectivement, cf. Figure 21], mais ne différencient pas l'objet camomille de l'objet témoin [$t(13) = -0.46$ et 0.60 ; $p > 0.05$, respectivement pour les occurrences et durées, cf. Figure 23].

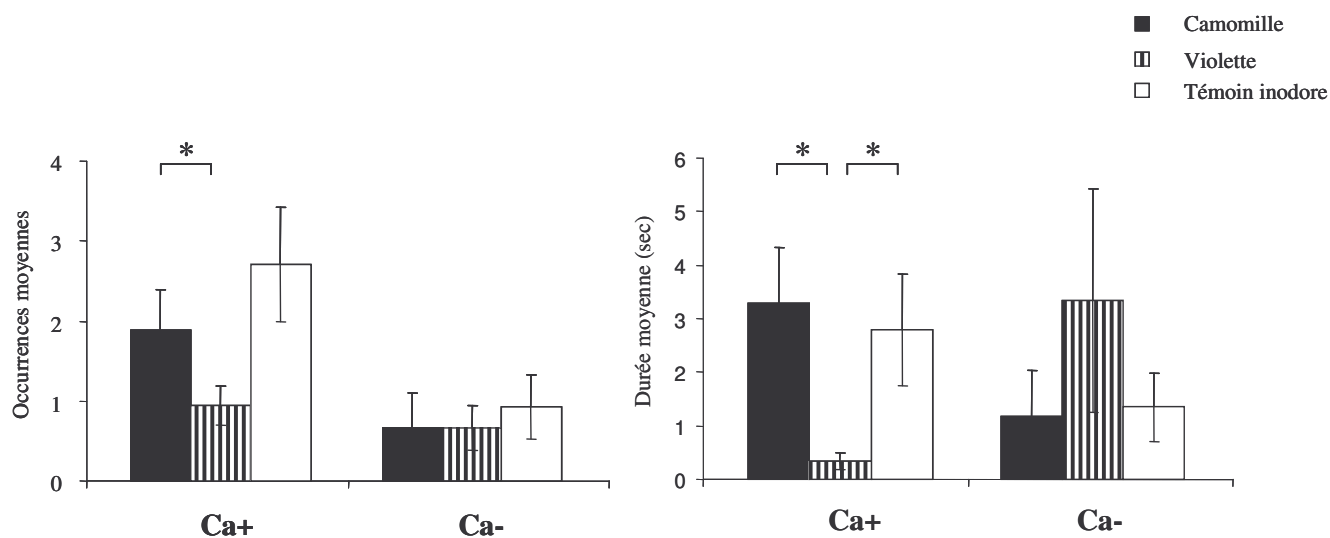


Figure 23. Occurrences et durées (moyennes \pm Erreur Standard) des contacts faciaux avec les divers objets odorisés au sein des sous-groupes d'enfants précocement exposés à la camomille (Ca+) et de ceux non exposés à la camomille (Ca-). * : $p < 0.05$ (test t).

Les réponses individuelles des enfants du groupe Ca+ ne sont corrélées de façon significative ni avec le nombre total de tétées odorisées à la camomille, ni avec la durée de la période globale d'exposition, ni avec l'intervalle de temps entre la dernière tétée « camomillée » et le test (cf. Annexe 13).

Relation entre les réponses exprimées à 7 mois et 21 mois envers chaque objet odorant

Pour vérifier si les réponses observées au cours de cette épreuve sont liées avec celles manifestées à 7 mois, des corrélations de Pearson ont été calculées. Aucune corrélation n'est supérieure au seuil de significativité (cf. Annexe 14). Néanmoins, les durées de regard vers l'objet odorisé à la camomille mesurées à 21 et 7 mois apparaissent légèrement positivement corrélées ($r = 0.36$, $p = 0.07$; cf. Figure 24).

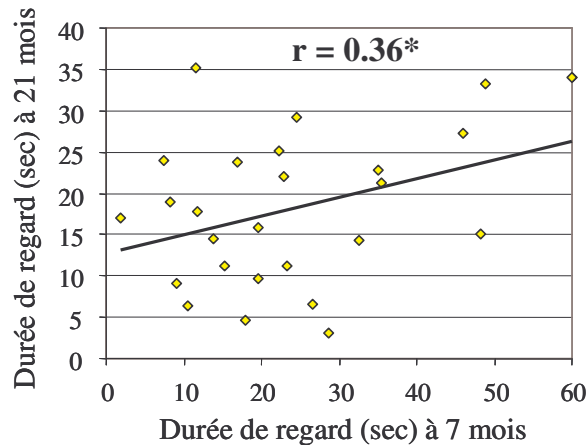


Figure 24. Corrélation entre les durée de regard dirigé vers l'objet odorisé à la camomille mesurées à 21 mois et les durées de regard porté sur le même objet mesurées à 7 mois. * : $p = 0.07$.

Observations qualitatives

Au sein du groupe Ca+, un enfant, le seul encore allaité au moment du test, a porté à la bouche le support contenant la stimulation olfactive de l'objet « camomillé » pour le lécher avant d'éloigner l'objet de sa région oro-nasale, le relâcher, pour se retourner alors vers sa mère et demander à téter en se penchant vers le sein tout en se saisissant de son pull pour le soulever. Cet enfant n'a manifesté cette séquence de comportements que lorsqu'il s'est retrouvé face à l'objet « camomillé ». Une autre enfant (celle qui a exprimé une réponse hédonique négative envers l'odeur de camomille au cours de l'Expérience 10 A), a longuement flairé l'objet camomille en le portant au contact de son nez, puis a éloigné l'objet pour le laisser tomber à terre en esquissant une mimique de dégoût¹.

3.3.3. Conclusions

Adéquation de la méthode aux questions de recherche

L'épreuve d'exploration répétée d'objets qui ne diffèrent que par leur odeur paraît moins bien adaptée aux enfants de 21 mois qu'à ceux de 7 mois. Lorsqu'ils se conforment à la procédure (70% des enfants seulement), les réponses d'interaction des enfants avec l'objet diminuent progressivement au fil des présentations. Ce résultat suggère que les enfants de 21 mois se focaliseraient d'abord sur les propriétés visuelles et tactiles des objets, ne prêtant que secondairement attention aux propriétés olfactives.

Toutefois, cette épreuve s'avère intéressante pour l'étude de la réactivité aux odeurs chez les enfants de 21 mois. Elle indique que ces enfants sont attentifs aux propriétés olfactives

¹ Elévation de la lèvre supérieure.

des objets. Certains enfants flairent les objets, et manifestent ainsi de façon explicite leurs capacités de perception et d'attention de leur odeur. Cependant, ce comportement de flairage spontané n'est pas général.

Effet de l'expérience olfactive précoce sur les réponses à 21 mois

Les réponses des participants qui ont complété cette épreuve soulignent une nouvelle fois l'influence de l'expérience olfactive précoce sur la manipulation différentielle des objets odorisés. Les enfants Ca+ interagissent de façon plus proximale (par rapport au visage, et donc au nez) avec l'objet à la camomille qu'avec l'objet à la violette, alors que les enfants Ca- se comportent de façon non discriminante. Par ailleurs, les enfants Ca+ manifestent un même niveau de réponse pour l'objet sans odeur ajoutée que pour l'objet camomille. Cette réponse pourrait refléter une recherche de contact facial avec l'objet plus soutenue lorsque l'objet émet l'odeur acquise pendant l'allaitement ou que celui-ci ne porte pas d'odeur, par comparaison avec le même objet imprégné d'une odeur non familière.

Comme à 7 mois, les réponses des enfants Ca+ envers l'objet odorisé à la camomille ne sont affectées ni par la durée de la période d'exposition, ni par la durée de la période écoulée entre l'arrêt de l'exposition et le test.

Effet du genre sur le mode d'interaction avec les objets à 21 mois

Dans les présentes conditions, aucun effet de genre n'est apparu, indiquant qu'à 21 mois les filles et les garçons réagissent de la même façon envers les objets présentés. Par comparaison avec les résultats obtenus à l'âge de 7 mois, ce résultat suggère que les divergences sexuelles dans le mode d'exploration des objets s'atténuent avec l'âge.

Comparaison des données longitudinales

La comparaison entre les réponses d'interaction avec les divers objets odorisés mesurées à 7 et à 21 mois ne révèle qu'une relation entre les durées d'exploration visuelle de l'objet odorisé à la camomille. Les réponses d'interaction proximale avec cet objet n'apparaissent pas corrélées, ce qui pourrait reposer sur 1) l'évolution des modes du comportement exploratoire au cours du développement et/ou 2) les différences de caractéristiques sensorielles des objets-supports.

3.4. Expérience 10 C : Choix olfactif préférentiel en fonction de l'expérience précoce

Cette dernière épreuve a été réalisée pour vérifier si l'expérience précoce de l'odeur de camomille en association avec le sein maternel pourrait avoir une influence sur des comportements plus directement liés à l'appétence et à l'ingestion. La procédure consiste à présenter deux biberons d'eau odorisés soit avec l'odeur de camomille, soit avec l'odeur non familière de violette, et à observer le choix et l'ingestion différentiels chez les enfants de 21 mois.

3.4.1. Méthode

Participants

Cette épreuve a été complétée par la plupart des participants (19 Ca+ et 17 Ca-, cf. Figure 16). Seule une enfant Ca+ a dû être exclue parce qu'elle refusait de prendre en bouche les biberons présentés lors de la phase de familiarisation. Les 36 sujets ayant effectué cette épreuve ont été allaités au sein en moyenne pendant les 6.8 ± 4.9 premiers mois postnatals (valeurs extrêmes : 1-21 mois). Les deux sous-groupes Ca+ et Ca- sont équilibrés en terme de sexe, d'âge et de durée totale d'allaitement [$t(34) = 0.99$ et -0.50 ; $p > 0.05$, respectivement pour l'âge et la durée d'allaitement ; cf. Tableau 4].

Exposition à la camomille

Les enfants Ca+ ont été exposés à un nombre estimé moyen de 108 ± 76 tétées odorisées à la camomille (valeurs extrêmes : 20-270 tétées), au cours d'une durée moyenne de 49 ± 40 jours d'allaitement (valeurs extrêmes : 8 – 120 jours). La fréquence d'exposition est variable selon les individus et évolue selon différents patterns (cf. Tableau 4, Figure 17). L'intervalle de temps entre la cessation de l'exposition et le test est donc également variable selon les individus (durée moyenne : 19.5 ± 2 mois, valeurs extrêmes : 15.5-22.7 mois).

Sur 14 enfants (5 Ca+ et 9 Ca-) exposés à la camomille en dehors du contexte d'allaitement (ingestion de tisanes contenant de la camomille), seuls deux (1 Ca+ et 1 Ca-) ont consommé de la tisane composée uniquement de camomille (entre 0 et 3 mois pour l'enfant Ca+, et entre 2 et 5 mois pour l'enfant Ca-). La fréquence d'exposition à la camomille sous cette forme est similaire au sein des deux groupes d'enfants [$t(34) = -1.09$, $p > 0.05$].

*Test olfactif**Stimulations*

Les substrats odorants utilisés dans cette expérience sont la pommade à la camomille et la solution de violette utilisées dans l'Expérience 9. Ces odorants ont été présentés sur des biberons (« Biberon évolutif » à bec rigide, Cora, Croisy-Beaubourg, France), remplis d'eau minérale (Evian®, Danone, Evian, France, 120 ml). Deux biberons ont été odorisés, l'un à la camomille, l'autre à la violette. Une quantité globale de 0.5 ml de chaque substrat odorant a été distribuée sur 4 gommettes de cotons adhésives (Hansaplast®, Savigny-le-temple, France) fixées sur la collerette du biberon, de façon à ce que l'enfant inhale l'odeur quand il a le bec du biberon en bouche.

Procédure de test

Les enfants sont testés à domicile ou à la clinique dans les mêmes conditions que pour l'Expérience 9, filmés assis face à une table sur les genoux maternels. La distribution du lieu de test au sein des sous-groupes Ca+ et Ca- n'est pas significativement différente [$\chi^2 = 0.47$, $p > 0.05$, cf. Tableau 4]. Pour minimiser le risque de refus d'ingestion d'eau pendant le test, l'expérimentatrice contactait les mères la veille du test pour leur demander d'éviter de faire boire leur enfant pendant l'heure précédant l'épreuve¹. Celle-ci est constituée de deux tâches distinctes : une tâche de double-choix entre deux biberons odorisés différemment, suivie d'une séquence de consommation libre de l'eau contenue dans les biberons (cf. Figure 25).

1) La tâche de double-choix est composée de deux demi-tests identiques, eux-mêmes composés de deux phases. La phase 1 est une phase de familiarisation où les deux biberons odorisés sont brièvement présentés en alternance à l'enfant. L'expérimentatrice présente à l'enfant le premier biberon (biberon 1, sélectionné au hasard²) en lui demandant de « goûter ». L'enfant saisit le biberon 1, le porte à la bouche et est encouragé à prendre une gorgée d'eau (cf. Figure 25 A et A'). L'expérimentatrice reprend ensuite délicatement le biberon 1 des mains de l'enfant et le positionne à une distance de 25-30 cm dans son champ visuel. Elle présente ensuite le deuxième biberon (biberon 2) à l'enfant de la même façon que le biberon 1 (cf. Figure 25 B et B'), puis le positionne à côté du biberon 1.

¹ L'expérience a été réalisée en dehors des périodes de forte chaleur.

² Chacune des quatre combinaisons d'ordre de présentation possibles par test (deux demi-tests) a été présentée au moins 3 fois par sous-groupe.

La phase 2 fait intervenir le choix entre les deux biberons lorsque les biberons 1 et 2 sont présentés simultanément à l'enfant. La position des biberons (à droite ou à gauche de l'enfant) est randomisée à chaque demi test¹. L'expérimentatrice demande à l'enfant de choisir le biberon qu'il préfère (en ces termes : « lequel tu veux boire ? »). En général, l'enfant regarde et désigne du doigt le biberon qu'il désire, et finalement l'expérimentatrice tend à l'enfant le biberon choisi pour lui permettre de consommer une gorgée d'eau (cf. Figure 25 C, C' et C''). Mais si la réponse de l'enfant n'est pas immédiate, ou si celui-ci se saisit des deux biberons en même temps (n = 6, 2 Ca+ et 4 Ca-), l'expérimentatrice lui précise qu'il ne peut choisir qu'un seul des deux biberons et désigne l'un puis l'autre biberon de façon répétée en intervertissant chaque fois l'ordre de désignation des biberons (tout en précisant « Celui-ci ou celui-là ? » « Celui-là ou celui-ci ? »). Pour ces six enfants, la séquence de désignation des biberons a été réalisée alors que l'enfant les tenait dans ses mains². A l'issue de cette séquence de choix, l'expérimentatrice reprend les deux biberons et les cache sous la table. Cette tâche de choix (phases 1 et 2) est ensuite répétée au cours d'un second demi-test après randomisation de l'ordre de présentation des biberons.

2) La seconde tâche consiste en la consommation libre d'eau contenue dans chacun des deux biberons laissés à l'enfant pendant une période de 3 minutes. A l'issue de la première tâche (deux demi-tests de double-choix), les deux biberons sont positionnés à portée de mains de l'enfant (cf. Figure 25 D et D'). Celui-ci est encouragé à boire autant d'eau qu'il le souhaite (encouragé par ces termes : « Tiens, je te laisse les deux biberons. Tu peux boire comme tu veux »). Le côté de présentation des biberons est à nouveau déterminé au hasard pour chaque participant.

¹ Chacune des quatre combinaisons possibles de positions des biberons par test a été présentée au moins 3 fois par sous-groupe.

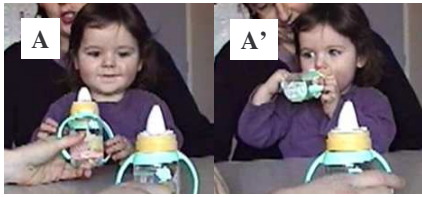
² Ces enfants n'ont sélectionné qu'un seul biberon à l'issue de la tâche, relâchant l'un pour porter l'autre à la bouche.

TACHE 1: DOUBLE CHOIX

VARIABLES MESUREES

DEMI-TEST 1

PHASE 1



Présentation et échantillonnage du biberon 1



Présentation et échantillonnage du biberon 2

PHASE 2



Sélection du biberon désiré

Choix 1
Biberon camomille: 0 ou 1
Biberon violette: 0 ou 1

PHASE 1



Présentation et échantillonnage du biberon 1



Présentation et échantillonnage du biberon 2

DEMI-TEST 2

PHASE 2



Sélection du biberon désiré

Choix 2
Biberon camomille: 0 ou 1
Biberon violette: 0 ou 1

Score de choix global
Biberon camomille: 0 à 2
Biberon violette: 0 à 2

TACHE 2: CONSOMMATION LIBRE



Présentation simultanée des deux biberons à la portée de l'enfant

Quantité d'eau ingérée
Biberon camomille: 0 à 120 ml
Biberon violette: 0 à 120 ml

Figure 25. Schéma des opérations réalisées et des variables mesurées au cours de l'Expérience 10 C.

Variables comportementales

Trois variables dépendantes ont été mesurées.

1- Le choix des enfants à chaque demi-test est déterminé par le premier biberon sélectionné. Le biberon considéré comme choisi par l'enfant correspond au premier biberon mis en bouche pendant les 5 secondes suivant la présentation simultanée des biberons. La procédure de présentation est renouvelée à chaque fois qu'un enfant n'exprime pas de choix pendant cette période, ce qui a eu lieu pour deux enfants Ca-. Si un enfant ne souhaite saisir et porter en bouche aucun des biberons après une telle présentation répétée, le choix est alors considéré comme nul (1 Ca-). Trois enfants (1 Ca+ et 2 Ca-) ont refusé de porter en bouche le second biberon présenté au cours de la phase 1 du deuxième demi-test (soit en s'exclamant « non » ou « veux pas », soit en repoussant le biberon). Ces enfants se sont néanmoins conformés à la procédure de choix de la phase 2 et leur réponse a été prise en compte dans les analyses.

L'enfant a donc trois possibilités de réponse en fonction de l'odeur du biberon à chaque demi-test : (1) choisir le biberon odorisé à la camomille, (2) choisir le biberon odorisé à la violette ou (3) ne choisir aucun des biberons. La position (côté droit ou gauche, phase 2) et l'ordre de présentation (premier ou deuxième biberon présenté phase 1) correspondants au biberon choisi à chaque demi-test sont codés à partir des vidéos. Le codage des réponses de l'ensemble des participants est effectué par deux observateurs indépendants non avertis de la nature de l'odeur présente sur chacun des biberons. Le pourcentage d'accord entre les juges est de 100%.

2- Un score de choix global pour chaque odeur testée a été calculé pour chaque participant de la façon suivante : (1) Les choix des enfants ont été notés à chaque demi-test, en attribuant 1 point à une odeur chaque fois que le biberon correspondant était choisi, et 0 point dans le cas contraire. (2) Les notes obtenues pour chaque odeur à chaque demi-test ont ensuite été additionnées, donnant ainsi, un score global de sélection pour chaque odeur qui varie de 0 à 2.

3- La quantité globale d'eau ingérée par l'enfant dans chaque biberon a été relevée au bout de 3 minutes après restitution simultanée des deux biberons (à 2.5 ml près).

Analyses statistiques

Des tests de Mac Nemar ont été calculés pour estimer dans quelle mesure la proportion de choix d'un biberon diffère de celle de l'autre biberon en fonction de l'odeur, de l'ordre de présentation initiale, ou de la position du biberon.

Des ANOVAs à 2 facteurs ont été effectuées, considérant comme facteur intra-sujets la nature de l'odeur présentée sur le biberon et comme facteur inter-sujets le groupe d'exposition à la camomille. Ces analyses évaluent l'influence de l'exposition à la camomille pendant l'allaitement sur le score de choix global (variable dépendante 2) ou la quantité d'eau ingérée (variable dépendante 3). Des tests post hoc sont ensuite appliqués aux effets interactifs mis en évidence. Des analyses préliminaires ayant indiqué que le facteur sexe n'intervenait pas, celui-ci n'a pas été inclus dans les analyses.

Finalement, des tests de corrélation de Pearson ont été appliqués pour examiner l'influence potentielle, soit du nombre total d'associations camomille-tétée, soit de la durée de la période d'exposition à la camomille, soit enfin de la durée écoulée depuis la cessation de l'exposition, d'une part sur le score global de choix du biberon odorisé à la camomille, et d'autre part sur la quantité d'eau ingérée à partir de ce biberon.

3.4.2. Résultats

Fiabilité du choix

La plupart des enfants sont consistants dans leur choix des biberons odorisés dans les conditions de passation de cette épreuve (randomisation de l'ordre de présentation et de la position latérale des biberons entre les deux demi-tests). La majorité des enfants, qu'ils aient été exposés ou non à la camomille, a en effet choisi le même biberon odorant au cours des deux demi-tests de choix (77.7%, 78.9% des Ca+ et 76.5% des Ca-), et ce choix s'est porté sur le biberon odorisé à la camomille dans 71 % des cas (Mac Nemar, $\chi^2 = 6.67$, $p = 0.01$). Ce résultat souligne une réponse des enfants de 21 mois qui ne relève pas d'une distribution aléatoire.

Effet de l'ordre et du côté de présentation

L'ordre de présentation des biberons au cours de la phase 1 n'affecte pas le choix des enfants. Seuls 41.6% des enfants ont effectué un choix récurrent en fonction de ce facteur, et ceux-ci n'ont pas manifesté de préférence pour un ordre donné de présentation (Mac Nemar, $\chi^2 = 0$, $p > 0.05$).

De même, aucun effet de la position latérale des biberons (phase 2) n'est relevé. Une partie des enfants (33.3%) a sélectionné le biberon positionné du même côté au cours des deux demi-tests, et de ce fait aucune sélection discriminative en fonction de ce facteur n'est ressortie (Mac Nemar, $\chi^2 = 0.75$, $p > 0.05$).

Effet de l'odeur et de l'exposition précoce à la camomille sur le choix des biberons

Les réponses individuelles montrent des différences de choix du biberon en fonction de son odeur et de l'expérience olfactive précoce des enfants (cf. Figure 26). En effet, dans le groupe Ca+, 13/19 enfants ont choisi le biberon odorisé à la camomille au cours des deux demi-tests et 2 autres le biberon odorisé à la violette, pendant que les 4 derniers enfants ont changé d'odeur (Mac Nemar, $\chi^2 = 6.67$, $p = 0.01$). Au contraire, dans le groupe Ca-, 7/17 enfants ont choisi à deux reprises le biberon à la camomille, 6 autres le biberon à la violette, alors que 3 autres enfants ont modifié leur choix et un dernier n'a effectué qu'un seul choix (Mac Nemar, $\chi^2 = 0$, $p > 0.05$).

L'ANOVA à 2 facteurs (odeur x groupe d'exposition) sur le score de choix global confirme ces résultats différentiels. Il révèle un effet principal de l'odeur du biberon [$F(1, 34) = 5.16$, $p = 0.03$], qui signifie que, quel que soit leur groupe d'exposition, les enfants sont attentifs à l'odeur des biberons puisqu'ils choisissent plus souvent le biberon odorisé à la camomille (Occurrences moyennes : camomille : 1.3 ± 0.85 versus violette ; 0.67 ± 0.83). Cependant, une interaction significative entre le facteur odeur du biberon et le facteur exposition précoce à la camomille [$F(1, 34) = 4.21$; $p = 0.048$], indique que les enfants effectuent des choix différents en fonction de leur exposition précoce à la camomille. Les enfants Ca+ ont, en grande majorité, sélectionné le biberon odorisé à la camomille [$t(18) = -3.64$, $p = 0.002$], alors que les enfants Ca-, dans l'ensemble, n'ont pas manifesté de sélection préférentielle [$t(17) = -0.1$, $p > 0.05$].

Chez les enfants Ca+, le score global de choix du biberon à la camomille n'est corrélé ni au nombre total d'expositions à la camomille pendant la tétée, ni à la durée de la période d'exposition, ni à la durée du délai de cessation de l'exposition (cf. Annexe 13).

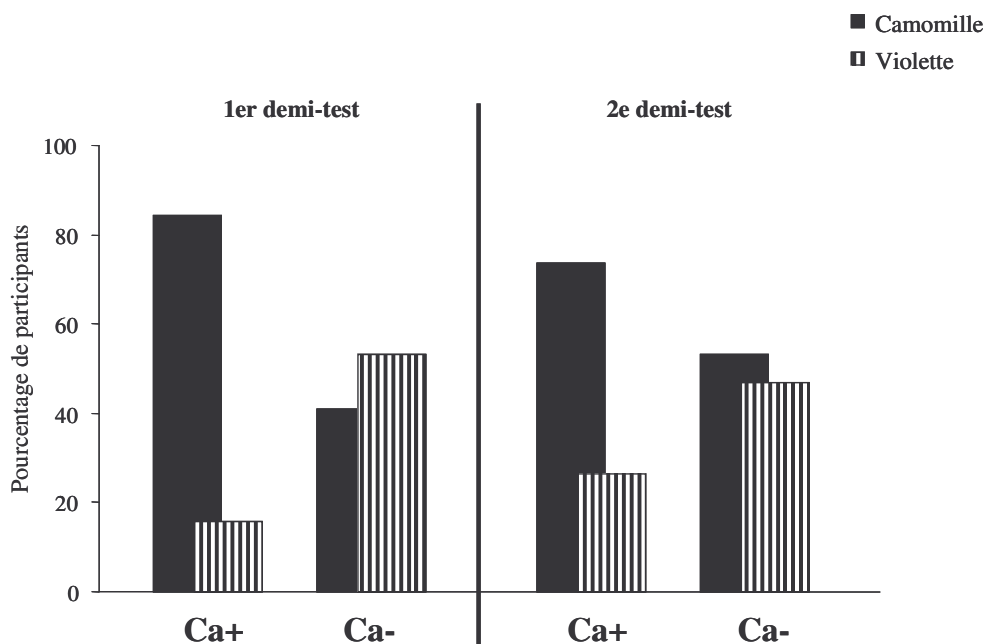


Figure 26. Fréquence des choix réalisés par les enfants de 21 mois préalablement exposés à l'odeur de camomille (Ca+) et non exposés à cette odeur (Ca-) entre un biberon odorisé à la camomille et un biberon odorisé à la violette au cours des deux demi-tests de la tâche de double-choix.

Effet de l'odeur et de l'exposition précoce à l'odeur de camomille sur l'ingestion d'eau

L'ANOVA à 2 facteurs (groupe d'exposition à la camomille x odeur) réalisée sur la quantité d'eau ingérée après 3 minutes de consommation ne révèle aucun effet principal, ni interactif [$F(1,34) = 0.13, p > 0.05$, pour l'effet interactif]. Les enfants Ca+, tout comme les enfants Ca- ne manifestent donc pas de réponse d'ingestion différentielle à partir des deux biberons. Cette réponse pourrait reposer sur les faibles quantités d'eau ingérées, car les enfants n'ont consommé en moyenne que 30 ± 24 ml d'eau au cours du test.

Par ailleurs, la quantité d'eau ingérée par les enfants du groupe Ca+ n'est corrélée ni à la quantité d'exposition à la camomille, ni à la durée de la période d'exposition, ni à la durée du délai entre la dernière exposition et le test (cf. Annexe 13).

Observation qualitative

Au cours de la phase 2 du premier demi-test de choix, l'enfant Ca+ qui a manifesté de l'aversion envers la camomille au cours des Expériences 10 A et 10 B et sélectionné le biberon à la violette au cours de deux demi-tests de choix de la tâche 1, a confirmé sa réponse

d'aversion envers la camomille en exprimant à nouveau une mimique de dégoût¹ après avoir mis en bouche le biberon portant la camomille, puis s'est tournée vers sa mère en disant « pas bon ».

3.4.3. Conclusions

Cette dernière épreuve olfactive s'est révélée être adaptée aux enfants de 21 mois. La plupart des participants (97%) a complété les deux tâches de double-choix et de consommation de biberons odorisés. Ils ont en majorité exprimé un choix non aléatoire fondé sur les caractéristiques olfactives du biberon, et certains ont conforté leur choix par l'intermédiaire d'une expression faciale ou verbale. Ces résultats confirment que les enfants de 21 mois sont attentifs aux propriétés olfactives d'un biberon.

Il ressort, en outre, que le choix préférentiel d'un biberon portant une odeur dépend de l'expérience précoce que l'enfant a pu avoir avec cette odeur. Alors que les enfants du groupe Ca+ sélectionnent préférentiellement le biberon odorisé à la camomille, les enfants Ca-, dans leur ensemble, expriment un choix indifférencié entre le biberon à la camomille et le biberon à la violette. Ce résultat confirme donc qu'une odeur acquise dans le contexte de l'allaitement au sein peut être retenue sur une longue période et montre par la même occasion que cette trace mnésique peut influencer, au cours de l'enfance, les choix olfactifs dans un contexte d'ingestion.

Cependant, dans les conditions de la présente expérience, l'influence de l'odeur mémorisée s'est limitée à la sélection du contenant, et n'a manifestement pas eu d'impact sur l'ingestion du contenu. Les enfants ont consommé autant d'eau du biberon odorisé à la camomille que du biberon odorisé à la violette. Il ne peut être exclu que la flaveur neutre de l'eau contenue dans les deux biberons présentés ait inhibé l'appétence préférentielle initiale des enfants et ainsi limité leur consommation.

4. Discussion partielle

Cette étude a été réalisée afin d'évaluer la rétention d'une odeur acquise précocement au sein maternel. Une telle approche longitudinale, menée à 7 et 21 mois, a nécessité la mise au point d'épreuves de discrimination et de préférence ajustées au développement moteur et cognitif des enfants de ces âges. La difficulté majeure a résidé dans la captation de l'attention

¹ Elévation de la lèvre supérieure.

des enfants de 21 mois envers des objets identiques présentés de façon répétée, alors que seule variait la dimension olfactive. Des épreuves diversifiées ont donc été conçues pour favoriser l'intérêt des enfants de 21 mois à participer à l'Expérience.

D'une manière générale, les résultats des Expériences 9 et 10 attestent de la capacité de mémorisation à très long terme d'une odeur acquise au sein maternel au cours des premières semaines d'allaitement. Ils corroborent les résultats d'une étude antérieure qui a mis en évidence l'impact, après un délai de 4-5 mois, de l'exposition régulière pendant les 5 premières semaines postnatales à un arôme dans le lait maternel. L'arôme acquis au cours des tétées s'est ensuite révélé effectif dans un contexte d'alimentation solide (Mennella et al., 2001). La présente étude révèle que la rétention d'une odeur acquise pendant l'allaitement conserve une influence manifeste à bien plus long terme et que son effet peut être mis en évidence dans des situations distinctes du contexte d'acquisition.

Les résultats mettent l'accent sur la durabilité de l'odeur encodée au cours des tétées des premières semaines postnatales (1 à 15 semaines). A l'âge de 7 mois puis 21 mois, les enfants ayant été régulièrement exposés à l'odeur (Ca+) se sont montrés plus attirés par cette odeur que leurs pairs qui n'y ont jamais été exposés (Ca-). En outre, à ces deux âges, le degré d'interaction des enfants Ca+ avec l'objet à la camomille n'est pas influencé par la durée de l'intervalle de temps entre l'interruption de l'exposition et le test. L'effet de rétention de l'odeur est donc résistant au passage du temps pendant au moins 19 mois en moyenne (15.5-22.5 mois). Un tel terme de rétention peut paraître impressionnant mais cette donnée conforte les résultats de certaines investigations sur la mémoire procédurale à très long terme chez l'enfant d'âge préverbal (Myers et al., 1987 ; Perris et al., 1990).

L'exposition à l'odeur à 7 mois pourrait avoir allongé sa durée de rétention. On sait que la réactivation permet d'augmenter la durée de rétention de mémoires procédurales (Rovee-Collier, Hartshorn, & DiRubbo, 1999), et ce d'autant plus que l'intervalle de temps entre la phase d'acquisition et la phase de réactivation est élevé (Hildreth & Hill, 2003). De même, l'exposition à l'odeur cible au cours de l'Expérience 10 A, aurait pu provoquer, chez les enfants qui l'ont mémorisé, un effet d'amorçage favorisant l'exploration ultérieure des différents objets émettant l'odeur cible (Expériences 10 B et 10 C). La pré-exposition à un ou plusieurs éléments du contexte d'apprentissage est utilisée comme procédure pour faciliter le rappel de mémoires lointaines (Perris et al., 1990 ; Lie & Newcombe, 1999). Les réponses des enfants envers l'odeur cible apparaissent néanmoins différentes chez ceux qui ont mémorisé l'odeur et leurs pairs « naïfs ». Les résultats des Expériences 9 et 10 A démontrent

ainsi que les enfants retiennent l'odeur acquise jusqu'à 14 mois après la dernière exposition à l'odeur.

Des différences individuelles ont tout de même été relevées, parmi les enfants du sous-groupe Ca+, dans l'orientation des réponses envers l'odeur rencontrée pendant la tétée. Une fillette Ca+ a manifesté à 21 mois une réponse d'aversion constante envers l'odeur à laquelle elle a pourtant été exposée au sein maternel. Sa mère ayant déclaré avoir appliqué la pommade de façon erratique et uniquement sur l'un des deux seins, il se pourrait que cette enfant n'ait pas été conditionnée à l'odeur avec la même régularité et consistance que les autres enfants du sous-groupe Ca+.

Dans nos conditions d'expérience, il ressort que la fréquence ou la durée de la période d'exposition à l'odeur pendant les tétées n'influence pas la durée de rétention. Une étude sur la mémoire infantile conforte ce fait en montrant que des enfants qui ont participé, à l'âge de 6.5 mois, à une expérience insolite unique de localisation d'objets sonores dans le noir sont capables de retenir certains éléments de cette expérience deux ans plus tard (Perris et al., 1990). La répétition d'un apprentissage ne constitue ainsi pas le facteur le plus déterminant dans l'installation d'une trace mnésique.

L'influence de la mémoire olfactive est spécifique de l'odeur encodée. Les réponses différentielles entre les enfants Ca+ et Ca- restent cantonnées à l'odeur à laquelle les enfants Ca+ ont été exposés (Expérience 10A). Ces enfants expriment moins de réponses hédoniques négatives envers l'odeur cible et recherchent plus le contact proximal avec un objet portant cette odeur que les enfants Ca-. De plus, contrairement à ces derniers, les enfants Ca+ manifestent une préférence stable en faveur de l'odeur cible par comparaison à d'autres odorants nouveaux ou familiers. L'exposition répétée à une odeur appliquée sur le sein maternel induit donc une attraction durable et spécifique envers cette odeur.

En revanche, une telle mémoire olfactive ne semble pas spécifique du contexte d'apprentissage. Son impact a pu être mis en évidence dès l'âge de 6-8 mois, dans des situations fonctionnelles variées se distinguant radicalement de la situation de tétée au cours de laquelle l'odeur a été encodée. Ceci montre, comme l'expérience de Mennella et Beauchamp (1998) l'a révélé auparavant, que la mémoire olfactive est généralisable à différents contextes. Plusieurs études sur la mémoire infantile ont montré que le processus de généralisation contextuelle est effectif à l'âge de 6 mois et qu'il s'amplifie ensuite avec l'âge (Hartshorn, Rovee-Collier, Gerhardstein, Bhatt, Klein, et al., 1998 ; Learmonth, Lamberth, & Rovee-Collier, 2004). Les résultats de la présente étude suggèrent que l'accès à la mémoire olfactive est indépendant du contexte de rappel.

Cependant, il n'est pas exclu que la réactivation de la mémoire olfactive précoce ait été facilitée par les conditions de test utilisées qui ciblent des comportements associés au contexte d'apprentissage. En effet, les divers comportements influencés par l'odeur mémorisée pendant la tétée reposent surtout sur l'expression faciale et le positionnement des objets dans la zone bucco-faciale.

Il se pourrait aussi que l'influence de l'odeur acquise joue sur les comportements que les jeunes enfants expriment à un âge donné, et non pas sur l'action associée à son encodage, mais selon le mode d'expression le plus approprié à leur âge au moment du test et aux conditions de test de la présente étude, comme le supposent Hartshorn et Rovee-Collier (2003). L'absence de corrélations entre les réponses d'exploration bucco-faciale mesurées à 7 mois et à 21 mois vis-à-vis des objets odorants pourrait refléter un tel phénomène. En effet, si l'exploration buccale est de loin le mode d'exploration privilégié à 7 mois, elle s'atténue ensuite à partir de 12 mois (Palmer, 1989 ; Rochat, 1989 ; Ruff, 1984). De plus, on sait que les enfants adaptent leurs actions exploratoires aux caractéristiques de forme, de texture et à la fonctionnalité des objets (Ruff, 1984 ; Palmer, 1989). Or dans les Expériences 9 et 10, les réponses différentielles notées reposent sur des actions communément observées chez des enfants de 6 à 23 mois envers les objets-soutiens présentés (anneau de dentition, peluche et biberon).

Pour conclure, les Expériences 9 et 10 démontrent que les enfants conservent en mémoire une trace de leur environnement olfactif précoce, et que cette trace mnésique influence leur comportement dans des situations multiples lorsqu'ils sont ré-exposés à l'odeur mémorisée. La tétée au sein en période néonatale paraît constituer une situation d'apprentissage extrêmement efficace pour le développement de préférences olfactives durables. La trace mnésique générée influence durablement le jugement hédonique et le comportement de recherche de cette odeur chez les enfants, au moins au cours des deux premières années de vie.

CONCLUSIONS ET DISCUSSION GENERALES
PERSPECTIVES

CONCLUSIONS ET DISCUSSION GÉNÉRALES PERSPECTIVES

A l'issue de cette recherche, nous rappellerons les principales conclusions en les replaçant dans le contexte plus général des connaissances sur le développement perceptif et cognitif du très jeune enfant. Cette recherche a ouvert quelques perspectives nouvelles sur les débuts de l'olfaction humaine, et quelques propositions d'expériences futures sont présentées.

1. Principaux apports de la présente recherche

1.1. Le nouveau-né et l'odeur du sein: plasticité des apprentissages olfactifs et spécificité de l'odeur mammaire

Les résultats de nos expériences s'inscrivent dans le contexte d'observations antérieures qui décrivent un nouveau-né humain réactif à l'égard des odeurs du corps maternel, en particulier celles émises par la région à laquelle l'enfant est directement confronté lors des tétées (voir les références citées en introduction de la partie I). Ils confirment que le nouveau-né nourri au sein manifeste des réponses d'attraction (orientation de la tête) et d'appétence (activité orale) envers l'odeur mammaire (Expérience 1). Ils indiquent aussi que l'odeur mammaire est fractionnable selon différentes sources isolables (aréole, lait), et que ces différentes fractions mammaires ne paraissent pas toujours discriminées par les nouveau-nés lorsqu'elles sont appariées dans un même test de double-choix (Expériences 2 et 3).

Cette apparente indifférenciation perceptive et/ou hédonique a été amplement discutée à l'issue des parties I et II. Les différentes explications de cette indifférenciation olfactive concernent, d'une part, la ressemblance perceptive des fractions odorantes, du fait de composés volatils communs véhiculés par des substrats communs (probablement le lait). D'autre part, ces substrats mammaires pourraient être qualitativement distincts, mais hédoniquement équivalents par leur association aux mêmes conditions d'encodage affectif. Alors que la première hypothèse insiste sur la possibilité d'une spécificité des odeurs mammaires pour le nouveau-né, la seconde met en relief le rôle de la tétée comme promotrice

des premiers apprentissages de l'enfant. Bien que cette seconde hypothèse puisse se passer de la notion de spécificité de l'odeur du lait humain pour l'enfant humain, elle n'en est toutefois pas forcément exclusive.

Divers modèles animaux montrent en effet que des mécanismes olfactifs prédisposés et des mécanismes d'acquisition plastique (familiarisation par simple exposition et apprentissages associatifs) peuvent fonctionner en parallèle dès les premières heures postnatales (Blass, 1990 ; Hudson, Schaal & Bilko, 1999 ; Schaal, 2005). De même, chez l'enfant humain, une attraction marquée pour l'odeur du lait de l'espèce, en dehors de toute nécessité d'exposition postnatale, a été mise en évidence à plusieurs reprises (Mizuno & Ueda, 2004; Marlier & Schaal, 2005). Enfin, des mécanismes olfactifs prédisposés peuvent, par des propriétés de renforcement primaire liées à des composants odorants ou sapides contenus dans le lait, être à l'origine de phénomènes d'amplification des premiers apprentissages olfactifs (cf., par exemple, Coureaud et al., 2006)

Dans la présente étude, nous nous sommes attachés à approfondir la seconde hypothèse, celle qui suppose que le pouvoir attractif et appétitif de l'odeur du sein dériverait en grande part de phénomènes d'apprentissage associatifs postnatals, lors des contacts étroits entre l'enfant et la mère, à l'occasion des tétées. Un premier test de l'implication des apprentissages dans l'acquisition du pouvoir d'attraction des odeurs mammaires est réalisé dans l'Expérience 5 : mis en situation de choix relatif entre l'odeur mammaire (lait) et une odeur prélevée à distance du sein (cou), le groupe de nouveau-nés ne manifeste pas de réponse différentielle, bien que, par ailleurs, ces deux stimulations se révèlent attractives dans des tests de préférence absolue. Une odeur mammaire et une odeur non mammaire peuvent donc avoir une signification affective similaire pour le nouveau-né.

La tétée, et sa cascade de stimulations renforçantes, n'est donc pas le seul contexte favorable à l'établissement des préférences olfactives précoces. Le portage de l'enfant, visage orienté vers le creux du cou maternel, en est de toute évidence un autre. Il est pour les mères l'une des façons privilégiées de positionner l'enfant à l'issue de l'allaitement ou pour l'apaiser, et met en jeu des stimulations maternelles de natures kinesthésique, tactile, visuelle et vocale sans doute différentes de celles reçues dans la position d'allaitement. Bien que potentiellement distinctes par leur contexte de perception et d'action, ces deux situations sont en mesure de contribuer à « étiqueter » les odeurs qui y sont associées comme agréables et donc attractives. Et le degré de leur valence hédonique paraît équivalent lorsque ces odeurs sont contrastées dans un test de choix simultané.

Des travaux antérieurs avaient déjà montré que des odeurs de sources maternelles différentes peuvent déclencher des réponses similaires chez les nouveau-nés. La présentation séquentielle de l'odeur du sein et de celle du cou provoque en effet une réduction comparable de l'amplitude des mouvements céphaliques et segmentaires chez des nouveau-nés de 2 à 10 jours (Schaal et al., 1980). De même, des nouveau-nés nourris au sein expriment des réponses d'orientation indifférenciées entre l'odeur du sein et celle des aisselles de leur mère (Porter et al., 1992), mais l'odeur des aisselles est vraisemblablement perçue par l'enfant qui tète. Toutefois, lorsque ce même contraste olfactif est présenté à un autre groupe de nouveau-nés avec des odeurs provenant d'une femme allaitante non familière ceux-ci se montrent alors plus attirés par l'odeur mammaire que par l'odeur axillaire (Porter et al., 1992).

Une méthode plus fine de recueil séparé des sécrétions de diverses glandes cutanées mammaires et non mammaires (glandes sébacées, sécrétions lactées de la glande mammaire principale et des glandes aréolaires de Montgomery) peut cependant permettre la mise en évidence de réponses comportementales et psychophysiologiques différenciées. Il en ressort que l'odeur des sécrétions aréolaires des glandes de Montgomery induit des modifications respiratoires que l'odeur du lait ou des sécrétions sébacées ne semblent pas provoquer. Ces sécrétions aréolaires déclenchent aussi plus de réponses d'activation oro-céphaliques appétitives que le lait ou que les sécrétions sébacées (Doucet, Soussignan, Sagot, & Schaal, 2006). De telles données suggèrent que la stimulation aréolaire serait plus attractive pour le nouveau-né que d'autres stimulations d'origines mammaire ou non mammaire.

Quoi qu'il en soit, les travaux sur l'olfaction néonatale, à l'inclusion des Expériences 1 à 5 de la présente étude, montrent que l'enfant est réceptif à la mosaïque olfactive du corps maternel et que des odeurs associées à des contextes fonctionnels différents [comme la tétée, le portage et la consolation, mais aussi l'environnement de sommeil (Balogh & Porter, 1986) ou le massage (Sullivan et al., 1991)] peuvent prendre une valeur affective positive. Nos données indiquent une équivalence en termes d'attraction (exprimée par l'orientation céphalique) et d'appétence (actions orales) entre deux de ces contextes. Elles ouvrent ainsi la voie à une exploration plus systématique du développement précoce de la perception de la mosaïque olfactive du corps maternel par l'enfant.

L'aptitude néonatale à acquérir les odeurs maternelles en dehors du champ cutané directement engagé dans la tétée, le sein, pourrait remettre en cause l'idée d'un statut particulier des odeurs mammaires et lactées pour le nouveau-né. Toutefois, on peut noter que dans les expériences qui mettent en compétition l'odeur mammaire (ou lactée) et une odeur

non mammaire, les deux stimulations déclenchent des réponses d'attraction *similaires*. Autrement dit, la valeur attractive du stimulus non mammaire ne paraît jamais surpasser (en moyenne) celle du stimulus mammaire. Ceci suggère que le pouvoir d'attraction de l'odeur du lait n'est ni effacé, ni atténué par des acquisitions olfactives nouvelles réalisées dans des contextes autres que la tétée. Nos résultats ne remettent donc pas en question l'idée d'un statut fonctionnel particulier de l'odeur du lait humain pour le nouveau-né humain.

Le pouvoir attractif de l'odeur du lait humain est conforté par les expériences qui mesurent l'acquisition du pouvoir attractif pour une odeur artificielle (camomille) associée au sein (Expériences 6-8). Cette odeur ne prend de valeur positive par rapport à un odorant témoin que chez les enfants qui y sont exposés au cours de la tétée, alors qu'elle reste neutre chez ceux qui n'y sont pas exposés (Expérience 7). Lorsque l'odeur de camomille est ensuite mise en opposition directe avec l'odeur du lait maternel, le pouvoir d'attraction moyen des deux stimulations s'avère à nouveau équivalent (Expérience 8). L'odeur de camomille, bien que vraisemblablement plus intense que celle du lait, ne la surpasse pas en pouvoir d'attraction. Autrement dit, le pouvoir d'attraction de l'odeur du lait humain n'est pas effacé ou complètement réassigné par l'acquisition dans les mêmes conditions d'un odorant artificiel. Ainsi, toute odeur exogène paraît pouvoir être acquise lors des tétées, mais en même temps, les odeurs naturelles du sein et du lait continuent à exercer leur pouvoir d'attraction intrinsèque.

Ce résultat est dans la ligne de ceux obtenus dans le domaine olfactif chez l'enfant humain (Mizuno & Ueda, 2004; Marlier & Schaal, 2005) et dans les domaines olfactif, visuel et auditif respectivement chez d'autres mammifères et des oiseaux (Gottlieb, 1981 ; Bolhuis, Johnson, & Horn, 1985 ; Schaal et al., 2005). Il met en évidence des réponses néonatales orientées qui peuvent relever de mécanismes multiples. D'une part, des mécanismes qui fonctionnent indépendamment de l'expérience postnatale, fondés soit sur des acquisitions prénatales (Smotherman & Robinson, 1996; Schaal, Orgeur & Rognon, 1995, pour revues), soit sur de mécanismes génétiquement programmés (Schaal, Coureaud, Langlois, Giniès, Sémon & Perrier, 2003). D'autre part, interviennent des mécanismes qui reposent sur l'expérience postnatale des odeurs. Ce sont ces derniers phénomènes qui sont ciblés dans la présente série d'expériences.

Nos données apportent un éclairage provisoire sur la fréquence de l'exposition nécessaire pour qu'un odorant artificiel prenne une valeur attractive équivalente au stimulus spécifique du lait (Expérience 8). Pour les 4 premiers jours postnatals au cours desquels l'effet de

l'exposition à la camomille est mesuré, et dans nos conditions d'exposition et de test, il s'avère que l'odorant doit être, en moyenne, présenté au cours de 50% des tétées pour prendre une valeur renforçante équivalente à celle du lait humain. Mais cette fréquence moyenne d'exposition révèle des variations individuelles dans l'apprentissage olfactif lors de la tétée, certains enfants restant plus attirés par le lait malgré une fréquence plus élevée (que 50%) d'exposition à la camomille, d'autres étant plus facilement inductibles à s'orienter vers la camomille.

Ces différences individuelles de susceptibilité à l'apprentissage d'un odorant nouveau restent, à ce stade de la recherche, inexplicables. Mais elles pointent une voie intéressante pour une approche des différences interindividuelles perceptives et cognitives par le biais de l'olfaction. Cette voie, déjà signalée par Lipsitt, Engen & Kaye (1963), dès les premières recherches modernes sur l'olfaction néonatale, n'a pas encore trouvé ses explorateurs.

1.2. Rétention à très long terme des apprentissages olfactifs néonataux

Les acquisitions olfactives précoces ont des effets immédiats sur les réponses adaptatives des enfants: elles organisent l'établissement rapide d'attentes sensorielles, elles modulent les états d'activation et de motivation, elles guident les actions dans l'espace proche, et elles déclenchent par anticipation les réponses d'appétence, voire la stimulation de la phase céphalique du cycle digestif. Une partie de ces effets adaptatifs immédiats des apprentissages olfactifs précoces a été abordée dans les deux premières parties de cette thèse.

Les acquisitions olfactives précoces médient aussi des effets à plus long terme. Elles peuvent déterminer ou moduler des réponses olfactives différées à des phases ultérieures du développement, et aiguiller alors les premiers choix alimentaires ou affiliatifs. De telles préférences (ou aversions) plus tardives enracinées dans les premières périodes du développement supposent une capacité à retenir l'information olfactive dans le très long terme. Cette aptitude mnésique durable a fait l'objet de la troisième partie de cette recherche.

Les Expériences 9 et 10 montrent qu'un odorant, la camomille, acquis en association avec la tétée au cours des premières semaines de vie, peut être retenu à l'âge de 7 mois, puis de 21 mois. Les enfants exposés à la camomille manifestent alors les signes comportementaux d'une préférence à l'égard de cette odeur par comparaison à un témoin odorant et à un témoin inodore. Au contraire, dans les mêmes conditions de test, les enfants jamais exposés à la camomille ne montrent aucune préférence significative entre la camomille et les autres odorants expérimentaux. La sélectivité olfactive des enfants est révélée par différentes

réponses comportementales dans les différentes situations expérimentales qui ont servi à les dévoiler. A 7 mois, les enfants exposés à des tétées odorisées à la camomille manipulent un objet « camomillé » en le portant plus souvent à la bouche (et donc près du nez) que ne le font les enfants non exposés (Expérience 9) et, de plus, les enfants exposés le portent plus à la bouche qu'un objet de même aspect mais émettant une odeur non familière.

A 21 mois, les enfants exposés à la camomille n'expriment généralement pas de réponses faciales négatives envers cet odorant, à l'inverse des sujets non exposés qui manifestent fréquemment à son égard des réponses faciales indicatrices de désagrément (Expérience 10A). En outre, les enfants exposés recherchent plus le contact oro-facial avec des objets « camomillés » qu'avec des objets identiques portant une odeur non familière, alors que leurs pairs non exposés ne différencient pas les objets odorants proposés (Expérience 10B-C).

L'analyse longitudinale des réponses des individus suivis à 7 mois (Expérience 9) et à 21 mois (Expérience 10 B) révèle une absence de corrélation, bien que les mêmes stimulations odorantes et un contexte expérimental stable dans ses aspects sociaux (enfant assis sur les genoux maternels en présence d'une seule et même expérimentatrice) aient été utilisés aux deux points de mesure. Toutefois, et c'est une limite du présent travail, la nécessité de construire des épreuves comportementales adaptées aux différents âges a pu introduire des contrastes sensibles dans les réponses à chaque âge. Les objets véhiculant les stimulations olfactives sont fonctionnellement différents (7 mois: anneaux de dentition, 21 mois: peluches et biberons) et sont, de toute évidence a posteriori, traités différemment aux deux âges. Bien que nous ayons tenté d'extraire et de quantifier des variables similaires (prises en bouche, regards) sur ces objets, celles-ci paraissent elles-mêmes ne pas avoir la même signification psychologique aux deux âges. Alors que le jeune enfant au cours du premier semestre de vie porte tous les objets à la bouche et en éprouve oralement les propriétés sensorielles, au-delà de cette période son activité exploratoire recrute de plus en plus les mains, la bouche étant progressivement enrôlée dans les productions vocales et le traitement des aliments solides (Ruff, 1984; Rochat, 1991). Aussi, une variable comportementale bien identifiée dans sa forme expressive à 7 mois n'est pas forcément corrélable à la même variable à 21 mois. Un seul item de réponse de même forme aux deux âges, la durée de regard porté vers l'objet, est faiblement corrélé à 7 et 21 mois ($r=0.36$). Toutefois, cet item du regard ne différencie par les objets en fonction de l'odeur ou de l'expérience olfactive antérieure des sujets à chacun des temps de mesure, de sorte que cette corrélation reflète plutôt une continuité intra-individuelle

de l'attention visuelle entre 7 et 21 mois¹ (cf., Colombo, Mitchell & Horowitz, 1988, par exemple). En conséquence, le préalable méthodologique essentiel d'études longitudinales futures sur les préférences sensorielles serait de mettre au point des épreuves permettant de quantifier des réponses sous-tendues par une même motivation à différents âges contrastés sur le plan du développement moteur et cognitif.

Les réponses différentielles obtenues dans les Expériences 9 et 10 indiquent cependant que le très jeune enfant peut développer une préférence durable envers un odorant rencontré en association avec la tétée. On peut en inférer que le cerveau est alors en mesure d'extraire, d'encoder et de conserver sur de longues périodes des traces de l'environnement olfactif précoce. Ces observations contribuent à enrichir nos connaissances sur la mémoire infantile. Elles apportent des éléments sur les conditions de l'encodage et la durée de rétention, et indiquent qu'un certain nombre de facteurs sont réunis chez le nouveau-né pour faciliter la mémorisation olfactive. En outre, elles suggèrent la possibilité d'un rappel implicite ou explicite de l'acquisition précoce.

1.2.1. Les conditions de l'encodage olfactif

Il convient de souligner ici une autre limite à cette étude: son caractère naturaliste, s'interdisant toute intervention à tous les niveaux de la phase d'exposition olfactive, à savoir le choix de l'odorant et le moment, le rythme et la durée de son application. L'étude a pris avantage d'une pratique prophylactique maîtrisée par les mères allaitantes sur prescription médicale, pratique qui engendrait l'odorisation de la surface mammaire. L'application de la pommade odorante, laissée à l'entière discrétion des mères, détermine les conditions de l'encodage olfactif. Ces conditions, on l'a vu, sont extrêmement variables d'un enfant à l'autre.

La durée totale d'exposition à des tétées odorisées à la camomille varie de 8 à 120 jours selon les enfants. Le nombre d'expositions à des tétées « camomillées » (extrapolé des questionnaires remplis par les mères) varie de 20 à 270, mais celui-ci est généralement plus soutenu et régulier au cours des premiers 15 jours de vie des enfants. Aussi bien au test de rappel de 7 mois qu'aux tests de 21 mois, les réponses des enfants exposés en faveur de la camomille ne sont en aucun cas corrélées avec la durée de la période d'exposition ou avec le nombre de tétées camomillées. On peut donc en conclure, de façon provisoire, que la durée minimale et le nombre minimal d'expositions au cours de la tétée, soit 8 jours (les 8 *premiers*

¹ Bien que, dans nos conditions, cet item ne paraisse pas constituer un critère puissant de différenciation des objets en fonction de leurs caractéristiques d'odeur, de plus en plus de données décrivent les indices olfactifs comme d'efficaces promoteurs des activités d'exploration visuelle dès les âges les plus précoces (Doucet et al., 2007).

jours) d'exposition pour un minimum de 20 tétées odorisées, seraient *suffisants* pour produire les effets de mémoire à long terme observés.

Du fait de la variabilité de la durée d'exposition aux tétées « camomillées », le délai entre la fin de la période d'exposition et le moment (fixé) des tests de rappel est aussi variable [de 98 à 210 jours (3,3 à 7 mois) pour le test à 7 mois, et de 434 à 637 jours (14,5 à 21.2 mois) pour ceux de 21 mois]. Aussi, peut-on considérer que la rétention de l'odeur de camomille acquise en association avec la tétée peut encore être mise en évidence plus d'un an et demi après toute cessation d'exposition sur le sein.

Un tel délai de rétention est en cohérence avec d'autres données sur la résistance à l'oubli de la mémoire infantile, résultant de paradigmes complexes très différents du nôtre, comme le conditionnement classique ou opérant, ou encore l'imitation différée ou sollicitée (Myers et al., 1987 ; Perris et al., 1990 ; Bauer, Hertsgaard, & Dow, 1994 ; McDonough & Mandler, 1994 ; Hartshorn, 2003 ; Hsu & Rovee-Collier, 2006). Par exemple, des enfants de 2 ans sont capables de rappeler par imitation différée, ou sollicitée verbalement, une séquence d'actions spécifiques sur des objets qu'ils ont appris à imiter 8 à 12 mois plus tôt (Bauer et al., 1994 ; McDonough & Mandler, 1994). De plus, des enfants ayant participé à une séance de localisation auditive d'objets dans le noir entre 1.5 et 10 mois se montrent plus aptes à atteindre des objets dans le noir après un délai de 2 ans que leurs pairs non expérimentés (Myers et al., 1987; Perris et al., 1990). Ces travaux révèlent que des enfants de 2-3 ans sont capables de retenir des informations complexes sur un événement auquel ils ont participé plusieurs mois, voire plusieurs années, auparavant. Il est à souligner que, dans aucun des travaux mentionnés ci-dessus, l'encodage n'est aussi précoce que dans la présente étude (au plus tôt, 1,5 mois, pour l'étude de Myers et al., 1987).

Toutefois, d'autres types de stimulations et de contextes d'encodage fonctionnent précocement et engendrent des traces mnésiques à très long terme. Ainsi, la douleur subie précocement à l'occasion de soins médicaux influence la réactivité ultérieure aux situations douloureuses au cours de l'enfance (Taddio, Goldbach, Ipp, Stevens, & Koren, 1995 ; Hermann, Hohmeister, Demirakça, Zohsel, & Flor, 2006 ; Mellier & Rezrazi, 2006). Par exemple, des enfants prématurés exposés en période néonatale à une grande fréquence de procédures invasives multiformes (ponctions sanguines, perfusions, intubations), évaluent comme plus intense la douleur ressentie pendant des soins médicaux à l'âge de 8 à 10 ans (en comparaison à des enfants nés à terme et ayant subi peu de soins douloureux précoces). Une telle amplification subjective de la douleur iatrogène ne se retrouve pas chez des enfants soumis chroniquement à la douleur du fait du syndrome (douleurs d'inconfort liées à la

posture chez les enfants myopathes) ou par nécessité d'interventions quotidiennes (mucoviscidose) (Mellier & Rezrazi, 2006). L'expérience néonatale de la douleur paraît ainsi avoir plus d'effet à long terme sur la perception de la douleur que l'expérience plus tardive, même si celle-ci est répétée ou continue. Il n'est pas exclu que certaines stimulations sensorielles, plus liées à l'intégrité physique, au confort ou à la survie, pourraient relever d'un statut psychobiologique particulier chez le nouveau-né, qui en faciliterait la mémorisation.

1.2.2. Facilitation de l'acquisition olfactive chez le nouveau-né ?

La brièveté de l'exposition *suffisante* à l'établissement d'une mémoire olfactive stable lors des premières prises alimentaires au sein maternel et sa longévité à l'issue de la cessation de l'exposition appellent un examen de la possibilité d'un encodage mnésique des odeurs facilité chez le nouveau-né. Des facteurs variés tels que le contexte de l'apprentissage, la période d'exposition, la nature de l'encodage, et les connections fonctionnelles entre olfaction et mémoire, ou encore entre olfaction et émotion, pourraient isolément ou conjointement faciliter l'encodage, la conservation ou la réactivation d'une trace mnésique olfactive.

Le pouvoir renforçant du contexte de tétée au sein

La tétée au sein est une situation qui assemble une multitude de stimulations gratifiantes. Elle est accompagnée d'une cascade complexe d'évènements renforçants qui opèrent soit par voie sensorielle, soit par voie physiologique, soit par les deux. On peut citer d'abord l'ensemble des stimulations émises par la mère qui enrôlent toutes les entrées sensorielles de l'enfant : toucher, chaleur, positionnement, mouvement, vision, audition, gustation et olfaction (voir références citées dans la discussion de la Partie I). Ensuite, interviennent l'exercice de la succion, la prise lactée et les conséquences endocriniennes, neurochimiques et métaboliques qui y sont rattachées, comme l'implication de la cholécystokinine et des opiacés endogènes (voir Blass, 1990, 1996 ; Schaal, 2005, pour revues) dont l'effet promnésiant a pu être mis en évidence chez le raton et chez l'agneau (Kehoe & Blass, 1986 ; Weller & Blass, 1990 ; Weller, Tsitolovskya, Gispan, & Rabinovitz, 2001 ; Shayit, Nowak, Keller, & Weller, 2003).

Des données accumulées chez les nouveau-nés d'autres mammifères montrent que la tétée est extrêmement efficace pour engager rapidement des préférences olfactives stables (Galef, & Henderson, 1972 ; Capretta & Rawls, 1974 ; Fillion & Blass, 1986 ; Mainardi, Poli, & Valsecchi, 1989 ; voir Blass, 1990, pour revue). Une tétée unique ou une exposition unique à un composant actif de la mère ou du lait (cas de la phéromone mammaire chez la lapine)

peuvent induire une préférence pour l'odeur qui y est associée (Coureaud et al., 2006). La richesse et la synergie des agents de renforcement qui opèrent lors de la tétée naturelle déterminent sans doute son impact sur les apprentissages néonataux.

Toutefois, dans la présente étude, pour pouvoir conclure fermement sur le pouvoir singulier de renforcement de la tétée au sein, il faudra comparer les réponses d'un groupe d'enfants à une odeur acquise dans ce contexte avec celles d'enfants exposés à cette même odeur dans des conditions de « simple exposition ». Rappelons, en effet, que la simple exposition à une atmosphère odorante, en dehors du contexte maternel et de tout renforcement planifié, est en mesure d'en promouvoir l'acquisition à court ou long terme (Balogh & Porter, 1986 ; Davis, & Porter, 1991 ; Goubet et al., 2002 ; Goubet et al., 2003 ; Rattaz et al., 2005). Par ailleurs, l'exposition d'un même groupe d'enfants à une odeur A en association avec la tétée et à une odeur B en situation de familiarisation peut nous aider à comprendre leur valeur attractive relative dans un test qui les oppose simultanément.

Spécificité de la période d'exposition pour l'établissement de préférences stables

Il ne peut être exclu que, chez les Mammifères, la période néonatale puisse constituer une fenêtre spéciale, une période sensible, pour l'acquisition de dimensions sensorielles particulières de l'environnement constitué ou fourni par la mère. Les concepts de période « critique » ou « sensible » (*sensu* Lorenz, 1935, et Immelmann, 1972, dans McFarland, 2001) font référence à une période précoce, souvent située immédiatement après l'éclosion ou la naissance (mais d'autres périodes sensibles ont été décrites lors de périodes plus tardives, voire adultes, voir Hudson, 1993, pour revue), pendant laquelle l'expérience individuelle est durablement engrammée pour servir de référence lorsque surviennent les situations autonomes de choix vitaux alimentaires ou sociaux. Par exemple, des furets adultes de 8 mois ou plus manifestent plus de comportement de recherche envers l'odeur d'une proie avec laquelle ils ont été nourris pendant les 3 premiers mois de leur vie (Apfelbach, 1978 ; Rehn, Breipohl, Mendoza & Apfelbach, 1986, dans Hudson, 1993). Autre exemple, le jeune cerf à queue noire, à 2.5 mois, qui se rapproche plus d'une femelle portant une odeur ayant été associée aux tétées des 15 premiers jours de vie que de toute autre femelle (Müller-Schwarze & Müller-Schwarze, 1971). L'empreinte produite par certains conditionnements néonataux, et en particulier l'odeur acquise précocement, peuvent conserver leur statut affectif particulier encore à l'âge adulte.

La notion de période sensible pour l'acquisition olfactive a été particulièrement bien étudiée chez le raton quant à sa phénoménologie et aux mécanismes sous-jacents. Le groupe

réuni autour de M. Leon et R. Sullivan a analysé une période sensible située pendant les 9 premiers jours postnatals. Au cours de cette période un conditionnement associant une odeur et une stimulation positive, comme le léchage ano-génital par la mère (ou sa simulation expérimentale), ou bien une stimulation négative, comme un choc électrique, engendre *toujours* une réponse d'attraction stable envers l'odeur acquise (Woo & Leon, 1987 ; Sullivan, Landers, Yeaman, & Wilson, 2000). La plasticité nerveuse au sein du bulbe olfactif paraît plus importante au cours de cette période (Woo & Leon, 1987). Ultérieurement, les réponses d'attraction olfactive sont plus difficiles à engager par l'association odeur-léchage ano-génital (Woo & Leon, 1987) et l'association de l'odeur avec un choc électrique engendre alors une réponse d'évitement (Sullivan, Landers, Yeaman, & Wilson, 2000). Les 9 premiers jours postnatals sont donc privilégiés pour l'établissement de préférences olfactives chez le raton et l'orientation de la réponse semble être en partie sous le contrôle de l'amygdale (Sullivan, Landers, Yeaman, & Wilson, 2000 ; Moriceau, Wilson, Levine, & Sullivan, 2006).

On débat souvent du fait que les premiers mois, voire les premières semaines de vie, pourraient aussi être décisives pour l'établissement de préférences sociales ou alimentaires dans l'espèce humaine (Bowlby, 1969, dans Campan & Scapini, 2002 ; Beauchamp & Mennella, 1998), de la même façon que l'expérience précoce conditionne le développement normal de différentes fonctions perceptives et cognitives (vision, perception auditive et acquisition du langage). De telles périodes sensibles pourraient, par exemple, contraindre le développement de la sensibilité à, ou de l'acceptabilité de, certaines stimulations chimiques. A cette date, le seul exemple qui commence à être documenté en ce sens est le traitement hédonique des laits à base d'hydrolysats de protéines, dont la fabrication engendre des composés malodorants, acides pour l'adulte (on ne peut donc savoir si les effets décrits reposent sur la sollicitation exclusive ou combinée des entrées olfactive ou gustative). Lorsque des enfants de 1-2 mois sont exposés à ces laits particuliers, ils les acceptent ensuite sans beaucoup d'hésitation; mais lorsqu'ils y sont introduits pour la première fois à 7-8 mois, ils les rejettent sans ambiguïté (Mennella & Beauchamp, 1996a, 1998). Les enfants nourris avec de tels laits aux âges de 0-3 ou 3-5 mois les acceptant mieux lors d'un test à 7,5 mois que des enfants qui n'y ont jamais été exposés, Mennella, Griffin, & Beauchamp (2004) situent cette hypothétique période sensible entre 0 et 4 mois.

Dans la présente étude, contrairement à leurs pairs non exposés, les enfants précocement exposés à la camomille se montrent, à 7 mois comme à 21 mois, attirés par une odeur rencontrée au cours des 8 à 120 premiers jours de vie sans que la durée de la période d'exposition ne paraisse modifier l'intensité de la réponse de préférence. Ces données ne

permettent pas de conclure quant à la possibilité d'une période au cours de laquelle les apprentissages olfactifs seraient facilités. Toutefois, ils suggèrent qu'une période minimale comprenant les 8 premiers jours de vie pourrait suffire à l'établissement d'une acquisition stable.

Spécificité du stimulus et encodage holistique

La singularité de l'odorant associé à la tétée (les enfants ne l'ayant jamais rencontré par ailleurs) et la nature holistique de l'encodage pourraient contribuer à augmenter la saillance de la trace mnésique correspondante. Contrairement à la mémoire visuelle ou auditive, la mémoire olfactive est protégée des interférences de natures proactive et rétroactive (Lawless & Engen, 1977 ; Engen, 1991). Cette propriété particulière de la mémoire olfactive reposerait sur la nature de l'encodage des odeurs qui se ferait de manière holistique (Engen, 1991 ; Jehl, 1996 ; Holley, 1999).

Les Expériences 7 et 10A mettent en lumière la nature holistique de l'encodage olfactif dès la période néonatale. A 3-4 jours, les nouveau-nés manifestent une attraction plus marquée (en terme d'orientation céphalique) envers l'odeur complète du mélange olfactif (camomille + base) auquel ils ont été exposés au sein qu'envers l'odeur de l'un ou l'autre des composés du mélange (base seule) (cf. Expérience 7). A 21 mois, les enfants manifestent plus d'aversion à l'égard de l'odeur du composé (base seule) mais pas envers l'odeur du mélange complet (camomille + base). La nature holistique de l'encodage minimiserait la déformation mnésique et l'oubli, comme ce peut être le cas pour la mémoire sémantique pour laquelle l'encodage est de type analytique, et la possibilité d'interférences élevée (Collins & Loftus, 1975, dans Herz & Engen, 1996).

Singularités anatomo-fonctionnelles de la modalité olfactive

Le système olfactif entretient des relations particulières avec les processus mnésiques et émotionnels (Herz & Engen, 1996). Cette connexion fonctionnelle olfaction-mémoire devrait être d'autant plus forte au début de la vie, lorsque les modalités « proximoceptives » (en particulier, l'olfaction) tendent à prédominer sur les modalités « téléceptives » (vision, audition).

Par ailleurs, le traitement de l'information olfactive est clairement influencé par les états émotionnels chez l'adulte. Herz (1997), parmi d'autres (Cahill & McGaugh, 1995 ; Anderson, Wais & Gabrielli, 2006, voir aussi Ehrlichman & Bastone, 1999, pour revue), montre en effet qu'une activation émotionnelle modérée associée à un apprentissage olfactif augmente

l'efficacité de l'encodage. On peut donc supposer que la charge émotionnelle positive qui accompagne les premières interactions mère-enfant devrait constituer un facteur additionnel de potentialisation de la mémoire olfactive. Les recherches récentes sur la mémoire infantile montrent que les souvenirs d'événements survenus avant 2-3 ans sont la plupart du temps associés à des émotions intenses, comme la naissance d'un cadet (Eacott & Crawley, 1998, 1999), une urgence médicale (Peterson & Whalen, 2001) ou un traumatisme (Peterson, Grant, & Boland, 2005). Les données sur le pouvoir mnémonique des odeurs soulignent de plus que, en comparaison de souvenirs associés à des informations verbales ou visuelles, les souvenirs autobiographiques évoqués par des odeurs ont un contenu plus émotionnel (Herz & Cupchik, 1995 ; Herz, Eliassen, Beland & Souza, 2004) et remontent à un passé plus lointain (Engen, 1991 ; Chu & Downes, 2002 ; Herz & Schooler, 2002 ; Willander & Larsson, 2006). De nombreuses manifestations de l'« effet Proust » relatées dans la littérature font état de souvenirs olfactifs émotionnels pouvant persister pendant des décennies avec peu de distorsion (Proust, 1913 ; Engen, 1991 ; Holley, 1999). Ceci laisse présager que les acquisitions olfactives précoces sont retenues à très long terme et influencent le comportement des enfants lorsqu'ils y sont réexposés dans diverses situations.

Cette convergence potentielle de phénomènes – pouvoir renforçant de la tétée, période sensible précoce pour les apprentissages stables, encodage holistique, et connexion olfaction-émotion-mémoire – amène l'hypothèse d'une facilitation de la mémorisation des odeurs dans les conditions normales du développement humain, ou du moins celles dans lesquelles les humains se sont développés au cours de leur histoire évolutive. On peut ainsi s'attendre à ce que les conditions optimales pour l'apprentissage d'une odeur soient remplies lorsque la stimulation est présentée sur le sein maternel au cours des premières tétées à l'intérieur d'une période favorable de réceptivité et de plasticité cérébrale. En principe, ces conditions ont cours pour l'acquisition de l'odeur naturelle du sein maternel et expliquent les performances précoces de reconnaissance et de sélectivité olfactives du nouveau-né humain (cf. Introduction générale). Mais, la cognition néonatale paraît suffisamment plastique pour engager des apprentissages efficaces et durables en se passant de l'une ou l'autre conditions favorables mentionnées ci-dessus.

Une odeur peut être durablement apprise en dehors des périodes sensibles, dont l'évidence reste d'ailleurs encore hypothétique dans notre espèce. Par ailleurs, le nourrissage de l'enfant au biberon – donc à quelque distance du sein et du lait de l'espèce et des agents de renforcement qu'ils véhiculent – peut conduire à des apprentissages dont la longévité

commence à être documentée. On l'a vu plus haut, la flaveur du lait reçu par l'allaitement au biberon peut influencer à très long terme les jugements d'acceptabilité des laits artificiels. A 4-5 ans, les enfants nourris avec des laits à base de protéines hydrolysées manifestent encore une réponse hédonique positive à son égard contrairement aux enfants nourris avec des laits standard (Mennella et Beauchamp, 2002). La flaveur du lait reçu pendant l'allaitement peut ensuite être généralisée à ces mêmes saveurs dans les aliments non lactés. Par exemple, des enfants nourris avec des laits acides à base d'hydrolysats de protéines préfèrent à 4-5 ans un jus de pomme acidifié, ceux nourris avec des laits amers à base de protéines de soja préfèrent un jus de pomme rendu amer et enfin ceux nourris avec un lait standard préfèrent un jus de pomme standard (Mennella et Beauchamp, 2002). Les expériences précédentes mettent en œuvre des stimulations olfactives rétronasales (arômes), dont la réception est optimisée par des conditions optimales de température, d'hygrométrie et de couplage avec l'acte alimentaire. Mais la voie orthonasale de stimulation paraît tout aussi efficace pour l'acquisition d'une odeur. Chez des enfants de 5-7 mois, l'appariement d'une odeur appliquée à la surface du biberon, à l'instar de l'odorisation de la surface du sein, est un efficace inducteur de préférences pour l'odeur ainsi associée à la tétée et à la satiété avec un lait artificiel. Cette préférence est encore sensible après 6 jours, puisque la re-présentation de l'odeur seule stimule l'activité orale (Coyle, Moore-Arnold, Goldberg-Arnold, Rubin, & Hall, 2000).

Enfin, l'étude quasi-expérimentale de Köster et ses collaborateurs (Haller, Rummel, Henneberg, Pollmer, & Köster, 1999) a évalué l'influence d'une exposition à la vanille par le lait artificiel sur les préférences de l'adulte envers des aliments «vanillés». Elle a consisté à sonder des sujets (d'âge moyen de 28 ans, âges extrêmes de 12 à 59 ans) nourris au biberon (et donc plus exposés à la vanille) ou au sein (et donc, en principe, moins exposés) quant à leur préférence pour un ketchup additionné d'une touche de vanille ou un ketchup standard. Les individus nourris au lait artificiel aromatisé à la vanille ont préféré le ketchup «vanillé», ceux allaités au sein choisissant le ketchup nature. Bien que les données sur la phase d'exposition à la vanille restent floues (aucunes données sur la durée de l'allaitement et sur l'exposition à la vanille entre la fin du nourrissage au biberon et le test), la différenciation des réponses en fonction de l'expérience précoce suggère une propension à acquérir et retenir à long terme des odorants véhiculés dans le lait artificiel. On peut aussi s'interroger sur la réponse de l'enfant plus âgé envers des odorants maternels typiques de l'espèce, et dans quelle mesure celle-ci différerait par rapport à des odorants circonstanciels, tels que la vanille ci-dessus.

1.2.3. Nature des processus mnésiques impliqués dans la mémorisation précoce des odeurs

La nature implicite ou explicite des processus mnésiques engagés par l'expérience précoce peut être débattue, même si cette question paraît adjugée par les théories en vigueur. Celles-ci affirment que, chez l'enfant humain, la mémoire explicite ou déclarative ne peut être fonctionnelle avant la fin de la deuxième année, lorsque le support nerveux correspondant et le langage sont suffisamment matures (Nelson, 1994 ; Liston & Kagan, 2002). Toutefois cette conception radicale est actuellement remise en cause.

Plusieurs études font état de la possibilité pour certains enfants d'exprimer de façon explicite (verbalement ou gestuellement) une ou plusieurs informations sur un événement encodé au cours des deux premières années de vie (Myers et al., 1987 ; Bauer et al., 1994 ; Bauer & Wewerka, 1995). Par exemple, Myers et al. (1987) décrivent le cas d'un enfant de 3 ans qui rappelle verbalement qu'une image de baleine est cachée derrière un écran particulier. L'image avait été présentée à l'enfant 2 ans plus tôt, cachée derrière cet écran, au cours d'une quinzaine de sessions d'entraînement, alors qu'il ne maîtrisait pas encore le langage. Par ailleurs, Bauer et al. (1994) rapportent le cas d'enfants de 2 ans qui rappellent verbalement les événements de séquences de manipulations de jouets, appris 8 mois plus tôt.

Dans notre propre étude (Expérience 10B), quelques indices pointent aussi la possibilité d'une explicitation gestuelle du contexte précoce dans lequel le stimulus a été acquis. L'un des enfants exposés à la camomille lors des premières tétées a, lors du test à 21 mois, léché l'objet porteur de la stimulation de camomille, puis s'est tourné vers la mère, mis en position de tétée en tentant de découvrir le sein. Cette suite d'actions peut être interprétée comme traduisant le rappel conscient et délibéré, donc explicite, du contexte d'acquisition, ou du moins du lien entre l'odeur de camomille et la tétée au sein.

Ces observations relèvent clairement de l'anecdote et pourraient, à ce titre, être remises au chapitre des curiosités. Toutefois, on note une recrudescence de ces « observations uniques » dans la littérature cognitive, et nous estimons qu'il n'est pas inconvenant de les considérer comme la partie émergée d'un iceberg qui pointe une direction de recherche intéressante sur le développement précoce de la mémoire humaine. Ces observations appellent des hypothèses sur la possibilité du rappel explicite d'un événement encodé au cours des premières semaines de vie. Elles suggèrent en particulier que les souvenirs précoces pourraient, longtemps après leur encodage, être « explicités » de diverses manières non verbales, puis verbales. Ces observations pourraient correspondre à un modèle de système

mnésique unique accessible par des tâches de rappel implicites ou explicites (Roediger, 1990, *in* Degel & Köster, 1999 ; Rovee-Collier, 1997).

2. Quelques perspectives de recherches

Nos travaux contribuent à enrichir les connaissances sur les premiers apprentissages des odeurs chez l'enfant. Ils suggèrent notamment que l'organisation mnésique du très jeune enfant peut supporter l'encodage et la conservation de stimulations olfactives à très long terme. Mais ces résultats demandent à être reproduits dans des conditions mieux maîtrisées pour comprendre l'évolution des mécanismes perceptifs et mnésiques mis en jeu au cours du développement.

2.1. Contrôle des conditions de l'acquisition précoce

Dans un premier temps, il serait intéressant de répéter ces expériences en ayant recours à un meilleur contrôle de l'exposition en termes de fréquence, de nombre d'occurrences, de durée, et de période et de contexte. Les nombre, durée et fréquence minimales d'exposition pour un encodage olfactif à long terme devraient pouvoir être estimées en exposant les nouveau-nés à un odorant arbitraire, au cours des premiers jours de tétée, pendant soit un nombre d'occurrence fixe (1 à 20 fois), soit une durée fixe (de 15 minutes à 1 heure), soit une fréquence fixe (d'une fois par jour à 6 fois par jour) d'exposition. La mémorisation de cet odorant pourra ensuite être évaluée au cours de tests de préférence olfactive contrastant l'odorant cible et un odorant nouveau ou à un témoin inodore, après différents intervalles de temps eux aussi fixés a priori (24h, 6 mois, 2 ans). Une différenciation des préférences en fonction du degré d'exposition devrait ainsi pouvoir être mise en évidence.

Par ailleurs, le « paradigme du sein odorisé » (mais aussi, dans le cas d'enfants nourris au lait artificiel, celui du « biberon odorisé ») pourrait permettre de vérifier l'existence d'une période sensible pour la formation de préférences olfactives stables. Cet objectif pourrait être approché en faisant varier, chez différents groupes d'enfants, la période d'exposition postnatale (de durée fixe, mais de timing variable par rapport à la naissance; par exemple: pendant les 15 premiers jours postnatals, à partir du 4^{ème} ou du 8^{ème} mois) et en appliquant des tests de rappel à des moments fixes, situés à différents délais après l'interruption de

l'exposition (24 h, 6 mois, 2 ans, par exemple). Il n'est pas exclu que l'adjonction d'un odorant nouveau sur le sein après un certain âge provoque le refus et le détournement du sein et conditionne de ce fait une réponse aversive envers l'odeur introduite tardivement. Il se pourrait aussi que l'exposition tardive à l'odorant n'entraîne pas de mémorisation à long terme de cet odorant.

Le corps maternel émet, on l'a vu, des odeurs différenciées selon les régions corporelles concernées. Différents contextes interactionnels entre la mère et l'enfant commandent ainsi l'exposition de ce dernier à des facettes olfactives variées dans des contextes contrastés. On peut distinguer l'exposition de l'enfant à l'odeur du sein et des aisselles lors des tétées, à l'odeur du cou lors des portages « verticaux » de l'enfant, à l'odeur du visage et de l'haleine lors des phases d'interaction faciale, ou encore à diverses odeurs artificielles couplées à l'alimentation (biberon), à la mère (cosmétiques) ou à l'environnement de sommeil. De toute évidence, l'écologie olfactive est multiple dès la naissance et associée à des contextes dont les valeurs renforçantes sont vraisemblablement différentes. Il serait intéressant de comparer les réponses de groupes d'enfants à des odorants acquis dans différents contextes de renforcement, incluant soit la prise lactée (nourrissage au biberon), soit le contact avec la mère (portage sans prise alimentaire), soit la simple exposition (dans le berceau, sans contact ni ingestion). En outre, la fréquente occurrence de l'alimentation mixte au sein et au biberon, pourrait rendre possible l'étude du développement des réponses relatives envers un odorant associé au sein et un odorant associé au biberon.

De telles approches pourront prendre en compte l'état interne de l'enfant. En effet, la réactivité hédonique de l'enfant peut changer en fonction de son état motivationnel (satiété, cf. Soussignan et al., 1999). On pourrait ainsi s'attendre à ce que l'attraction pour l'odeur du lait, associée à la réalisation de la tétée, et l'odeur du cou maternel, associée aux interactions postprandiales, varient en sens inverse avant et après la prise alimentaire.

De telles perspectives de recherches appellent toutefois quelques considérations éthiques. Le fait d'engager précocement des mécanismes d'apprentissage qui ont des effets à long terme signifie que l'on risque de modeler durablement les préférences et les comportements de choix des individus. C'est ce que font spontanément les parents ou les éducateurs lorsqu'ils exposent les enfants à des stimulations qui dévient de celles qu'ils recevraient dans les conditions « naturelles » (c'est-à-dire en l'absence de toute odorisation) ou dans les conditions habituelles de leur groupe culturel (odorisation sélective de l'environnement précoce par leurs propres

consommations alimentaires ou addictives). Si de telles expériences d'apprentissage précoce devaient être reproduites et étendues, il est clair que la sélection des odorants devra répondre à des critères sanitaires prospectifs, en particulier quant à la nature des préférences qui pourraient être suscitées (on utilisera plutôt des odorants évocateurs de fruits ou de légumes, par exemple).

Toutefois, nous pensons que les bénéfices d'une telle approche expérimentale en surpassent largement les inconvénients hypothétiques. Elle permettrait une compréhension fine des mécanismes précoces de la perception et de la mémoire dans une modalité encore trop peu étudiée. En retour, elle serait en mesure d'apporter des éléments scientifiques pour appréhender les mécanismes en jeu dans les phénomènes précoces de l'ontogenèse des choix alimentaires ou des consommations de produits addictifs, et pour apporter des arguments destinés à dénoncer d'éventuelles stratégies de conditionnement précoce à visées lucratives. Enfin, la compréhension des apprentissages précoces peut permettre de développer de nouvelles pratiques de nursing, en particulier pour préparer l'enfant à des transitions vers de nouveaux contextes alimentaires ou environnementaux en lui fournissant un élément olfactif connu du fait de la familiarisation préalable (Martin, 1996 ; Coyle et al., 2000 ; Schaal, 2003).

2.2. Impact à long terme des acquisitions précoces

Les épreuves de rappel effectuées dans la présente recherche se situent en deçà de la période de maîtrise du langage, à savoir 7 et 21 mois, en moyenne. Il serait d'un grand intérêt de re-contacter les familles des enfants testés au cours de cette étude (à présent âgés de 5-6 ans) afin vérifier dans quelle mesure l'exposition à un odorant donné pendant la période de tétée au sein pourrait encore se traduire par une réponse particulière à son égard. Dans cette tranche d'âge, les jugements hédoniques pourront être directement mesurés sur des indices comportementaux et verbaux. L'impact à long terme de l'expérience olfactive précoce sera manifeste en cas de réponse différentielle à la simple représentation de l'odorant entre enfants exposés à l'odorant cible alors qu'ils étaient nouveau-nés et enfants naïfs. La possibilité d'un rappel gestuel et verbal du contexte d'acquisition ou de certains éléments de ce contexte pourra de plus nous renseigner sur la nature des processus mnésiques impliqués dans le rappel.

En somme, le paradigme du sein odorisé mis en œuvre dans cette recherche constitue une approche potentiellement féconde pour explorer la formation progressive de la cognition

olfactive au cours des périodes les plus précoces du développement humain. La continuation de son application permettrait de faire progresser différentes notions théoriques du développement perceptif qui ont à ce jour reçu trop peu d'attention dans la modalité olfactive. Par le biais de cette méthode, on peut envisager des avancées nombreuses dans la compréhension de l'« apprenabilité » différentielle des odorants selon les contextes d'apprentissage, de la hiérarchisation hédonique des odeurs significantes, de l'existence et des contours temporels de possibles périodes sensibles, de la nature des processus mnésiques impliquées, des liaisons quantitatives entre exposition et stabilité mnésique, du fonctionnement analytique ou synthétique de la perception précoce, du développement précoce de la dominance sensorielle et des interactions entre modalités, et enfin des sources les plus précoces des différences individuelles du fonctionnement olfactif humain.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anderson, A. K., Wais, P. E., & Gabrielli, J. D. (2006). Emotion enhances remembrance of neutral events past. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103 (5), 1599-1604.
- Bachelard, G. (1960). *La poétique de la rêverie*. Paris : PUF.
- Baillargeon, R. (2004). Le raisonnement des bébés à propos des objets cachés: des principes généraux et des attentes spécifiques. In R. Lecuyer (Ed.), *Le développement du nourrisson. Du cerveau au milieu social et du fœtus au jeune enfant*, Paris: Dunod.
- Baillie, A. H., Ferguson, M. M., & Hart, D. (1966). *Developments in Steroid Histochemistry*. Londres: Academic Press.
- Balogh, R. D., & Porter, R. H. (1986). Olfactory preferences resulting from mere exposure in human neonates. *Infant Behavior and Development*, 9, 395-401.
- Bauer, P. J. (2004). New developments in the study of infant memory. In D. M. Teti (Ed), *Handbook of research methods in developmental science*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Bauer, P. J., Hertzgaard, L. A., & Dow, G. A. A. (1994). After 8 months have passed: Long term recall of events by 1- to 2- year-old children. *Memory*, 2, 353-382.
- Bauer, P. J., & Wewerka, S. S. (1995). One- to two-year-olds' recall of events: The more expressed, the more impressed. *Journal of Experimental Child Psychology*, 59, 475-496.
- Beauchamp, G. K. & Mennella, J. A. (1998). Sensitive periods in the development of human flavor perception and preference. *Annales Nestlé*, 56, 19-31.
- Bingham, P. M., Abassi, S., & Sivieri, E. (2003). A pilot study of milk odor effect on nonnutritive sucking by premature newborns. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 157, 72-5.
- Blass, E. M. (1990). Suckling: Determinants, changes, mechanisms, and lasting impressions. *Developmental Psychobiology*, 26, 520-533.
- Blass, E. M. (1994). Behavioral and physiological consequences of suckling in rat and human newborns. *Acta Paediatrica Supplement*, 397, 71-76.

- Blass, E. M. (1996). Mothers and their infants: Peptide-mediated physiological, behavioral and affective changes during suckling. *Regulatory peptides*, 66, 109-112.
- Blass, E. M., Ganchrow, J. R., & Steiner, J. E. (1984). Classical conditioning in newborn humans 2-48 hours of age. *Infant Behavior and Development*, 7, 223-235.
- Bolhuis, J. J., Johnson, M. H., & Horn, G. (1985). Effects of early experience on the development of filial preferences in the domestic chick. *Developmental Psychobiology*, 18 (4), 299-308.
- Brake, S. C. (1981). Suckling infant rats learn a preference for a novel olfactory stimulus paired with milk delivery. *Science*, 211, 506-508.
- Bushnell, I. W., Sai, F., & Mullin, J. T. (1989). Neonatal recognition of the mother's face. *British Journal of Developmental Psychology*, 7, 3-15.
- Cahill, L., & McGaugh, J. L. (1995). A novel demonstration of enhanced memory associated with emotional arousal. *Consciousness and Cognition*, 4 (4), 410-421.
- Cain, W. S., & Johnson, F. J. (1978). Lability of odor pleasantness: Influence of mere exposure. *Perception*, 7, 459-465.
- Campan, R., & Scapini, F. (2002). *Ethologie. Approche systémique du comportement*. Paris: De Boeck Université.
- Campbell, D. W., & Eaton, W. O. (1999). Sex differences in the activity level of infants. *Infant and Child Development*, 8, 1-17.
- Capretta, P. J., & Rowls, M. L. (1974). Establishment of a flavor preference in rats: Importance of nursing and weaning experience. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 33, 670-673.
- Cernoch, J. M., & Porter, R. H. (1985). Recognition of maternal axillary odors by infants. *Child Development*, 56, 1593-1598.
- Cheour, M., Ceponiene, R., Leppanen, P., Alho, K., Kujala, T., Renlund, M., Fellman, V., Naatanen, R. (2002). The auditory sensory memory trace decays rapidly in newborns. *Scandinavian Journal of Psychology*, 43 (1), 33-39.
- Chu, S., & Downes, J. J. (2002). Proust nose best: Odors are better cues of autobiographical memory. *Memory and Cognition*, 30, 511-518.

- Colombo, J., Mitchell, D. W., & Horowitz, F. D. (1988). Infant visual attention in the paired-comparison paradigm: Test-retest and attention-performance relations. *Child Development*, 59, 1198-1210.
- Cossette, L., Malcuit, G., & Pomerleau, A. (1991). Sex differences in motor activity during early infancy. *Infant Behavior and Development*, 14, 175-186.
- Courage, M. L., & Howe, M. L. (2004). Advances in early memory development research: Insight about the dark side of the moon. *Developmental Review*, 24, 6-32.
- Coureaud, G., Moncomble, A.-S., Montigny, D., Dewas, M., Perrier, G., & Schaal, B. (2006). A pheromone that rapidly promotes learning in the newborn. *Current Biology*, 2006, 16(19), 1956-1961.
- Coyle, S., Moore-Arnold, H., Goldberg-Arnold, J. S., Rubin, D. C., & Hall, W. G. (2000). Olfactory conditioning facilitates diet transition in human infants. *Developmental Psychobiology*, 37, 144-152.
- Darwin, C. (1877). A biographical sketch of an infant. *Mind*, 7, 285-294.
- Davis, L. B. & Porter, R. H. (1991). Persistent effect of early exposure on human neonates. *Chemical Senses*, 16, 169-174.
- DeCasper, A. J., & Fifer, W. P. (1980). Of human bonding: Newborns prefer their mother's voices. *Science*, 208, 1174-1176.
- Degel, J., & Köster, E. P. (2000). *Implicit odor memory*. PhD Thesis, University of Pforzheim, Germany.
- Delaunay-El Allam, M., Marlier, L., & Schaal, B. (2006). Learning at the breast: Preference formation for an artificial scent and its attraction against the odor of maternal milk. *Infant Behavior and Development*, 29, 308-321.
- DeLoache, J. S. (1976). Rate of habituation and visual memory in infants. *Child Development*, 47, 145-154.
- Desage, M., Schaal, B., Soubeyrand, J., Orgeur, P., Brazier, J. L. (1996). Gas chromatographic-mass spectrometric method to characterise the transfer of dietary odorous compounds into plasma and milk. *Journal of Chromatography, part B, Biomedical Applications*, 678 (2), 205-210.
- Doucet, S., Soussignan, R. & Schaal, B. (2004). Neonatal responses to the lactating breast: A

- first attempt at fractionating odours in situ. *Chemical Senses*, 30, E52.
- Doucet, S., Soussignan, R., Sagot, P. & Schaal, B. (2006). Human newborns differentiate the odour of areolar secretions from other species-specific and non-specific odorants. *17th Meeting of European Chemoreception Research Organisation*, Granada, Spain.
- Doucet, S., Soussignan, R., Sagot, P. & Schaal, B. (2007). The 'smellscape' of human mother's breast: Effects of odour masking and serial unmasking on neonatal responses. *Developmental Psychobiology*, 49 (2), 129-138.
- Doucet, S., Soussignan, R., Sagot, P. & Schaal, B. (en préparation). Maternal areolar glands: A predictor of breastfeeding establishment in the first postpartum days.
- Durand, K. (2004). Les perceptions du nourrisson : des contraintes sensorielles aux contrôles cognitifs. In R. Lecuyer (Ed.), *Le développement du nourrisson. Du cerveau au milieu social et du fœtus au jeune enfant*, Paris: Dunod.
- Eacott, M. J., & Crawley, R. A. (1998). The offset of childhood amnesia: Memory for events that occurred before age 3. *Journal of Experimental Psychology: General*, 127 (1), 22-33.
- Ehrlichman, H., & Bastone, L. (1999). Olfaction and emotion. In M. J. Serby & K. L. Chobor (Eds.), *Science of olfaction* (pp. 410-438), New York: Springer Verlag.
- Ekman, P., & Friesen, W. (1978). *Facial Action Coding System: A technique for measurement of facial movement*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologist Press.
- Engen, T. (1965). Psychological analysis of the odor intensity of homologous alcohols. *Journal of Experimental Psychology*, 70, 611-616.
- Engen, T. (1974). Method and theory in the study of odor preferences. In A. Turk, J. Johnston and D. Moulton (Eds), *Human responses to environmental odors* (pp. 121-141), New York: Academic Press.
- Engen, T. (1982). *Perception of odors*. New York: Academic Press.
- Engen, T. (1983). The human use of olfaction. *The American Journal of Otolaryngology*, 4 (4), 250-251.
- Engen, T. (1991). *Odor sensation and memory*. New York: Praeger Publishers.
- Engen, T. & Engen, E. (1997). Relationship between development of odor perception and langage. *Enfance*, 1, 125-140.
- Engen, T., Kuisma, J. E., & Eimas, P. D. (1973). Short-term memory of odors. *Journal of*

- Experimental Psychology*, 99 (2), 222-225.
- Engen, T., & Lipsitt, L. (1965). Decrement and recovery of responses to olfactory stimuli in the human neonate. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 59, 312-316.
- Engen, T., & Lipsitt, L., & Kaye, H. (1963). Olfactory responses and adaptation in the human neonate. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 56 (1), 73-77.
- Engen, T., & Ross, B. M. (1973). Long-term memory of odors with and without verbal description. *Journal of Experimental Psychology*, 100 (2), 221-225.
- Fenson, L., Sapper, V., & Minner D. G. (1974). Attention and manipulative play in the one-year-old child. *Child Development*, 45 (3), 757-764.
- Fillion, T. J., & Blass, E. M. (1986). Infantile experience with suckling odors determines adult sexual behavior in male rats. *Science*, 231, 729-731.
- Galef, B. G., & Henderson, P. W. (1972). Mother's milk: A determinant of feeding preferences of weaning rat pups. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 78, 213-219.
- Galef, B. G., & Kaner, H. C. (1980). Establishment and maintenance of preference for natural and artificial olfactory stimuli in Juvenile rats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 94 (4), 588-595.
- Galef, B. G., & Sherry, D. F. (1973). Mother's milk: A medium for transmission of cues reflecting the flavor of mother's diet. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 83 (3), 374-378.
- Gartstein, M. A., & Rothbarth, M. K. (2003). Studying infant temperament via revised infant behaviour questionnaire. *Infant Behavior and Development*, 26, 64-86.
- Gordon Pomares, C., Schirrer, J., & Abadie, V. (2002). Analysis of the olfactory capacity of healthy children before language acquisition. *Developmental and Behavioral Pediatrics*, 23 (4), 203-207.
- Gottlieb, G. (1981). Development of species identification in ducklings: VIII. Embryonic versus postnatal critical period for the maintenance of species-typical perception. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 95 (4), 540-547.
- Gottlieb, G. (1991). Experiential canalization of behavioural development: Theory. *Developmental Psychology*, 27, 4-13.
- Gottlieb, G. (2002). Developmental-behavioral initiation of evolutionary change.

- Psychological Review*, 109 (2), 211-218.
- Goubet, N., Rattaz, C., Pierrat, V., Allémann, E., Bullinger, A., & Lequien, P. (2002). Olfactory familiarisation and discrimination in preterm and full-term newborns. *Infancy*, 3(1), 53-75.
- Goubet, N., Rattaz, C., Pierrat, V., Bullinger, A., & Lequien, P. (2002). Olfactory experience mediates response to pain in preterm newborns. *Developmental Psychobiology*, 42 (2), 171-180.
- Granier-Deferre, C., Schaal, B., & DeCasper, A.J. (2004). Les prémices foetales de la cognition. In R. Lecuyer (Ed.), *Le développement du nourrisson. Du cerveau au milieu social et du fœtus au jeune enfant*, Paris: Dunod.
- Haller, R., Rummel, C., Henneberg, S., Pollmer, U., & Köster, E. P. (1999). The influence of early experience with vanillin on food preference later in life. *Chemical senses*, 24, 465 – 467.
- Hartshorn, K. (2003). Reinstatement maintains a memory in human infants for 1.5 years. *Developmental Psychobiology*, 42, 269-282.
- Hartshorn, K. & Rovee-Collier, C. (2003). Does infant memory expression reflect age at encoding or age at retrieval? *Developmental Psychobiology*, 30, 283-291.
- Hartshorn, K., Rovee-Collier, C., Gerhardstein, P., Bhatt, R., Klein, P. J., Aaron, F., Wondoloski, T. L., & Wurtzel, N. (1998). Developmental change in the specificity of memory over the first year of life. *Developmental Psychobiology*, 33, 61-78.
- Hayne, H. (2004). Infant memory development: Implications for childhood amnesia. *Developmental review*, 24, 33-73.
- Hepper, P. G. (1994). Long-term retention of kinship recognition established during infancy in the domestic dog. *Behavioural Processes*, 33, 3-14.
- Hepper, P. G. (1995). Human fetal “olfactory learning. *The International Journal of Prenatal and Perinatal Psychology and Medicine*, 7, 147-151.
- Hermann, C., Hohmeister, J., Demirakça, S., Zohsel, K., & Flor, H. (2006). Long-term alteration of pain sensitivity in school-aged children with early pain experiences. *Pain*, 125 (3), 278-285.
- Herz, R. S. (1997). Emotion experienced during encoding enhances odor retrieval cue effectiveness. *The American Journal of Psychology*, 110 (4), 489-505.

- Herz, R. S., & Cupchik, G. C. (1995). The emotional distinctiveness of odor-evoked memories. *Chemical Senses*, 20, 517-528.
- Herz, R. S., Eliassen, J., Beland, S., & Souza, T. (2004). Neuroimaging evidence for the emotional potency of odor-evoked memory. *Neuropsychologia*, 42, 371-378.
- Herz, R. S., & Engen, T. (1996). Odor memory: Review and analysis. *Psychonomic Bulletin*, 3 (3), 300-313.
- Herz, R. S., & Schooler, J. W. (2002). A naturalistic study of autobiographical memories evoked by olfactory and visual cues: Testing the Proustian hypothesis. *The American Journal of Psychology*, 115, 21-32.
- Hildreth, K., & Hill, D. (2003). Retrieval difficulty and retention of reactivated memories over the first year of life. *Developmental Psychobiology*, 43, 216-229.
- Holley, A. (1999). *Eloge de l'odorat*. Paris: Odile Jacob.
- Howe, M. L. & Courage, M. L. (2004). Demystifying the beginnings of memory. *Developmental Review*, 24, 1-5.
- Hudson, R. (1993). Olfactory imprinting. *Current Opinion in Neurobiology*, 3, 548-552.
- Hudson, R., Schaal, B., & Bilko, A. (1999). Transmission of olfactory information from mother to young in the European rabbit. In H. O. Box & K. R. Gibson (Eds.), *Mammalian social learning: Comparative and ecological perspectives*. Symposia of the Zoological Society of London, vol 72 (pp. 141-157). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hsu, V. C. & Rovee-Collier, C. (2006). Memory reactivation in the second year of life. *Infant Behavior and Development*, 29, 91-107.
- Jehl, C. (1996). La mémoire olfactive humaine: une approche cognitive et clinique. *Psychologie Française*, 41(3), 237-250.
- Johanson, I. B., & Hall, W. G. (1982). Appetitive conditioning in neonatal rats: Conditioned orientation to an odor. *Developmental Psychobiology*, 15, 379-397.
- Kagan, J., & Hamburg, M. (1981). The enhancement of memory in the first year. *Journal of Genetic Psychology*, 138, 3-14.
- Kehoe, P., & Blass, E. M. (1986). Behaviorally functional opioid system in infant rats: I: Evidence for olfactory and gustatory classical conditioning. *Behavioral Neuroscience*, 100, 359-367.

- Kindermann, U., Hudson, R., & Distel, H. (1994). Learning of suckling odors by newborn rabbits declines with age and suckling experience. *Developmental Psychobiology*, 27 (2), 111-122.
- Kuhl, P. K. (1985). Methods in the study of infant speech perception. In G. Gottlieb and N. Krasnegor (Eds). *Measurement of audition and vision in the first year of postnatal life: A methodological overview* (pp. 223-251), Norwood, NJ: Ablex.
- Lavelli, M., & Poli, M. (1998). Early mother-infant interaction during breast- and bottle-feeding. *Infant Behavior and Development*, 21 (4), 667-683.
- Lawless, H. T., & Engen, T. (1977). Associations to odors: Interference, memories, and verbal labelling. *Journal of Experimental Psychology*, 3, 52-59.
- Learmonth, A. E., Lamberth, R., & Rovee-Collier, C. (2004). Generalization of deferred imitation during the first year of life. *Journal of Experimental Psychology*, 88, 297-318.
- Lecuyer, R. (2004). La maladie infantile de la psychologie du nourrisson : suite et fin. In R. Lecuyer (Ed.), *Le développement du nourrisson. Du cerveau au milieu social et du fœtus au jeune enfant*, Paris: Dunod.
- Lehalle, H. & Mellier, D. (2005). *Psychologie du développement. Enfance et adolescence. Cours et exercices*, 2^e édition. Paris: Dunod.
- Le Magnen, J., & Tallon, S. (1968). Préférence alimentaire du jeune rat induite par l'allaitement maternel. *Comptes Rendus des Séances de la Société de Biologie et ses Filiales*, 162, 387-390.
- Lickliter, R. (2000). Atypical perinatal sensory stimulation and early perceptual development : Insights from developmental psychobiology. *Journal of Perinatology*, 20, S45-S54.
- Lickliter, R. (2004). The aims and accomplishments of comparative psychology. *Developmental Psychobiology*, 44(1), 26-30.
- Lie, E., & Newcombe, N. S. (1999). Elementary school children's explicit and implicit memory for faces of preschool classmates. *Developmental Psychology*, 35 (1), 102-112.
- Lipsitt, L. P., Engen, T., & Kaye H. (1963). Developmental changes in the olfactory threshold of the neonate. *Child Development*, 34, 371-376.

- Liston, C. & Kagan, J. (2002). Brain development: Memory enhancement in early childhood. *Nature*, 419 (6910), 896.
- Macfarlane, A. (1975). Olfaction in the development of social preferences in the human neonate. *In parent-infant interaction, Ciba Foundation Symposium 33*, (pp.103-117), Amsterdam: Associated Scientific Publishers.
- Makin, J. W., & Porter, R. H. (1989). Attractiveness of lactating females' breast odors to neonates. *Child Development*, 60, 803-810.
- Mainardi, D., Marsan, M., & Pasquali, A. (1965). Causation of sexual preferences of house mouse. The behaviour of mice reared by parents whose odour was artificially altered. *Atti della Societa Italiana de Scienze Naturali*, 104, 325-338.
- Mainardi, M., Poli, M., & Valsecchi, P. (1989). Ontogeny of dietary selection in weaning mice effects of early experience and mother's milk. *Biology of Behaviour*, 14, 185-194.
- Mair, R. G., Harrison, L. M., & Flint, D. L. (1995). The neuropsychology of odor memory. In F. R. Schab & R. G. Crowder (Eds), *Memory for odors*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Makin, J. W., & Porter, R. H. (1989). Attractiveness of lactating females' breast odors to neonates. *Child Development*, 60, 803-810.
- Malcuit, G., Pomerleau, A., & Maurice, P. (1995). *Psychologie de l'apprentissage : termes et concepts*. Paris : Maloine.
- Marlier, L., Schaal, B., Gaugler, C., & Messer, J. (2001). Olfaction in premature human newborns: Detection and discrimination abilities two months before gestational term. In A. Marchlewska-Koj, J. Lepri, & D. Müller-Schwarze (Eds), *Chemical signals in vertebrates* (pp. 205-209). New York: Kluwer-Plenum.
- Marlier, L., & Schaal, B. (1997). Familiarité et discrimination olfactive chez le nouveau-né: influence différentielle du mode d'alimentation ? *Enfance*, 1, 47-61.
- Marlier, L., & Schaal, B. (2005). Human newborns prefer human milk: Conspecific milk odor is attractive without postnatal exposure. *Child Development*, 76, 155-168.
- Marlier, L., Schaal, B., & Soussignan, R. (1997). Orientation responses to biological odours in the human newborn. Initial pattern and postnatal plasticity. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, III, Life Sciences*, 320 (12), 999-1005.

- Marlier, L., Schaal, B., & Soussignan, R. (1998a). Neonatal responsiveness to the odor of amniotic fluid and lacteal fluids: A test of perinatal chemosensory continuity. *Child Development*, 69, 611-623.
- Marlier, L., Schaal, B., & Soussignan, R. (1998b). Bottle-fed neonates prefer an odor experienced in utero to an odor experienced postnatally in the feeding context. *Developmental Psychobiology*, 33, 133-145.
- Martin, G. N. (1996). Olfactory remediation: Current evidence and possible applications. *Social science and medicine*, 43 (1), 63-70.
- Martin, R. P., Wisenbaker, J., Backer, J., & Huttunen, M. (1997). Gender differences in temperament at 6 months and 5 years. *Infant Behavior and Development*, 20 (3), 339-347.
- Mayes, L. C. & Kessen, W. (1989). Maturation changes in measures of habituation. *Infant Behavior and Development*, 12 (4), 437-450.
- McCall, R. B., & Kagan, J. (1970). Individual differences in the infant's distribution of attention to stimulus discrepancy. *Developmental Psychology*, 2, 90-98.
- McDonough, L., & Mandler, J. M. (1994). Very long term recall in infants: Infantile amnesia reconsidered. *Memory*, 2, 339-352.
- McFarland, D. (2001). *Le comportement animal. Psychobiologie, éthologie et évolution*, 3^e édition. Paris: DeBoeck Université.
- McGurk, H. (1972). Infant discrimination of orientation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 14, 151-164.
- Mellier, D., & Rezrazi, A. (2006). Les douleurs passées ont-elles une mémoire chez les enfants? *Enfance*, 1, 40-51.
- Meltzoff, A. N. (1995). What infant memory tells us about infantile amnesia: Long term recall and deferred imitation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 59, 497-515.
- Mennella J. A., & Beauchamp G. K. (1991a). Maternal diet alters the sensory qualities of human milk and nursling's behaviour. *Pediatrics*, 88, 737-744
- Mennella J. A., & Beauchamp G. K. (1991b). The transfer of alcohol to human milk: Effects on flavor and the infant's behaviour. *The New England Journal of Medicine*, 325 (14), 981-985

- Mennella J. A., & Beauchamp G. K. (1993). The effects of repeated exposure to garlic-flavored milk on the nursing's behavior. *Pediatric Research*, 34 (6), 805-808.
- Mennella, J. A., & Beauchamp, G. K. (1996a). Developmental changes in the acceptance of protein hydrolysate formula. *Developmental and Behavioral Pediatrics*, 17 (6), 386-391.
- Mennella, J. A., & Beauchamp, G. K. (1996b). The human infants' response to vanilla flavors in human milk and formula. *Infant Behavior and Development*, 19, 13-19.
- Mennella, J. A., & Beauchamp, G. K. (1998). Infants' exploration of scented toys: Effect of prior experiences. *Chemical Senses*, 23, 11-17.
- Mennella, J. A., & Beauchamp, G. K. (1999). Experience with a flavor in mothers' milk modifies the infant's acceptance of flavored cereal. *Developmental Psychobiology*, 35, 197-203.
- Mennella, J. A., & Beauchamp, G. K. (2002). Flavor experiences during formula feeding are related to preferences during childhood. *Early Human Development*, 68, 71-82.
- Mennella, J. A., Griffin, B. S., & Beauchamp, G. K. (2004). Flavor programming during infancy. *Pediatrics*, 113, 840-845.
- Mennella, J. A., Jagnow, C. P., & Beauchamp, G. K. (2001). Prenatal and postnatal flavor learning by human infants. *Pediatrics*, 107 (6), e88.
- Michel, G. F., Harkins, D. A., & Meserve, A. L. (1990). Sex differences in neonatal state and lateralized head orientation. *Infant Behavior and Development*, 13, 461-467.
- Milner, B., Squire, L. R., & Kandel, E. R. (1998). Cognitive neuroscience and the study of memory. *Neuron*, 20, 445-468.
- Mitchell, S. C. & Smith, R. L. (2001). Trimethylaminuria: The fish malodorous syndrome. *Drug Metabolism and Disposition*, 29 (4), 517-521.
- Mizuno, K. & Ueda, A. (2004). Antenatal olfactory learning influences infant feeding. *Early Human Development*, 76, 83-90.
- Mizuno, K., Mizuno, N., Shinohara, T., & Noda, M. (2004). Mother-infant skin-to-skin contact after delivery results in early recognition of own mother's milk odor. *Acta Paediatrica*, 93, 1640-1645.
- Moeser, A. J., See, M. T., van Heugten, E., Morrow, W. E., van Kempen, T. A. (2003). Diet and evaluators affect perception of swine waste odor: An educational demonstration.

- Journal of Animal Science*, 81(12), 3211-5.
- Moriceau, S., Wilson, D. A., Levine, S., & Sullivan, R. M. (2006). Dual circuitry for odor-shock conditioning during infancy: Corticosterone switches between fear and attraction via amygdale. *The Journal of Neuroscience*, 26 (25), 6737-6748.
- Müller-Schwarze, D. & Müller-Schwarze, C. (1971). Olfactory imprinting in a precocial mammal. *Nature*, 229, 55-56.
- Myers, N. A., Clifton, R. K., & Clarkson, M. G. (1987). When they were very young: Almost threes remember two years ago. *Infant Behavior and development*, 10, 123-132.
- Nelson, K. (1994). Long-term retention of memory for preverbal experience: Evidence and implications. *Memory*, 2 (4), 467-475.
- Noldus, L. P. (1991). The Observer: A software system for collection and analysis of observational data. *Behavioral Research Methods, Instrumentation and Computers*, 23, 415-429.
- Oster, H., & Rosenstein, D. (1993). *Baby-FACS: Analyzing facial movement in infant*. Unpublished manuscript.
- Pascalis, O. (1993). *La mémoire à long terme chez le nourrisson de 4 jours à 6 mois*. Thèse de doctorat, Université de Provence, Aix Marseille I, France.
- Pascalis, O., & De Schonen, S. (1994). Recognition memory in 3 to 4 day-old human neonates. *Neuroreport*, 5 (14), 1721-1724.
- Pascalis, O., De Haan, M., Nelson, C. A., & De Schonen, S. (1998). Long-term recognition memory for faces assessed by visual paired comparison in 3- and 6- month-old infants. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition*, 24 (1), 249-260.
- Palmer, C. F. (1989). The discriminating nature of infants' exploratory actions. *Developmental Psychology*, 25 (6), 885-893.
- Perl, E., Shay, U., Hamburger, R., & Steiner, J. (1992). Taste and odor reactivity in elderly demented patients. *Chemical Senses*, 17, 779-794.
- Perchee, C. (2001). *Approche expérimentale de la mémoire olfactive: perspective développementale*. Thèse de doctorat, Université Paris X, Nanterre, France.
- Perris, E. E., Myers, N. A., & Clifton, R. K. (1990). Long term memory for a single infancy experience. *Child Development*, 61, 1796-1807.

- Peterson, C., & Whalen, N. (2001). Five years later: Children's memory for medical emergencies. *Applied Cognitive Psychology*, 15, 7-24.
- Peterson, C., Grant, V. V., & Boland, L. D. (2005). Childhood amnesia in children and adolescents: Their earliest memories. *Memory*, 13 (6), 622-637.
- Peto, E. (1936). Contribution to the development of smell feeling. In J. Rickman (Ed.), *the British Journal of Medical Psychology*, Vol. XV, part 4, (pp.314-320). London: Cambridge University Press.
- Pihet, S., Mellier, D., Bullinger, A., & Schaal, B. (1997). Réponses comportementales aux odeurs chez le nouveau-né prématuré: étude préliminaire. *Enfance*, 1, 33-46.
- Pomerleau, A. & Malcuit, G. (1983). *L'enfant et son environnement: une étude fonctionnelle de la première enfance*. Bruxelles: Mardaga.
- Porter, R.H. (2004). The biological significance of skin-to-skin contact and maternal odours. *Acta Paediatrica*, 93 (12), 1640-1645.
- Porter R. H., Cernoch J. M., & Balogh R. D. (1985). Odor signatures and kin recognition. *Physiology and Behavior*, 34, 445-448
- Porter, R. H., Makin, J. W., Davis, L. B., & Christensen, K. M. (1991). An assessment of the salient olfactory environment of formula-fed infants. *Physiology and Behavior*, 50, 907-911.
- Porter, R. H., Makin, J. W., Davis, L. B., & Christensen, K. M. (1992). Breast-fed infants respond to olfactory cues from their own mother and unfamiliar lactating females. *Infant Behavior and Development*, 15, 85- 93.
- Porter, R. H., & Schaal, B. (2003). Olfaction and development of social preferences in human infants and children. In R. L. Doty (Ed.), *Handbook of Clinical Olfaction and Gustation*, 2nd edition (pp. 309-327). New York: Marcel Dekker Inc.
- Prechtl, H. F. R. (1974). The behavioural states of the newborn infant. *Brain Research*, 76, 185-212.
- Proust, M. (1913). *À la recherche du temps perdu. Du côté de chez Swann*, Paris: La Pléiade-Gallimard.
- Rabin, M. D. (1988). Experience facilitates olfactory quality discrimination. *Perception and Psychophysics*, 44, 532-540.

- Rattaz, C., Goubet, N., & Bullinger, A. (2005). The calming effect of a familiar odor on full-term newborns. *Developmental and Behavioral Pediatrics*, 26 (2), 86-92.
- Rieser, J., Yonas, A. & Wikner, K. (1976). Radial localization of odors by human newborns. *Child Development*, 47, 856-859
- Roberts, S. C., Gosling, L. M., Spector, T. D., Miller, P., Penn, D. J., Petrie, M. (2005). Body odor similarity in noncohabiting twins. *Chemical Senses*, 30(8), 651-6.
- Rochat, P. (1989). Object manipulation and exploration in 2 to 5-month-old infants. *Developmental Psychology*, 25 (6), 871-884.
- Rochat, P. (1991). Activité tactile-orale chez le nouveau-né. In F Jouen et A. Hénocq (Eds.), *Du nouveau-né au nourrisson: recherche fondamentale et pédiatrie*, (pp. 93-105). Paris : PUF.
- Rosenstein, D., Oster, H. (1988). Differential facial responses to four basic tastes in newborns. *Child Development*, 59 (6), 1555-1568.
- Rovee-Collier, C. (1997). Dissociations in infant memory: Rethinking the development of implicit and explicit memory. *Psychological Review*, 104, 3, 467-498.
- Rovee-Collier, C., Hartshorn, K., & DiRubbo, M. (1999). Long term maintenance of infant memory. *Developmental Psychobiology*, 35, 91-102.
- Ruff, H. A. (1984). Infants' manipulative exploration of objects. Effects of age and object characteristics. *Developmental Psychology*, 20, 9-20.
- Ruff, H. A. (1986). Components of attention during infants' manipulative exploration. *Child Development*, 57,105-114.
- Ruff, H. A., Saltarelli, L. M., Capozzoli, M., & Dubiner, K. (1992). The differentiation of activity in infants' exploration of objects. *Developmental Psychology*, 28 (5), 851-861.
- Russell, M. J. (1976). Human olfactory communication. *Nature*, 260, 520-522.
- Schaal, B. (1986). Presumed olfactory exchanges between mother and neonate in humans. In J. Le Camus & J. Cosnier (Eds), *Ethology and psychology* (pp. 101-110). Toulouse: Privat, IEC.
- Schaal, B. (1988). Olfaction in infants and children: Developmental and functional perspectives. *Chemical Senses*. 13 (2), 145-190.
- Schaal, B. (1991). L'organisation de la perception olfactive au cours de la période périnatale.

- In F. Jouen & A. Henocq (Eds.), *Du nouveau-né au nourrisson*. Paris, France: PUF.
- Schaal, B. (1997). L'olfaction : développement de la fonction et fonctions au cours du développement. *Enfance*, 1, 5-20.
- Schaal, B. (2003). Les réponses olfactives de l'enfant humain: Quelques réflexions sur leur application en clinique. In C. Baudoin (Ed.), *L'Ethologie Appliquée Aujourd'hui*, Vol. 3: Ethologie humaine (pp. 105-121). Levallois-Perret : Editions ED.
- 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., 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., Coureaud, G., Moncomble, A.-S., Langlois, D., & Perrier, G. (2005). Many common odour cues and (at least) one pheromone shaping the behaviour of young rabbits: a brief survey. In P.C. Alves, K. Hackländer, & N. Ferrand (Eds), *Lagomorph Biology: Ecology, Evolution and Conservation*. Berlin: Springer.
- Schaal, B., Doucet, S., Sagot, P., Hertling, E. & Soussignan, R. (2006). Human breast areolae as scent organs: Morphological data and possible involvement in maternal-neonatal coadaptation. *Developmental Psychobiology*, 48, 100-110.
- Schaal, B., Doucet, S., Soussignan, R., Rietdorf, M., Weibchen, G. & Francke, W. (2007). The human breast as a scent organ: Exocrine structures, secretions, volatile components, and possible functions in mother-infant interactions. In R. Beynon, J. Hurst, & D. Müller-Schwarze (Eds), *Chemical Signals in Vertebrates*, Vol.11. Berlin: Springer.
- 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.
- Schaal, B., Marlier, L., & Soussignan, R. (1995). Responsiveness to the odour of amniotic fluid in the human neonate. *Biology of the Neonate*, 67, 397-406.
- Schaal, B., Marlier, L., & Soussignan, R. (2000). Human foetuses learn odours from their pregnant mother's diet. *Chemical Senses*, 25, 729-737.
- Schaal, B., Montagner, H., Hertling, E., Bolzoni, D., Moyse, A., & Quichon, R. (1980).

- Olfactory stimulations in mother-child relations. *Reproduction, Nutrition, Développement*, 20, 843-858.
- Schaal, B., Orgeur, P., & Rognon, C. (1995). Odor sensing in the human fetus: Anatomical, functional, and chemoecological bases. In J. P. Lecanuet, N. A. Krasnegor, W. Fifer, & W. P. Smotherman (Eds.), *Prenatal Development: A psychobiological Perspective*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Association.
- Schaal B., & Porter R. H. (1991). "Microsmatic Humans" revisited: The generation and perception of chemical signals. In P. Slater & J.S. Rosenblatt (Eds), *Advances in the study of behaviour*, vol. 20 (pp.135-199). Orlando, Ca: Academic Press.
- Schaal, B., Soussignan, R., & Marlier, L. (2002). Olfactory cognition at the start of life: The perinatal shaping of odour preferences. In C. Rouby, B. Schaal, D. Dubois, R. Gervais, & A. Holley (Eds.), *Olfaction, Taste and Cognition* (pp 421-440), New York: Cambridge University Press.
- Schab, F. R. (1991). Odor memory: taking stock. *Psychological Bulletin*, 109 (2), 242-251.
- Schacter, D. L., & Moscovitch, M. (1984). Infants, amnesics, and dissociable memory systems. In M. Moscovitch (Ed.), *Advances in the study of communication and affect. Vol. 9: Infant memory* (pp. 173-216). New York: Plenum.
- 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.
- Schmidt, H. (1990). Adult-like hedonic responses to odors in 9-month-old infants. *Chemical Senses*, 15, 634.
- Schmidt, H. & Beauchamp, G. K. (1988). Adult-like odor preference and aversions in three-year-old children. *Child Development*, 59, 1136-1143.
- Schmidt, H. & Beauchamp, G. K. (1989). Sex differences in responsiveness to odors in 9-month-old infants. *Chemical Senses*, 14, 744.
- Segond, H. (1997). *Développement de la spécialisation manuelle et exploration tactilo-kinesthésique des objets chez le bébé de 2, 4 et 6 mois*. Thèse de Doctorat. Villeneuve d'Ascq, France: Presses Universitaires du Septentrion.
- Self, P., Horowitz, F. D., & Paden, L. Y. (1972). Olfaction in newborn infants. *Developmental Psychology*, 7 (3), 349-363.

- Shayit, M., Nowak, R., Keller, M., Weller, A. (2003). Establishment of a preference by the newborn lamb for its mother: The role of opioids. *Behavioral Neuroscience*, 117 (3), 446-454.
- Smotherman, W. P. & Robinson, S. R. (1996). The development of behaviour before birth. *Developmental Psychology*, 32 (3), 425-434.
- Soussignan, R. (1997). Olfaction, réactivité hédonique et expressivité faciale chez l'enfant. *Enfance*, 1, 65-83.
- Soussignan, R., & Schaal, B. (1996a). Children's facial responsiveness to odors : Influences of odor valence, gender, age, and social presence. *Developmental Psychology*, 32, 367-379.
- Soussignan, R., & Schaal, B. (1996b). Forms and social signal value of smiles associated with pleasant and unpleasant sensory experience. *Ethology*, 102, 1020-1041.
- Soussignan, R., & Schaal, B. (2001). Les systèmes émotionnels chez le nouveau-né humain: invariance et malléabilité des réponses aux odeurs. *Enfance*, 3, 236-246.
- Soussignan, R., Schaal, B., & Marlier, L. (1999). Olfactory alliesthesia in human neonates: Prandial state modulates facial and autonomic responses to milk odors. *Developmental Psychobiology*, 35, 3-14.
- Soussignan, R., Schaal, B., Marlier, L., & Jiang, T. (1997). Facial and autonomic responses to biological and artificial olfactory stimuli in human neonates: re-examining early hedonic discrimination of odors. *Physiology and Behavior*, 62, 745-758.
- Squire, L. R., & Zola-Morgan, S. (1988). Memory: Brain systems and behavior. *Trends in Neurosciences*, 11, 170-175.
- Steele, D., & Pederson, D. R. (1977). Stimulus variables which affect the concordance of visual and manipulative exploration in six-month-old infants. *Child Development*, 48 (1), 104-111.
- Steiner, J.E. (1977). Facial expressions of the neonate infant indicating the hedonics of food-related chemical stimuli. In J. M. Weiffenbach (Ed.), *Taste and development. The genesis of sweet preference* (pp. 173-188). Bethesda: DHEW.
- Steiner J. E. (1979). Human facial expressions in response to taste and smell stimulation. *Advances in Child Development and Behavior*, 13, 257-295.
- Stirnemann, F. (1936). Le goût et l'odorat du nouveau-né. *Revue française de pédiatrie*, Tome

- XII (4), 453-485.
- Streri, A. (2004) Quelques réflexions sur les performances néonatales. In R. Lecuyer (Ed.), *Le développement du nourrisson. Du cerveau au milieu social et du fœtus au jeune enfant*, Paris: Dunod.
- Sullivan, R. M. (1990). Newborn infants exhibit CR's to an odor previously paired with either breast or bottle-feeding. *Annual Meeting of the International Society for Developmental Psychobiology*, Cambridge, UK.
- Sullivan, R. M., Taborsky-Barba, S., Mendoza, R., Itano, A., Leon, M., Cotman, C. W., Payne, T. F., & Lott, I. (1991). Olfactory classical conditioning in neonates. *Pediatrics*, 87, 511-518.
- 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., Landers, M., Yeaman, B. & Wilson, D. A. (2000). Good memories of bad events in infancy. *Nature*, 407, 38-39.
- Swain, I., Zelazo, P. R., & Clifton, R. K. (1993). Newborn infants' memory for speech sounds retained over 24 hours. *Developmental Psychology*, 29, 312-323.
- Taddio, A., Goldbach, M., Ipp, M., Stevens, B., & Koren, G. (1995). Effect of neonatal circumcision on pain responses during vaccination in boys. *The Lancet*, 345, 291-292.
- Thorndike, E. L. (1905). *The elements of psychology*. New York: Seiler.
- Tiberghien, G. (1997). *La mémoire oubliée*. Liège: Mardaga.
- Tulving, E. (1983). *Elements of episodic memory*. New York: Oxford University Press.
- Ungerer, J., Brody, L. R., & Zelazo, P. R. (1978). Long-term memory for speech in 2- to 4-week-old infants. *Infant Behavior and Development*, 1, 127-140.
- Varendi, H., & Porter, R. H. (2001). Breast odour as the only maternal stimulus elicits crawling towards the odour source. *Acta Paediatrica*, 90, 372-375.
- Varendi, H., Porter, R. H., & Winberg, J. (1994). Does the newborn baby find the nipple by smell? *The Lancet*, 344, 989-990.
- Varendi, H., Porter, R. H., & Winberg, J. (1996). Attractiveness of amniotic fluid odor: Evidence of prenatal learning? *Acta Paediatrica*, 85, 1223-1227.

- Vauclair, J. (2004). *Développement du jeune enfant. Motricité, perception, cognition*. Paris: Belin.
- Wallace, P. (1977). Individual discrimination of human by odor. *Physiology and Behavior*, 19, 577-579.
- Weller, A., & Blass, E. M. (1990). Cholecystokinin conditioning in rats: Ontogenetic determinants. *Behavioral Neuroscience*, 104 (1), 199-206.
- Weller, A., Tsitolovskya, L., Gispan, I. H., & Rabinovitz, S. (2001). Examining the role of cholecystokinin in appetitive learning in the infant rat. *Peptides*, 22, 1317-1323.
- Wendland-Carro, J., Piccinini, C. A., & Millar, W. S. (1999). The role of an early intervention on enhancing the quality of mother-infant interaction. *Child Development*, 70 (3), 713-721.
- Widström, A.-M., Ransjö-Arvidson, A. B., Christensson, K., Matthiesen, A.-S., Winberg, J., & Uvnäs-Moberg, K. (1987). Gastric suction in healthy newborn infants. Effects on circulation and developing feeding behaviour. *Acta Paediatrica Scandinavia*, 76, 566-572.
- Willander, J., & Larsson, M. (2006). Smell your way back to childhood: Autobiographical odor memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13 (2), 240-244.
- Wilson, D. A. & Stevenson, R. J. (2003). The fundamental role of memory in olfactory perception. *Trends in Neurosciences*, 26 (5), 243-247.
- Woo, C. C., & Leon, M. (1987). Sensitive period for neural and behavioural response development to learned odors. *Developmental Brain Research*, 36, 309-313.
- Zelazo, P. R., Weiss, M., Randolph, M., Swain, I. & Moore, D. (1987). The effect of delay on neonatal retention of habituated head-turning. *Infant Behavior and Development*, 10, 417-434.

ANNEXES

Annexe 1 : corrélations entre les scores de réponses comportementales différentielles et diverses variables indépendantes au cours des Expériences 1 à 5.

Expérience	Variable indépendante	Nombre d'orientations	Durée d'orientation	Durée d'activité buccale
1	Durée de conservation	0.04	-0.09	-0.66*
	Délai entre la dernière tétée et le test	-0.24	0.51	0.27
2	Durée de conservation	0.23	0.24	0.10
	Délai entre la dernière tétée et le test	-0.05	0.02	0.14
3	Durée de conservation	0.33	0.30	0.32
	Délai entre la dernière tétée et le test	-0.004	-0.24	0.10
4	Durée de conservation	0.34	0.46	0.37
5	Durée de conservation	0.14	0.13	0.03
	Délai entre la dernière tétée et le test	-0.48	0.30	0.30

¹ coefficient de corrélation de Pearson

* : $p < 0.05$

Annexe 3 : questionnaire d'évaluation de la quantité d'exposition à différentes zones corporelles maternelles en dehors de la tétée.

Nom, prénom de bébé :

Date de naissance : / / Heure :h.....

		<i>CONTACT</i>										Durée totale
		<i>J1</i>		<i>J2</i>		<i>J3</i>		<i>J4</i>		<i>J5</i>		
		CD / CI*	Durée	CD / CI*	Durée	CD / CI*	Durée	CD / CI*	Durée	CD / CI*	Durée	
N U I T	Au niveau du cou											
	Portage dans les bras											
	Autre											
J O U R	Au niveau du cou											
	Portage dans les bras											
	Autre											

* : **CD** : contact direct du nez de l'enfant avec la peau maternelle

CI : contact indirect du nez de l'enfant avec la peau lorsque la mère porte un vêtement

Annexe 4 : questionnaire d'évaluation de l'utilisation de la pommade à la camomille par les mères des enfants exposés à cette pommade pendant les tétées précoces (enfants Ca+).

Après votre séjour à la maternité avez-vous continué à appliquer la pommade ?

oui / non

Si oui, jusqu'à quand l'avez-vous appliquée ?

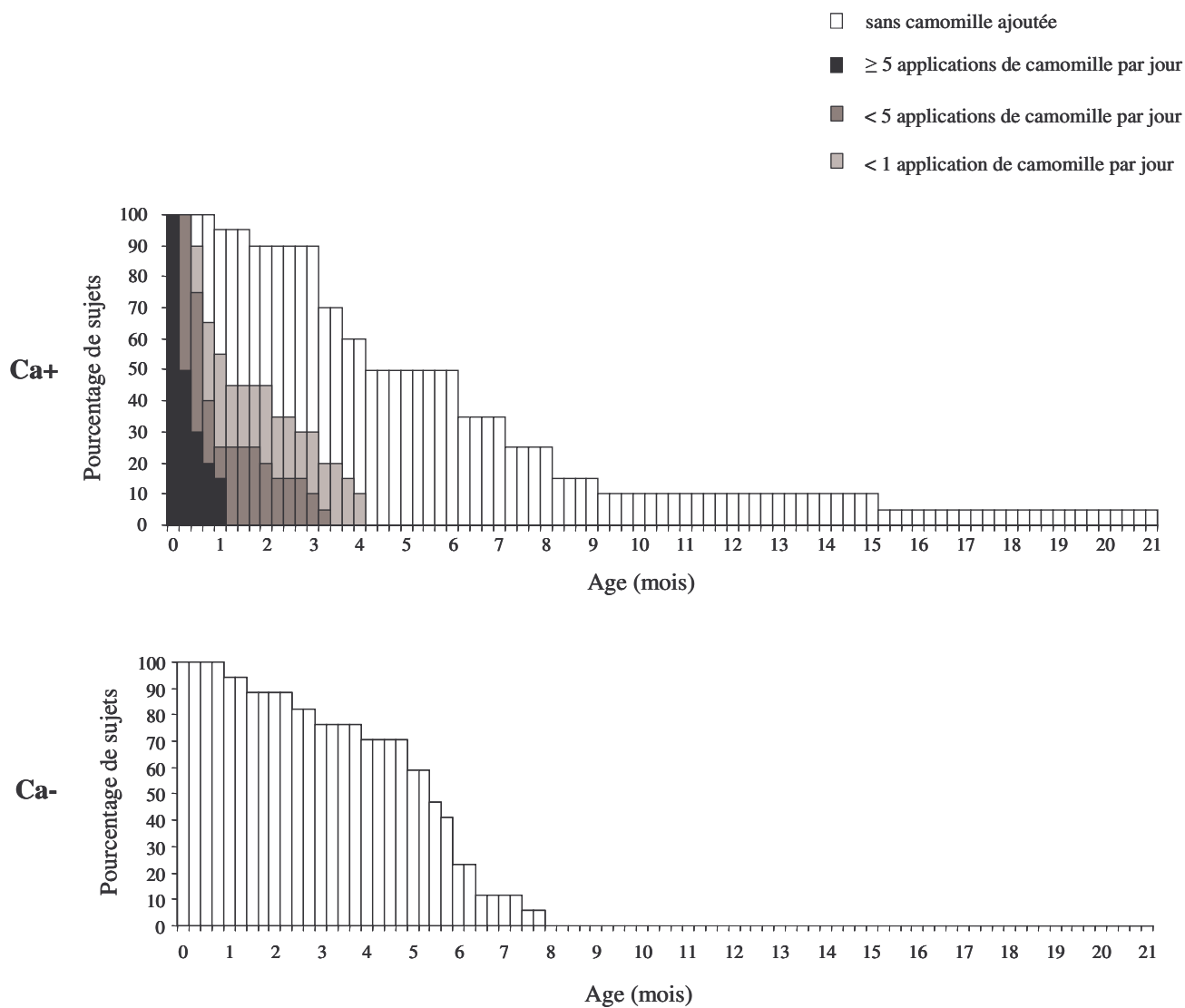
jusqu'à quelle date ? .../.../...

ou jusqu'à ce que votre enfant ait quel âge : ...mois...semaines...jours

Précisez à quelle(s) fréquence(s) vous avez appliqué la pommade depuis votre retour chez vous en indiquant à côté pendant combien de temps cette fréquence d'application a été maintenue :

+ de 10 fois par jour	durée : ...mois...semaines...jours ou période du : .../.../... au .../.../...
de 5 à 10 fois par jour	durée : ...mois...semaines...jours ou période du : .../.../... au .../.../...
de 1 à 5 fois par jour	durée : ...mois...semaines...jours ou période du : .../.../... au .../.../...
de 1 à 6 fois par semaine	durée : ...mois...semaines...jours ou période du : .../.../... au .../.../...
de 1 à 3 fois par mois	durée : ...mois...semaines...jours ou période du : .../.../... au .../.../...

Annexe 5 : taux d'allaitement au sein et taux d'exposition à la camomille dans ce contexte en fonction de l'âge pour le sous-groupe d'enfants exposés (Ca+, n = 20) et pour le sous-groupe d'enfants non exposés (Ca-, n = 17).



Annexe 6 : questionnaire d'évaluation de l'utilisation de différentes classes de produits contenant de la camomille (en dehors de la pommade destinée à la protection des régions aréolaire et mamillaire du sein).

Alimentaires

Granules à diluer dans le lait :

Bébé très souvent souvent parfois peu jamais

Tisane à la camomille :

Bébé très souvent souvent parfois peu jamais

Maman (si allaitante)

très souvent souvent parfois peu jamais

Tisanes à un mélange de plantes (dont camomille) :

Bébé très souvent souvent parfois peu jamais

Maman (si allaitante)

très souvent souvent parfois peu jamais

Cosmétiques

Crème corps, visage ou mains :

Bébé très souvent souvent parfois peu jamais

Maman

très souvent souvent parfois peu jamais

Autres membres de la famille

très souvent souvent parfois peu jamais

Gel douche / shampoing :

Bébé très souvent souvent parfois peu jamais

Maman

très souvent souvent parfois peu jamais

Autres membres de la famille

très souvent souvent parfois peu jamais

Pharmaceutiques

Sirop :

Bébé très souvent souvent parfois peu jamais

Maman

très souvent souvent parfois peu jamais

Autres membres de la famille

très souvent souvent parfois peu jamais

Chamomilla diluée (phytothérapie) :

Bébé très souvent souvent parfois peu jamais

Autres

préciser lesquels :

Quel membre de la famille très souvent souvent parfois peu jamais

Annexe 7 : questionnaire d'évaluation de la consommation de différentes classes de produits à la violette.**Alimentaires**

Bonbons :
Bébé très souvent souvent parfois peu jamais

Maman (si allaitante) très souvent souvent parfois peu jamais

Sirop :
Bébé très souvent souvent parfois peu jamais

Maman (si allaitante) très souvent souvent parfois peu jamais

Cosmétiques

Savon, gel douche, shampoing :
Bébé très souvent souvent parfois peu jamais

Maman très souvent souvent parfois peu jamais

Autre membre de la famille très souvent souvent parfois peu jamais

Eau toilette :
Bébé très souvent souvent parfois peu jamais

Maman (si allaitante) très souvent souvent parfois peu jamais

Autre membre de la famille très souvent souvent parfois peu jamais

Ménager

Parfum ambiant très souvent souvent parfois peu jamais

Encens très souvent souvent parfois peu jamais

Autres

précisez lesquels :

Quel membre de la famille très souvent souvent parfois peu jamais

Annexe 8 : effets interactifs odeur x exposition précoce obtenus Expérience 9.

Durées et occurrences moyennes (\pm écart type) des items comportementaux exprimés par les jeunes enfants de 7 mois exposés ou non à la camomille en réponse à chacun des objets de test différemment odorisés (Expérience 9).

Items de réponse à l'objet		Groupe	Odeur de l'objet			Interaction odeur x exposition ¹
			Camomille	Violette	Inodore	
Regard	Durée (sec)	Ca+	22.69 \pm 14.29	23.04 \pm 11.64	22.06 \pm 12.76	F(2, 66) = 0.20 p > 0.05
		Ca-	21.50 \pm 12.66	20.64 \pm 14.99	22.32 \pm 9.87	
	Occurrences	Ca+	6.95 \pm 3.23	7.2 \pm 3.24 [•]	6.15 \pm 2.77	F(2, 66) = 4.94 p = 0.01
		Ca-	6.65 \pm 3.50*	4.71 \pm 2.62 ^{°°}	7.06 \pm 2.82	
Manipulation	Durée (sec)	Ca+	58.55 \pm 3.1	52.80 \pm 12.6	56.41 \pm 10.04	F(2, 66) = 2.36 p > 0.05
		Ca-	53.16 \pm 10.93	55.3 \pm 7.31	55.29 \pm 11.08	
	Occurrences	Ca+	2.65 \pm 3.59	2.50 \pm 3.20	1.85 \pm 1.66	F(2, 66) = 1.13 p > 0.05
		Ca-	3.29 \pm 5.06	2.65 \pm 2.21	3.71 \pm 5.35	
Secouement	Durée (sec)	Ca+	5.67 \pm 6.71	7.76 \pm 8.64	7.69 \pm 8.85	F(2, 66) = 0.79 p > 0.05
		Ca-	5.25 \pm 6.79	4.52 \pm 6.73	4.98 \pm 6.66	
	Occurrences	Ca+	2.55 \pm 2.54	2.95 \pm 3.19	2.35 \pm 2.37	F(2, 66) = 1.20 p > 0.05
		Ca-	2.12 \pm 2.57	1.53 \pm 2.18	1.94 \pm 2.61	
Contact buccal	Durée (sec)	Ca+	23.31 \pm 16.26 ⁺⁺	13.18 \pm 16.46	19.62 \pm 14.56	F(2, 66) = 7.82 p < 0.001
		Ca-	14.41 \pm 14.36*	22.60 \pm 18.0	19.04 \pm 17.08	
	Occurrences	Ca+	5.15 \pm 3.39 ^{••}	3.30 \pm 3.16	4.0 \pm 2.34	F(2, 66) = 4.41 p = 0.01
		Ca-	2.82 \pm 2.16 ^{*+}	4.0 \pm 2.45	4.12 \pm 2.96	
Mise en bouche	Durée (sec)	Ca+	19.55 \pm 15.33 ^{**}	10.56 \pm 14.72	16.26 \pm 13.6	F(2, 66) = 6.35 p = 0.003
		Ca-	12.27 \pm 13.79	18.77 \pm 16.50	15.50 \pm 14.70	
	Occurrences	Ca+	4.5 \pm 3.42 [•]	2.65 \pm 2.98	3.25 \pm 2.40	F(2, 66) = 3.94 p = 0.02
		Ca-	2.53 \pm 2.0 ⁺	3.06 \pm 2.54	3.76 \pm 2.82	
Vocalisation	Durée (sec)	Ca+	3.08 \pm 5.12	4.68 \pm 7.71	2.16 \pm 3.77	F(2, 66) = 0.17 p > 0.05
		Ca-	3.89 \pm 5.16	6.09 \pm 7.79	4.90 \pm 4.82	
	Occurrences	Ca+	1.80 \pm 2.48	2.60 \pm 3.20	1.40 \pm 2.04	F(2, 66) = 1.25 p > 0.05
		Ca-	3.06 \pm 4.12	2.88 \pm 2.91	3.24 \pm 3.49	

Ca+: enfants exposés à la camomille en association à l'allaitement au sein, Ca-: enfants non exposés à la camomille.

¹ ANOVA 3 facteurs (odeur x exposition x sexe)

Comparaison sous-groupes Ca+ et Ca- (test t) : • : p \leq .05, •• : p \leq .01 .

Comparaison objet camomille versus objet violette (test t) : * : p \leq .05, ** : p < .01.

Comparaison objet camomille versus objet témoin (test t) : ⁺ : p \leq .05, ⁺⁺ : p < .01.

Comparaison objet violette versus objet témoin (test t) : ^{°°} : p < .01.

Annexe 9 : effets principaux du facteur sexe obtenus Expérience 9.

Durées et occurrences moyennes (\pm écart type) des réponses adressées à l'objet de test chez les garçons et filles à l'âge de 7 mois.

Items de réponses à l'objet		Filles	Garçons	Effet de sexe ¹
Regard	Durée (s)	20.11 \pm 12.52	24.17 \pm 12.35	F(1, 33) = 1.34 p > 0.05
	Occurrences	6.12 \pm 3.14	6.85 \pm 3.03	F(1, 33) = 0.64 p > 0.05
Manipulation	Durée (s)	55.86 \pm 10.12	54.71 \pm 9.22	F(1, 33) = 0.44 p > 0.05
	Occurrences	1.73 \pm 1.36	3.79 \pm 4.85	F(1, 33) = 4.83 p = 0.03
Secouement	Durée (s)	3.81 \pm 5.51	8.45 \pm 8.49	F(1, 33) = 5.44 p = 0.02
	Occurrences	1.52 \pm 1.94	3.05 \pm 2.95	F(1, 33) = 4.46 p = 0.04
Contact buccal	Durée (s)	23.27 \pm 15.94	13.87 \pm 15.22	F(1, 33) = 4.49 p = 0.04
	Occurrences	4.70 \pm 2.56	3.09 \pm 2.89	F(1, 33) = 6.50 p = 0.01
Mise en bouche	Durée (s)	19.01 \pm 14.93	11.76 \pm 13.87	F(1, 33) = 3.15 p = 0.085
	Occurrences	3.84 \pm 2.49	2.74 \pm 2.97	F(1, 33) = 2.88 p > 0.05
Vocalisation	Durée (s)	4.49 \pm 6.57	3.67 \pm 3.09	F(1, 33) = 0.31 p > 0.05
	Occurrences	2.95 \pm 2.89	2.15 \pm 3.63	F(1, 33) = 1.34 p > 0.05

¹ ANOVA 3 facteurs (odeur x exposition x sexe).

Annexe 10 : évaluation des habitudes de consommation de produits à la vanille et réponses hédoniques mesurées envers cette odeur en fonction de la fréquence d'exposition.

Questionnaire de consommation

Alimentaires

Bébé	très souvent	souvent	parfois	peu	jamais
Maman (pendant allaitement)	très souvent	souvent	parfois	peu	jamais

Cosmétiques

Bébé	très souvent	souvent	parfois	peu	jamais
Autre membre de la famille	très souvent	souvent	parfois	peu	jamais

Autres

Préciser quel produit	très souvent	souvent	parfois	peu	jamais
Concerne quel membre de la famille ?					

Scores de consommation de vanille

Sujets	Score d'utilisation de différentes classes de produits contenant de la vanille ¹			Score global d'utilisation ²	Mimique d'aversion
	Alimentaires	Cosmétiques	Autres		
1	4	0	2	6	0
2	3	0	0	3	0
3	4	2	2	8	0
4	3	0	0	3	1
5	4	2	2	8	0
6	4	0	0	4	1
7	2	2	0	4	1
8	4	2	2	8	0
9	4	0	0	4	0
10	2	0	0	2	-
11	3	2	0	5	0
12	2	0	0	2	1
13	2	2	0	4	1
14	4	0	0	4	-
15	4	0	0	4	0
16	1	0	0	1	0
17	3	2	0	5	0
18	4	2	0	6	0
19	2	0	0	2	0

¹score attribué en fonction de la fréquence de consommation par l'enfant de produits contenant de la vanille (alimentaires, cosmétiques ou autres) sur la base des réponses au questionnaire.

Le score est de 4 si l'enfant en consomme très souvent, 3 si souvent, 2 si parfois, 1 si peu, 0 si jamais.

²score global correspondant à la somme des scores attribués pour chaque classe de produits.

Annexe 11 : ensemble des réponses hédonique individuelles exprimées envers les stimulations olfactives testées Expérience 10 A.

Expression d'au moins une mimique faciale aversive face à chacune des stimulations olfactives présentées

Groupe	Sujets	Sexe	Camomille	Violette	Vanille	Acide butyrique	Base	Huile	Eau
Ca+	1	F	0	0	1	1	1	1	1
	2	F	0	0	0	1	1	0	1
	3	F	0	0	0	1	0	0	0
	4	F	1	0	0	1	0	0	0
	5	F	0	0	1	1	1	0	1
	6	F	0	0	0	0	1	1	0
	7	G	0	0	1	1	1	0	1
	8	G	0	0	0	0	0	0	1
	9	G	0	0	0	0	0	0	0
Ca-	1	F	0	0	0	0	0	0	0
	2	F	1	1	0	-	-	1	0
	3	F	1	0	0	0	0	0	1
	4	F	1	0	1	1	1	0	0
	5	F	1	1	1	-	0	-	0
	6	G	1	1	0	1	0	1	0
	7	G	1	0	-	1	1	1	1
	8	G	1	0	0	1	1	0	1
	9	G	0	0	-	1	0	-	1
	10	G	1	0	0	1	0	1	0

Ca+: enfants exposés à la camomille en association à l'allaitement au sein, Ca-: enfants non exposés à la camomille.

- odeur non échantillonnée

Annexe 12 : effets interactifs odeur x exposition précoce obtenus Expérience 10 B.

Durées et occurrences moyennes (\pm écart type) des items comportementaux exprimés par les enfants de 21 mois exposés ou non à la camomille en réponse à chacun des objets de test différemment odorisés (Expérience 10 B).

Items de réponse à l'objet		Groupe	Odeur de l'objet			Interaction odeur x exposition ¹
			Camomille	Violette	Inodore	
Regard	Durée (sec)	Ca+	21.49 \pm 10.49	17.25 \pm 9.56	16.25 \pm 10.35	F(2, 44) = 0.80 p > 0.05
		Ca-	14.33 \pm 6.47	15.18 \pm 10.25	12.81 \pm 9.23	
	Occurrences	Ca+	3.93 \pm 1.54	4.29 \pm 1.59	3.50 \pm 1.79	F(2, 44) = 0.45 p > 0.05
		Ca-	4.0 \pm 2.09	4.08 \pm 2.07	3.08 \pm 1.78	
Regard vers la mère	Durée (sec)	Ca+	1.24 \pm 2.59	0.83 \pm 1.36	1.44 \pm 2.47	F(2, 44) = 2.09 p > 0.05
		Ca-	2.70 \pm 5.10	1.29 \pm 2.57	0.41 \pm 0.81	
	Occurrences	Ca+	0.36 \pm 0.63	0.43 \pm 0.65	0.79 \pm 1.12	F(2, 44) = 2.58 p > 0.05
		Ca-	0.75 \pm 1.36	0.50 \pm 0.80	0.25 \pm 0.45	
Manipulation	Durée (sec)	Ca+	32.75 \pm 11.56	29.11 \pm 12.43	33.10 \pm 10.47	F(2, 44) = 0.53 p > 0.05
		Ca-	25.72 \pm 15.92	28.99 \pm 15.06	27.81 \pm 13.18	
	Occurrences	Ca+	4.36 \pm 2.71	3.29 \pm 2.61	4.14 \pm 3.59	F(2, 44) = 1.72 p > 0.05
		Ca-	2.25 \pm 1.71	3.50 \pm 1.62	3.58 \pm 2.61	
Enlacement	Durée (sec)	Ca+	5.04 \pm 9.27	0.16 \pm 0.30	2.91 \pm 4.61	F(2, 44) = 1.45 p > 0.05
		Ca-	2.46 \pm 4.49	1.65 \pm 3.59	3.83 \pm 6.14	
	Occurrences	Ca+	1.43 \pm 2.47	0.07 \pm 0.27	1.43 \pm 1.83	F(2, 44) = 0.83 p > 0.05
		Ca-	1.25 \pm 2.09	0.42 \pm 0.90	0.75 \pm 0.87	
Contact facial	Durée (sec)	Ca+	3.28 \pm 3.93*	0.33 \pm 0.62 ^{oo}	2.79 \pm 3.90	F(2, 44) = 4.0 p = 0.025
		Ca-	1.17 \pm 3.0	3.34 \pm 7.29	1.35 \pm 2.22	
	Occurrences	Ca+	1.79 \pm 1.89*	0.50 \pm 0.94 ^o	2.14 \pm 2.71	F(2, 44) = 4.09 p = 0.023
		Ca-	0.66 \pm 1.50	0.66 \pm 0.98	0.92 \pm 1.38	
Vocalisation	Durée (sec)	Ca+	7.21 \pm 5.63	4.54 \pm 4.08	4.69 \pm 3.68	F(2, 44) = 1.28 p > 0.05
		Ca-	4.03 \pm 5.11	4.87 \pm 5.53	4.73 \pm 4.78	
	Occurrences	Ca+	4.07 \pm 1.94	3.93 \pm 3.52	3.86 \pm 3.46	F(2, 44) = 0.08 p > 0.05
		Ca-	3.08 \pm 3.20	3.75 \pm 4.29	3.33 \pm 4.42	
Vocalisation à la mère	Durée (sec)	Ca+	1.50 \pm 2.23	0.62 \pm 1.92	0.63 \pm 2.07	F(2, 44) = 0.11 p > 0.05
		Ca-	0.79 \pm 2.50	0.81 \pm 2.04	0.71 \pm 1.66	
	Occurrences	Ca+	0.64 \pm 1.22	0.50 \pm 1.61	0.29 \pm 0.83	F(2, 44) = 0.01 p > 0.05
		Ca-	0.50 \pm 1.45	0.42 \pm 0.90	0.33 \pm 0.89	

Ca+: enfants exposés à la camomille en association à l'allaitement au sein, Ca-: enfants non exposés à la camomille.

¹ ANOVA 3 facteurs (odeur x exposition x sexe)

Comparaison objet camomille versus objet violette (test t) : * : p < .05.

Comparaison objet violette versus objet témoin (test t) : ° : p = 0.08 ; °° : p = 0.046.

Annexe 13 : corrélations entre les réponses manifestées envers la camomille et les caractéristiques de l'exposition précoce à cette odeur.

Coefficients de corrélation de Pearson calculés entre les réponses mesurées envers l'objet camomille et le nombre total, la durée de la période d'exposition et le délai écoulé entre la dernière exposition et le test chez les enfants ayant été exposés à la camomille au cours des tétées précoces (Ca+).

Interaction avec l'objet camomille		Nombre total d'expositions	Durée de la période globale d'exposition	Délai entre la dernière exposition et le test
Expérience 9 (n = 20)				
Regard	Occurrences	0.04 ns	0.17 ns	-0.26 ns
	Durées (sec)	-0.20 ns	-0.23 ns	0.24 ns
Manipulation	Occurrences	-0.15 ns	-0.35 ns	0.42 ns
	Durées (sec)	0.12 ns	0.32 ns	-0.36 ns
Secouement	Occurrences	-0.07 ns	0.15 ns	-0.22 ns
	Durées (sec)	0 ns	-0.01 ns	-0.23 ns
Contact buccal	Occurrences	0.02 ns	0.27 ns	-0.25 ns
	Durées (sec)	0.11 ns	0.04 ns	-0.02 ns
Mise en bouche	Occurrences	0.12 ns	0.20 ns	-0.19 ns
	Durées (sec)	0.14 ns	0.05 ns	0.02 ns
Vocalisations	Occurrences	0.12 ns	0.36 ns	-0.30 ns
	Durées (sec)	0.22 ns	0.23 ns	-0.18 ns
Expérience 10 B (n = 14)				
Regard	Occurrences	-0.41 ns	0.04 ns	-0.22 ns
	Durées (sec)	-0.04 ns	0.24 ns	0.36 ns
Manipulation	Occurrences	0.24 ns	-0.16 ns	-0.05 ns
	Durées (sec)	0.04 ns	-0.18 ns	0.17 ns
Enlacement	Occurrences	0.27 ns	-0.12 ns	-0.16 ns
	Durées (sec)	0.25 ns	-0.06 ns	-0.33 ns
Contact facial	Occurrences	-0.06 ns	-0.25 ns	0.02 ns
	Durées (sec)	0.24 ns	-0.1 ns	-0.32 ns
Vocalisations	Occurrences	-0.07 ns	0.40 ns	-0.34 ns
	Durées (sec)	0.10 ns	-0.17 ns	-0.35 ns
Expérience 10 C (n = 19)				
Score de choix		0.28 ns	0.22 ns	0.27 ns
Quantité d'eau ingérée		0.22 ns	-0.16 ns	0.23 ns

ns : $p > 0.05$

Annexe 14 : corrélations entre les différentes réponses comportementales manifestées Expérience 9 et Expérience 10 B.

Coefficients de corrélation de Pearson calculés entre les durées ou occurrences des items de réponse d'interaction avec l'objet odorisé à la camomille mesurées à 7 mois (Expérience 9) et mesurées à 21 mois (Expérience 10 B).

Durées	Réponses à 21 mois (Expérience 10 B)			
Réponses à 7 mois	Regard	Manipulation	Enlacement	Contact facial
Regard	0.36°	0.04	0.01	0.04
Manipulation	0.10	0.11	0.19	0.20
Secouement	-0.28	-0.28	-0.03	-0.02
Contact buccal	-0.05	0.14	0.17	0.01
Mise en bouche	-0.11	0.11	0.16	-0.04

° : p = 0.07

Occurrences	Réponses à 21 mois (Expérience 10 B)			
Réponses à 7 mois	Regard	Manipulation	Enlacement	Contact facial
Regard	0.01	-0.03	0.13	-0.01
Manipulation	0.09	0.16	-0.08	0.06
Secouement	-0.15	0.21	-0.13	0.13
Contact buccal	-0.08	-0.05	0.22	0.14
Mise en bouche	-0.11	-0.12	0.23	0.09

Coefficients de corrélation de Pearson calculés entre les durées ou occurrences des items de réponse d'interaction avec l'objet odorisé à la violette mesurées à 7 mois (Expérience 9) et mesurées à 21 mois (Expérience 10 B).

Durées	Réponses à 21 mois (Expérience 10 B)			
Réponses à 7 mois	Regard	Manipulation	Enlacement	Contact facial
Regard	0.04	0.02	-0.06	0.02
Saisie	-0.30	-0.12	0.05	0.13
Secouement	0.28	-0.06	-0.10	-0.12
Contact buccal	-0.11	0.07	0.04	-0.24
Mise en bouche	-0.09	0.10	0.07	-0.24

Occurrences	Réponses à 21 mois (Expérience 10 B)			
Réponses à 7 mois	Regard	Manipulation	Enlacement	Contact facial
Regard	0.14	-0.09	-0.11	-0.25
Manipulation	0.27	0.004	-0.19	-0.13
Secouement	0.36	0.24	-0.26	0.12
Contact buccal	0.15	-0.31	0.04	-0.06
Mise en bouche	0.23	-0.19	0.13	-0.14

RESUME - L'expérience sensorielle du nouveau-né et sa rétention à long terme: une analyse expérimentale de l'apprentissage des odeurs chez l'enfant humain

Les mécanismes et la dynamique temporelle de la mémoire olfactive chez l'enfant humain restent mal connus. Leur compréhension est pourtant utile à l'explication du développement des préférences olfactives et de leur influence à long terme. Ce travail vise à examiner le développement des réponses sélectives envers les odeurs et leur rétention après des délais variant de quelques heures à plus d'un an. La démarche, à la fois expérimentale et "naturaliste", met à profit un contexte d'apprentissage écologique: la tétée au sein. Elle comporte 3 objectifs: 1) confirmer l'acquisition néonatale des odeurs naturelles du sein maternel; 2) mettre en évidence l'acquisition d'une odeur artificielle lors des premiers épisodes de tétée; 3) évaluer la rétention à très long terme de l'odeur acquise au sein au cours des premières semaines postnatales.

1) Le nouveau-né de 3-4 jours détecte les odeurs maternelles. Toutefois, la présentation (tests de double-choix) de substrats odorants d'origine mammaire (sein, sécrétions aréolaires, lait) et non mammaire (cou) donne lieu à des réponses indifférenciées: les nouveau-nés sont également attirés vers ces odeurs naturelles distinctes. Cette équivalence hédonique est explicable soit par la présence d'odorants communs aux substrats échantillonnés, soit par leur association à des renforcements similaires. 2) L'utilisation locale d'une pommade appliquée sur le sein a été mise à profit pour analyser l'acquisition d'un odorant exogène (camomille) pendant la tétée. Cet odorant engage une préférence olfactive chez les enfants qui y ont été exposés au sein pendant 3-4 jours, mais pas chez des enfants qui n'y ont pas été exposés. La camomille devient aussi attractive que le lait au bout de 3-4 jours si, en moyenne, 50% des tétées sont associée à la camomille. En somme, l'association d'odorants distincts aux mêmes renforcements peut déterminer un niveau d'attraction similaire. 3) La rétention de l'odeur de camomille acquise lors des premières semaines de tétées est effective lors de tests réalisés à 6-8 et à 18-23 mois. Différentes épreuves olfactives adaptées aux différents âges montrent que les enfants retiennent l'odeur exogène pendant au moins 15.5-22.5 mois après cessation de l'exposition.

Ces résultats démontrent que: le nouveau-né humain est attentif aux propriétés olfactives de sa mère, et que la tétée au sein est favorable à l'établissement de préférences olfactives multiples. Les préférences olfactives acquises au sein sont suffisamment stables pour pouvoir être retenues pendant plus d'un an. Elles sont donc en mesure d'influencer les comportements ultérieurs de choix alimentaires ou sociaux.

ABSTRACT – Sensory experience in the newborn infant and its long term retention: An experimental analysis of odour learning in human newborn

Our understanding of the mechanisms and timing of early olfactory memory remains scarce in humans. Their appreciation may be useful, however, to explain how the earliest odour preferences develop and whether these can influence behaviour in the long run. The present research aims at assessing the development of selective responses to odours and their endurance over spans ranging from hours to over a year. The methodological approach is experimental and "naturalistic" as it exploits a highly ecological learning context, breastfeeding. Three objectives are pursued: 1) Confirming that newborns can acquire the natural odours of their mother's breast; 2) Assessing whether an artificial odorant put on the breast is encoded and retained for several hours; 3) Evaluating the long term retention of the olfactory experience received while suckling during the first weeks of life. The results are as follows:

1) 3-4 day-old newborn detects various odorous substrates from the mother's breast (breast odour, areolar secretions, milk) or neck. However, the simultaneous presentation of these distinct substrates releases undifferentiated responses. Thus, newborns' attraction toward these mammary and non mammary substrates is nearly equivalent, suggesting either that they carry common compounds or that they were all associated with similar reinforcing events. 2) Advantage was taken of a local practice consisting in coating breasts with a scented pomade, thus exposing the nursling to the odour of camomile. Such exposure leads to the establishment of a significant preference for camomile in the exposed group of 3-4 day-old newborns, but not in a non exposed group matched in age. The attractiveness of camomile equals that of the mother's milk after on average 50% of nursing episodes with camomile present. Thus, a common reinforcing context can lead to similar attraction responses. 3) Evidence for long term retention of the camomile odour acquired during the first weeks of breastfeeding can be detected in age-adequate tests made at 6-8 and on 18-23 month-old. Thus, young children can retrieve odour information that was encoded at least 15.5-22.5 months before, when the camomile-breastfeeding were discontinued.

These results confirm that maternal odours are salient cues in the environment of human newborns, and that breastfeeding can promote lasting olfactory preferences. Such olfactory preferences are sufficiently enduring to be retained more than a year after the exposure discontinuation. Early odour learning at the breast is thus in a situation to influence the infants' behaviour when they have to respond selectively when facing diversification in the food and social domains.