

2m11.3272.7

Université de Montréal

Études psychophysiques de la mémoire à court terme de la douleur expérimentale

par  
Marie-Chantale Fortin

Département de physiologie  
Faculté de médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences  
en sciences neurologiques

Juillet 2004

©Marie-Chantale Fortin, 2004





**Direction des bibliothèques**

**AVIS**

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

**NOTICE**

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Études psychophysiques de la mémoire à court terme de la douleur expérimentale

présenté par :

Marie-Chantale Fortin ©

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes

Allan Smith Ph.D.  
président-rapporteur

Pierre Rainville Ph.D.  
directeur de recherche

Gary Duncan Ph.D.  
codirecteur de recherche

Gilles Lavigne Ph.D.  
membre du jury

## RÉSUMÉ

Compte tenu de l'importance de la mémoire dans les situations cliniques nécessitant l'évaluation rétrospective de la douleur et du fait que le passage en mémoire à court terme précède généralement l'entreposage à long terme, il est primordial d'améliorer notre compréhension de la mémoire à court terme de la douleur. À cette fin, trois études psychophysiques ont été réalisées dans le but de voir (1) si les informations douloureuses subissent une dégradation graduelle et quelles sont les informations les mieux préservées, (2) si ce modèle s'applique autant à la composante affective de la douleur qu'à sa composante sensorielle et (3) si l'information temporelle est préservée en mémoire. Des volontaires en bonne santé ont effectué des évaluations continues, simultanées et rétrospectives de stimulations thermiques douloureuses expérimentales à l'aide d'une échelle visuelle analogique électronique. La mémoire des réponses maximales et moyennes est adéquate mais celle de l'évolution temporelle de la sensation est distordue.

### Mots-clés

Douleur, désagrément, mémoire à court terme, reproduction temporelle, échelle visuelle analogique électronique, thermode de contact.

## **SUMMARY**

Because of the great importance of memory in clinical settings requiring retrospective pain evaluation and because, generally, information must pass through short term memory before being stored in long term memory it is highly important to improve our comprehension of the short term memory of pain. To achieve this goal, three psychophysical experiments were realized in order to verify (1) if there was a gradual degradation of pain's information and what were the information better preserved, (2) if this model could be applied to the affective dimension of pain as well as its sensory dimension and (3) if the temporal compression observed was intrinsic to that form of memory. Healthy volunteers completed concurrent and retrospective continuous evaluations of experimental thermal noxious stimulations with an electronic visual analog scale. Memory for mean and maximal pain is adequate but memory for the sensation temporal evolution is distorted.

### **Key words**

Pain, unpleasantness, short-term memory, temporal reproduction, electronic visual analog scale, contact thermode.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Résumé .....</b>	<b>i</b>
<b>Mots-clés .....</b>	<b>i</b>
<b>Summary .....</b>	<b>ii</b>
<b>Key words.....</b>	<b>ii</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>iii</b>
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux .....	viii
<b>Liste des sigles et des abréviations.....</b>	<b>xii</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Contexte théorique.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 La douleur.....</b>	<b>4</b>
2.1.1 Mécanismes physiologiques de la douleur.....	5
2.1.2 La dimension affective de la douleur .....	8
2.1.3 L'évaluation de la douleur .....	9
<b>2.2 La mémoire .....</b>	<b>12</b>
2.2.1 Le modèle d'Atkinson et Shiffrin .....	12
2.2.2 Le modèle des niveaux de traitement.....	14
2.2.3 Le modèle de Tulving .....	15
2.2.4 Substrats neurophysiologiques de la mémoire.....	16
<b>2.3 La mémoire de la douleur.....</b>	<b>20</b>

2.3.1	Études portant sur la mémoire à long terme de la douleur.....	20
2.3.2	Substrats neurophysiologiques de la mémoire de la douleur .....	24
2.3.3	Application des modèles théoriques à la mémoire de la douleur.....	26
<b>2.4</b>	<b>L'étude de la mémoire à court terme de la douleur.....</b>	<b>31</b>
2.4.1	Pourquoi étudier la mémoire à court terme ?.....	31
2.4.2	La mémoire à court terme somesthésique.....	34
<b>2.5</b>	<b>Considérations méthodologiques .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6</b>	<b>Buts de la recherche et hypothèses .....</b>	<b>38</b>
<b>3</b>	<b>Méthodologie .....</b>	<b>40</b>
3.1	Sujets .....	40
3.2	Stimulations .....	41
3.3	Échelle visuelle analogique électronique.....	42
3.4	Déroulement d'une expérience.....	43
3.4.1	Expérience 1 : Effet du délai sur les évaluations de la douleur .....	44
3.4.2	Expérience 2 : Effet de la dimension de la douleur sur les évaluations rétrospectives .....	44
3.4.3	Expérience 3 : Effet de la durée de la stimulation sur la mémorisation de la dynamique de la sensation.....	46
3.5	Analyse des données.....	46
<b>4</b>	<b>Résultats et interprétations .....</b>	<b>51</b>
4.1	Expérience 1 : Effet du délai sur les évaluations de la douleur .....	51
4.1.1	Distribution des variables.....	51
4.1.2	Effets simples de la température sur les évaluations.....	51
4.1.3	Effets simples du délai sur les évaluations.....	52
4.1.4	Interactions entre la température et le délai .....	53
4.1.5	Caractérisation de l'effet de mémoire .....	55
4.1.6	Interprétations .....	56



<b>4.2</b>	<b>Expérience 2 : Effet de la dimension de la douleur sur les évaluations rétrospectives .....</b>	<b>59</b>
4.2.1	Distribution des variables.....	60
4.2.2	Effets simples de la température sur les évaluations.....	60
4.2.3	Effets simples du délai sur les évaluations.....	61
4.2.4	Effets simples de la dimension de la douleur sur les évaluations .....	61
4.2.5	Interactions entre la température et le délai .....	62
4.2.6	Interactions impliquant la dimension de la douleur .....	64
4.2.7	Caractérisation de l'effet de mémoire .....	65
4.2.8	Comparaisons spécifiques entre les conditions [48,0°C; 8s] et [48,0°C; 9s].....	67
4.2.9	Interprétations .....	69
<b>4.3</b>	<b>Expérience 3 : Effet de la durée de la stimulation sur la mémorisation de la dynamique de la sensation .....</b>	<b>73</b>
4.3.1	Distribution des variables.....	73
4.3.2	Effets simples de la durée sur les évaluations.....	74
4.3.3	Effets simples du délai sur les évaluations.....	75
4.3.4	Effets simples de la dimension.....	76
4.3.5	Interactions entre la durée et la dimension.....	77
4.3.6	Caractérisation de l'effet de mémoire .....	78
4.3.7	Interprétations .....	79
<b>5</b>	<b>Discussion générale .....</b>	<b>81</b>
<b>5.1</b>	<b>Principales observations et ébauches d'explication .....</b>	<b>81</b>
5.1.1	Contraction dans le temps de l'évaluation rétrospective.....	81
5.1.2	Fiabilité des évaluations maximale et moyenne de l'intensité de la douleur et du désagrément relié à la douleur .....	84
<b>5.2</b>	<b>Différentes conceptions, différents résultats, différents mécanismes.....</b>	<b>87</b>
5.2.1	La discrimination différée de la douleur .....	87
5.2.2	La reproduction dynamique de la douleur .....	88
<b>5.3</b>	<b>Assises neurophysiologiques et perspectives de recherche.....</b>	<b>88</b>
5.3.1	La douleur .....	90

5.3.2	La durée.....	91
5.3.3	La mémoire .....	92
5.4	Implications cliniques .....	94
6	Conclusion.....	96
<b>Annexe A : Renseignements aux participants et formulaire de consentement.....</b>		
		<b>xiii</b>
<b>Annexe B : Sites de stimulations et positionnement du sujet.....</b>		
		<b>xvii</b>
<b>Annexe C : Instructions à propos des deux dimensions de la douleur.....</b>		
		<b>xx</b>
<b>Annexe D : Valeurs brutes .....</b>		
		<b>xxii</b>
<b>Annexe E : Analyses statistiques.....</b>		
		<b>xxxiii</b>
	Expérience 1 .....	xxxiv
	Expérience 2 .....	xxxvii
	Expérience 3 .....	xliv
<b>Annexe F : Présentation affichée au congrès de la Société canadienne de la douleur (Toronto, mai 2003) .....</b>		
		<b>xlvi</b>
<b>Annexe G : Présentation affichée au congrès de la <i>Society for neuroscience</i> (New Orleans, novembre 2003).....</b>		
		<b>xlix</b>
<b>Annexe H : Article sur la mémoire de la douleur Publié dans la revue <i>PAIN</i> .....</b>		
		<b>li</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Le modèle de Atkinson et Shiffrin (adaptation).....	26
Figure 2.2 : Modèle des niveaux de traitement.....	28
Figure 2.3 : Cheminement de la douleur dans le modèle de la mémoire de Tulving.....	30
Figure 3.1 : Déroulement d'un essai .....	43
Figure 3.2 : Mesures primaires extraites des données brutes.....	47
Figure 4.1 : Tracés des évaluations simultanée et rétrospectives pour le sujet AG pour la température de 47,5°C .....	53
Figure 4.2 : Effet de la température sur les réponses maximale et moyenne pour chaque condition d'évaluations simultanée et rétrospectives .....	55
Figure 4.3 : Effet de mémoire dans les réponses maximale et moyenne pour chaque niveau de stimulation.....	67
Figure 4.4 : Tracés de la moyenne des évaluations simultanées et rétrospectives de l'intensité et du désagrément associés aux stimulations 48,0 et 48,0* .....	68
Figure 4.5 : Tracés des évaluations simultanées et rétrospectives de l'intensité et du désagrément associés aux stimulations de durée variant de 8 à 10 secondes .....	74

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Résumé de la méthodologie des trois expériences.....	50
Tableau 4.1 : Effets simples de la température sur les mesures caractérisant les réponses simultanées et rétrospectives.....	52
Tableau 4.2 : Effets simples du délai sur les mesures caractérisant les évaluations de la douleur .....	53
Tableau 4.3 : Interactions entre la température et le délai sur les mesures caractérisant les réponses simultanées et rétrospectives.....	54
Tableau 4.4 : Détails des interactions entre la température et le délai sur les réponses maximale et moyenne : effet de la température pour chaque condition de délai...	54
Tableau 4.5 : Effet de la température sur les effets de mémoire dans les réponses maximale et moyenne .....	56
Tableau 4.6 : Test-T comparant les effets de mémoire pour les températures de 47,5°C et de 49,0°C dans les réponses maximale et moyenne.....	56
Tableau 4.7 : Effets simples de la température sur les mesures caractérisant les évaluations de l'intensité de la douleur et du désagrément.....	60
Tableau 4.8 : Effets simples du délai sur les mesures caractérisant les évaluations de l'intensité de la douleur et du désagrément.....	61
Tableau 4.9 : Effets simples de la dimension sur les mesures caractérisant les évaluations simultanées et rétrospectives.....	62
Tableau 4.10 : Interactions entre la température et le délai sur la réponse moyenne .....	63
Tableau 4.11 : Détails des interactions entre la température et le délai sur la réponse moyenne : effet de la température sur les évaluations d'intensité et de désagrément simultanées et rétrospectives.....	63
Tableau 4.12 : Interactions entre le délai et la dimension sur le temps de montée.....	64
Tableau 4.13 : Effet du délai sur le temps de montée pour chaque dimension.....	65
Tableau 4.14 : Effet de la température sur les effets de mémoire dans les réponses maximale et moyenne en incluant (+) ou non (-) l'essai de 9 secondes (leurre) pour l'intensité et le désagrément.....	66

Tableau 4.15 : Effets simples de la durée de la stimulation sur les mesures caractérisant les évaluations de la douleur .....	75
Tableau 4.16 : Effets simples du délai sur les différentes mesures.....	76
Tableau 4.17 : Effets simples de la dimension (intensité ou désagrément) sur les différentes mesures .....	77
Tableau 4.18 : Interactions entre la durée et la dimension sur la réponse moyenne.....	77
Tableau 4.19 : Effets simples de la durée sur la réponse moyenne pour chaque dimension	78
Tableau 4.20 : Effets de la température sur les effets de mémoire dans les réponses maximale et moyenne pour l'intensité et le désagrément.....	78
Tableau 5.1 : Résumé des régions impliquées dans la perception et la mémoire d'une stimulation douloureuse et leurs rôles probables .....	94

#### Expérience 1

Tableau A 1 : Résultats statistiques pour la réponse maximale.....	xxxiv
Tableau A 2 : Détails de l'interaction température X délai pour la réponse maximale ..	xxxiv
Tableau A 3 : Résultats statistiques pour l'aire sous la courbe.....	xxxiv
Tableau A 4 : Résultats statistiques pour le temps de montée .....	xxxv
Tableau A 5 : Résultats statistiques pour le temps de retour .....	xxxv
Tableau A 6 : Résultats statistiques pour la durée totale .....	xxxv
Tableau A 7 : Résultats statistiques pour la réponse moyenne .....	xxxv
Tableau A 8 : Détails de l'interaction température X délai pour la réponse moyenne ...	xxxvi
Tableau A 9 : Effet de la température sur les effets de mémoire des réponses maximale et moyenne.....	xxxvi
Tableau A 10 : Comparaison de l'effet de mémoire entre les niveaux minimal et maximal .....	xxxvi

#### Expérience 2

Tableau A 11 : Résultats statistiques pour la réponse maximale.....	xxxvii
---	--------

Tableau A 12 : Résultats statistiques pour l'aire sous la courbe.....	xxxvii
Tableau A 13 : Résultats statistiques pour le temps de montée .....	xxxviii
Tableau A 14 : Détails de l'interaction dimension X délai pour le temps de montée...	xxxviii
Tableau A 15 : Résultats statistiques pour le temps de retour .....	xxxviii
Tableau A 16 : Résultats statistiques pour la durée totale .....	xxxix
Tableau A 17 : Résultats statistiques pour la réponse moyenne .....	xxxix
Tableau A 18 : Détails de l'interaction délai X température pour la réponse moyenne .....	xl
Tableau A 19 : Effet de la température sur les effets de mémoire des réponses maximale et moyenne.....	xl
Tableau A 20 : Comparaison de la réponse maximale de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes.....	xli
Tableau A 21 : Comparaison de l'aire sous la courbe de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes.....	xli
Tableau A 22 : Comparaison du temps de montée de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes .....	xlii
Tableau A 23 : Comparaison du temps de retour de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes .....	xlii
Tableau A 24 : Comparaison de la durée totale de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes .....	xliii
Tableau A 25 : Comparaison de la réponse moyenne de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes.....	xliii
 Expérience 3	
Tableau A 26 : Résultats statistiques pour la réponse maximale.....	xliv
Tableau A 27 : Résultats statistiques pour l'aire sous la courbe.....	xliv
Tableau A 28 : Résultats statistiques pour le temps de montée .....	xlv
Tableau A 29 : Résultats statistiques pour le temps de retour .....	xlv
Tableau A 30 : Résultats statistiques pour la durée totale .....	xlv

Tableau A 31 : Résultats statistiques pour la réponse moyenne ..... xlvi

Tableau A 32 : Effet de la durée sur les effets de mémoire des réponses maximale (MAX)  
et moyenne (MOY) pour l'intensité et le désagrément..... xlvi

## LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS

AB : Aire de Broadman

ANOVA : Analysis of variance

AMS : Aire motrice supplémentaire

CCA : Cortex cingulaire antérieur

CPF : Cortex préfrontal

DEL : Diode électroluminescente

ÉVA : Échelle visuelle analogique

ÉVAé : Échelle visuelle analogique électronique

*IASP : International Association for the Study of Pain*

IRMf : Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

*MAPS : Multidimensional Affect and Pain Survey*

*MPQ : McGill Pain Questionnaire*

NS : non significatif

S1 : Aire (ou cortex) somatosensorielle primaire

S2 : Aire (ou cortex) somatosensorielle secondaire

SPI : Sériel, parallèle, indépendant (*Serial, Parallel, Independant*)

TEP : Tomographie par émission de positrons

TMS : Stimulation magnétique transcrânienne (Transcranian Magnetic Stimulation)

*WHYMPI : West Heaven Yale Multidimensional Pain Inventory*



*Pour mes enfants...*

## REMERCIEMENTS

J'aimerais d'abord remercier mes chers directeurs Pierre Rainville et Gary Duncan qui m'ont accueillie à bras ouverts, malgré mon arrivée qui ressemblait à celle d'un chien dans un jeu de quilles. Pierre, pour s'être toujours rendu disponible lorsqu'on frappait à sa porte peu importe la raison pour laquelle on le consultait, pour son écoute attentive et pour ses précieux conseils qui ne portaient pas toujours sur des questions d'ordre scientifique. Gary pour ses commentaires toujours réfléchis et à point.

Ensuite, je tiens à remercier Léo TenBokum, notre irremplaçable technicien, pour son dévouement et ses conseils et Jen-I Chen notre assistante de recherche, particulièrement pour nos petites escapades au café de maths qui nous permettaient de nous changer les idées.

Puis, je veux remercier les autres étudiants du laboratoire notamment Ariane Gallez pour m'avoir écouté jacasser tout le temps, Mathieu Roy pour sa générosité et Marie-Claire Albanese, pour ses biscuits et le rayon de soleil qu'elle transporte avec elle. Il y a aussi les étudiants de premier cycle qui m'ont permis de goûter à la supervision et qui m'ont donné l'envie de diriger.

Je ne pourrais me permettre d'omettre ma belle-maman, pour les si bons soins donnés à mes filles... Et, ma mère, Marie-France, pour ses encouragements et surtout, pour avoir toujours cru en moi.

Enfin, il y a bien évidemment mon mari, Charles, pour m'avoir endurée lorsque j'étais stressée et pour son support, son oreille attentive et son amour, et mes filles qui m'ont donné la motivation de continuer lorsque le jus manquait et qui m'ont permis de tout oublier l'instant d'un sourire ou d'un éclat de rire.

# 1 INTRODUCTION

La douleur est un phénomène ayant une grande prévalence, elle peut être aiguë ou chronique, intense ou modérée, mais quelle qu'elle soit, elle amenuise la qualité de vie des gens qui souffrent. Évaluer adéquatement la douleur chez les patients est particulièrement important, car l'évolution de la douleur est parfois la seule mesure de la progression d'une maladie ou de l'efficacité d'un traitement. Comme ces évaluations doivent souvent être faites de façon rétrospective, elles mettent en jeu un facteur important : les patients doivent se souvenir de la douleur ressentie dans les minutes, les heures ou les jours précédant l'évaluation. Dans d'autres situations, la mémoire de la douleur et l'anticipation de cette dernière peuvent constituer des obstacles qui diminuent la motivation à poursuivre ou à entreprendre un traitement douloureux. Il est donc primordial de comprendre le fonctionnement de la mémoire de la douleur.

Comment décririez-vous la douleur que vous avez ressentie la dernière fois que vous vous êtes brûlé en préparant un repas ? Quelle était l'intensité de la sensation douloureuse ? Quelles étaient ses qualités ? À quel point était-ce désagréable ? Ce n'est pas une tâche facile, n'est-ce pas ? Peut-être serait-il plus facile de décrire la douleur si la brûlure venait tout juste d'arriver. Probablement que le souvenir serait plus clair; mais est-ce qu'il correspondrait vraiment à ce que vous avez senti lors de la brûlure ? Est-ce que la mémoire de la douleur, même à court terme, subit des modifications, des distorsions qui perturbent le

souvenir de cette sensation ? C'est ce que nous avons tenté d'éclaircir dans la présente recherche.

L'objectif principal de cette série d'études est de vérifier les propriétés de la mémoire à court terme (c'est-à-dire après quelques secondes) de la douleur. À notre connaissance, au début de nos recherches, aucun article portant sur la mémoire à court terme de la douleur n'avait encore été publié. Il s'agissait donc ici, pour la première fois, de comparer des évaluations dynamiques simultanées de stimulations thermiques douloureuses expérimentales à des évaluations rétrospectives effectuées après un court délai de quelques secondes. Maintenant que l'on a circonscrit les structures cérébrales qui jouent un rôle important dans les différents aspects de l'expérience de la douleur, on commence à s'intéresser aux différents mécanismes neurocognitifs qui influencent la douleur. Parmi les structures impliquées dans la perception de la douleur, certaines pourraient aussi jouer un rôle important dans la mémoire explicite de la douleur et pourraient être impliquées dans l'anticipation de la douleur ainsi que dans le déclenchement des émotions négatives qui y sont associées. Les expériences psychophysiques réalisées ici visent à développer un modèle expérimental de mémoire explicite de la douleur qui pourrait éventuellement être utilisé dans des études d'imagerie cérébrale afin d'évaluer les mécanismes cérébraux impliqués.

Cinq sections suivent. Le chapitre 2 recueille et décrit la littérature pertinente à la compréhension de la série d'études proposée et en justifie l'exécution. Le chapitre 3 constitue une présentation détaillée de la méthodologie employée dans les trois expériences effectuées. Le chapitre 4 présente les résultats et les principales statistiques concernant les

différences entre les évaluations simultanées et rétrospectives ainsi qu'une discussion spécifique à chacune des expériences. Dans le cinquième chapitre, on retrouve une discussion plus générale des implications de ces recherches. Enfin, des propositions de recherches permettant d'arriver à des réponses plus concrètes, et leurs limitations, sont présentées en conclusion dans le dernier chapitre.

## 2 CONTEXTE THÉORIQUE

L'étude de la mémoire de la douleur se situe dans une zone de chevauchement entre celles s'attardant à la mémoire et celles concernant la douleur. Dans les prochaines lignes, suivront une révision des études de la douleur puis une récapitulation des principaux modèles de la mémoire. Puis, le contexte théorique spécifique à la présente étude qui se situe à l'interface de ces deux domaines sera discuté ainsi que quelques considérations méthodologiques. Enfin, les questions de recherches auxquelles nous nous sommes intéressés seront présentées.

### 2.1 La douleur

Selon l'International Association for the Study of Pain (IASP), la douleur est : « *An unpleasant sensory and emotional experience which we primarily associate with tissue damage or describe in terms of tissue damage, or both.* » (IASP, 2004). Cette sensation n'est donc pas uniquement sensori-discriminative, mais comporte aussi une importante dimension affectivo-motivationnelle. L'hypnose a d'ailleurs été utilisée pour moduler ces deux dimensions de la douleur et démontrer leur séparation au moins partielle sur le plan neuroanatomofonctionnel (Hofbauer *et al.*, 2001; Rainville *et al.*, 1997; Rainville *et al.*, 1999). L'étude de la douleur chez l'humain revêt une importance particulière à cause de la présence de cette seconde dimension. Une brève révision des bases physiologiques de la douleur sera présentée puis suivra celle de sa dimension affective. Ensuite, quelques méthodes de mesure de la douleur seront décrites.

### 2.1.1 Mécanismes physiologiques de la douleur

La douleur est un phénomène complexe. La réponse douloureuse typique, telle que celle évoquée par un coup de marteau sur le pouce, implique l'activation de fibres nociceptives périphériques, une certaine intégration au niveau spinal puis la communication de ces données à des centres corticaux via différents noyaux thalamiques (Basbaum et Jessel, 2000). Les fibres nociceptives périphériques ont des terminaisons libres et sont de deux types différents : A $\delta$  et C. Les premières conduisent les données d'origine mécanique et thermique plus rapidement que les secondes, qui ne sont pas myélinisées. Les fibres C sont aussi responsables de l'acheminement des données d'origine chimique et viscérale. Ces deux types de fibres, en plus des autres associées aux différents types de récepteurs non nociceptifs, envoient des signaux qui, lors de l'intégration centrale, servent à la représentation corticale de la sensation et de ses caractéristiques telles que son intensité, son désagrément et ses qualités (douleur de pression, brûlure, ponction...) (Defrin *et al.*, 2002). Des nocicepteurs dans les murs veineux pourraient aussi contribuer à la perception de la douleur causée par différents types de stimulations. Ces récepteurs polymodaux (qui consistent, selon les études animales, en des terminaisons libres) ne transmettent pas les qualités de la douleur (Klement et Arndt, 1991). Les afférences primaires font des contacts synaptiques dans la corne dorsale de la moelle épinière avec des neurones de deuxième ordre, notamment avec des neurones spécifiques à la nociception et avec des neurones dynamiques à bande large. Ils se projettent ensuite vers différents noyaux du thalamus. Les neurones nociceptifs du thalamus se projettent à leur tour vers des aires corticales dont principalement : les aires somatosensorielles primaire (S1) et secondaire (S2), le cortex cingulaire antérieur (CCA) et l'insula (Willis et Westlund, 1997).



Quelques études d'imagerie cérébrale fonctionnelle ont été réalisées pour déterminer l'effet de l'intensité de la douleur sur les patrons d'activation cérébrale. En 1997, Derbyshire *et al.* ont démontré, lors d'une étude de tomographie par émission de positrons (TEP), que le recours à de nombreuses régions corticales dépend de l'intensité de la stimulation. Dans cette étude, 12 sujets ont reçu des stimulations laser de différentes intensités (calibrées intrasujet) lors d'une session de TEP. L'augmentation de l'intensité de la douleur a causé une augmentation de l'activation cérébrale dans l'insula, le cortex somatosensoriel controlatéral, le cortex cingulaire périgénual ipsilatéral et dans le thalamus; elle a aussi causé une augmentation bilatérale de l'activité dans les noyaux lenticulaires, le cortex préfrontal, les cortex pariétaux inférieurs et dans les cortex prémoteurs latéraux. Une activation plus grande a aussi été détectée dans l'hippocampe et le cortex frontal médian (Derbyshire *et al.*, 1997). Plus récemment, une étude semblable de TEP a été réalisée chez 16 sujets (Coghill *et al.*, 1999). Ces derniers ont reçu des stimulations de quatre différents niveaux (toujours les mêmes), soit 35°C, 46°C, 48°C et 50°C, à l'aide d'une thermode de petite superficie. L'intensité de la douleur perçue et l'activation dans les régions suivantes ont été corrélées positivement : thalamus, insula, CCA et cortex S2 (bilatéral); cervelet, putamen, cortex moteur supplémentaire dorsal et cortex S1 (controlatéral) et dans le cortex pré moteur ventral (ipsilatéral). D'un autre côté, l'activation dans le cortex préfrontal droit (ipsilatéral à la stimulation) semblait indépendante de l'intensité de la douleur. Le degré d'activation cérébrale est davantage corrélé à la perception de la douleur qu'à l'intensité physique de la stimulation (Rainville *et al.*, 2000). Enfin, le degré d'activation des cortex préfrontal et cingulaire antérieur et de l'aire S1 en réponse à l'application d'une stimulation douloureuse à une température donnée a été corrélé aux évaluations de douleur fournies

avec une échelle visuelle analogique (Coghill *et al.*, 2003). Ces études montrent de façon convaincante une activation (au moins unilatérale) dépendante de l'intensité de la douleur dans les cortex préfrontal, cingulaire antérieur et somatosensoriel primaire et, possiblement, dans l'insula et le thalamus. Ces régions pourraient contribuer à la mémoire explicite de l'intensité de la douleur.

Une recension des écrits sur la question des réponses cérébrales à la douleur (Peyron *et al.*, 2000) arrive également à la conclusion que le cortex somatosensoriel secondaire et l'insula jouent aussi un rôle dans la discrimination de l'intensité de la stimulation mais que ce n'est pas le cas du cortex cingulaire antérieur. Ce dernier serait plutôt impliqué dans la dimension affective de la douleur et dans la réponse attentionnelle à la douleur. Le cortex somatosensoriel primaire serait actif dans la sommation spatiale et temporelle, et donc dans certains aspects sensoriels de la douleur. La modulation observée pourrait s'expliquer par une relation entre l'intensité de la stimulation et l'intensité de la réponse affective et attentionnelle à celle-ci, relation qui se traduirait par une corrélation positive entre l'activation de ces régions et l'intensité de la stimulation. Les cortex préfrontal et pariétal seraient importants dans la localisation de la stimulation et son encodage. Des régions sous-corticales aussi impliquées lors des stimulations nociceptives joueraient un rôle dans la dimension affective de la douleur alors que d'autres seraient importantes dans la régulation des réactions de retrait généralement inhibées lors de ces expériences d'imagerie cérébrale (Bingel *et al.*, 2002). Les études d'imagerie contribuent à une meilleure compréhension du rôle des différentes structures corticales, particulièrement dans les différentes fonctions cognitives associées à la douleur.

### 2.1.2 La dimension affective de la douleur

La dimension affective de la douleur peut en fait être subdivisée en deux : l'affect primaire, qui est le désagrément immédiat associé à la perception de la douleur, et l'affect secondaire, qui correspond aux sentiments reliés aux implications générales et à plus long terme de la douleur (Price, 2000). Tel que mentionné plus haut, les principales aires corticales associées à la douleur sont les aires somatosensorielles primaire et secondaire, l'insula et le cortex cingulaire antérieur. Ces deux dernières, classiquement associées au système limbique, pourraient avoir un rôle important dans la perception du désagrément associé à la douleur (affect primaire). Le rôle du cortex cingulaire antérieur dans le désagrément a d'ailleurs déjà été démontré (Rainville *et al.*, 1997). De plus, des neurones spécifiques aux stimuli nociceptifs répondant à des stimulations bilatérales ou même à l'observation de stimuli possiblement douloureux ont été retrouvés dans le CCA (Hutchison *et al.*, 1999) suggérant, encore une fois, leur implication dans la dimension affective de cette sensation ou dans l'anticipation de la douleur (Ploghaus *et al.*, 1999). Le désagrément fait partie intégrante de l'expérience de la douleur et est généralement corrélé à l'intensité de la sensation de même qu'à ses qualités et à sa localisation. Par exemple, pour une intensité de douleur comparable, la douleur viscérale est relativement plus désagréable que la douleur cutanée (Strigo *et al.*, 2002). Cette observation pourrait être liée, entre autres, à l'activation plus avant observée dans le cortex cingulaire antérieur pendant la douleur viscérale (Strigo *et al.*, 2003). Il existe donc une dissociation, au moins partielle, des structures impliquées dans les dimensions sensorielle et affective de la douleur. Dans le contexte de notre recherche, cela soulève la question de la contribution de ces deux dimensions, et des structures cérébrales associées, à la mémoire de la douleur. Ainsi, la

mémoire des aspects sensoriels et affectifs de l'expérience pourrait avoir des propriétés différentes et dépendre de réseaux cérébraux partiellement distincts.

### 2.1.3 L'évaluation de la douleur

Au fil des ans, tant les chercheurs que les cliniciens ont tenté de développer des méthodes valides pour évaluer l'intensité de la douleur chez les sujets en santé et chez les patients. Des échelles catégorielles avec des descripteurs verbaux (un peu, moyennement, énormément) ont été utilisées couramment depuis les années 50 et peut-être même avant. Bien que les échelles catégorielles soient très faciles d'utilisation, valides et fiables, elles ont le désavantage de forcer le sujet à choisir parmi un nombre limité de réponses, ce qui peut entraîner un biais. Un autre de leurs défauts est l'impossibilité d'effectuer des ratios et de comparer l'ampleur de la variation entre deux évaluations distinctes ou entre des groupes d'évaluations. Plus tard, des mesures multidimensionnelles de la douleur, sous forme de questionnaire tel que le questionnaire McGill sur la douleur (MPQ) (Melzack, 1975) ou le *West Haven Yale Multidimensional Pain Inventory* (WHYMPI) (Kerns *et al.*, 1985), ont été élaborées afin de mieux décrire et comprendre cette désagréable expérience. En 2002, une équipe de chercheurs a d'ailleurs comparé les évaluations de douleur effectuées par des patients sur une échelle numérique unidimensionnelle et celles effectuées à l'aide d'un questionnaire (*multidimensional affect and pain survey* (MAPS)). Ils sont arrivés à la conclusion que les évaluations de l'intensité de la douleur faites sur des échelles unidimensionnelles reflétaient plus les qualités émotionnelles de la douleur que celles ayant trait à sa dimension sensorielle (Clark *et al.*, 2002). Ces questionnaires sont généralement

construits à partir d'échelles catégorielles; ils comportent donc les mêmes désavantages et sont, de surcroît, plus long à administrer.

Contrairement aux échelles catégorielles, les échelles de magnitude permettent d'effectuer des ratios et d'étalonner les différentes évaluations afin de les comparer. Parmi celles-ci, il y a les échelles avec ou sans limites telles que les échelles visuelles analogiques (ÉVA) ou numériques (par exemple, graduées de 0 à 100) et l'échelle d'estimation de la magnitude. Les échelles visuelles analogiques n'ont généralement d'ancrages verbaux qu'aux deux extrémités, ce qui rend possible la numérisation continue des évaluations entre les deux bornes. L'échelle d'estimation de magnitude sans bornes, quant à elle, fonctionne ainsi : on demande au sujet ou au patient d'évaluer la douleur à l'aide d'un nombre, les évaluations subséquentes étant faites de la même façon, et il n'y a aucune limite –le répondant est totalement libre du choix des nombres. Cette méthode a l'avantage de n'avoir ni plancher ni plafond et le sujet (ou patient) n'est pas tenté d'utiliser l'entièreté de l'échelle et de répartir ses évaluations tout au long de celle-ci. Par contre, elle rend presque impossible les comparaisons entre les sujets et force la normalisation des évaluations.

Les évaluations effectuées avec une échelle visuelle analogique sont sujettes à la répartition des évaluations sur tout le spectre, ce qui a pour effet pervers de limiter les comparaisons possibles entre des évaluations de stimulations différentes, par exemple. En effet, l'écart entre deux stimulations est alors relatif à toutes les stimulations présentées, plutôt qu'absolu. Malgré ce défaut, l'échelle visuelle analogique a de nombreux avantages particulièrement dans le contexte d'une évaluation de la mémoire de la douleur.

(1) Contrairement à toutes les autres, elle n'est pas verbale, ce qui diminue la possibilité de

conserver l'information verbale plutôt que sensorielle pendant l'intervalle mnésique. (2) Elle permet d'effectuer des ratios (ou des pourcentages), ce qui facilite les comparaisons entre les évaluations, et l'impact du biais induit par la présence de bornes peut être réduit en faisant les comparaisons sur une base intrasujet et en présentant toujours toutes les stimulations dans chacun des blocs. (3) Le développement de la technologie a permis de développer des échelles d'évaluation « en continue » de la douleur grâce à des échelles visuelles analogiques électroniques (ÉVAé). Ces dernières ont permis de comparer les propriétés temporelles et qualitatives des douleurs induites par le froid ou par le chaud (Morin et Bushnell, 1998), d'étudier spécifiquement la dynamique temporelle des différentes sensations associées à la douleur induite par le froid (Harrison et Davis, 1999) et de comparer le décours temporel des douleurs viscérales et cutanées (Strigo *et al.*, 2002). Ces évaluations continues permettent d'observer la progression de la douleur dans le temps parallèlement à l'application du stimulus. Cependant, comme toutes les autres échelles unidimensionnelles, elles manquent de sensibilité aux différentes composantes de la douleur (Melzack et Katz, 1999) et il faut y remédier en effectuant des évaluations distinctes pour chacune des deux composantes principales (sensorielle et affective) de la douleur. Toutes ces échelles sont utiles dans la mesure où elles sont choisies adéquatement selon le contexte d'utilisation et leurs limites intrinsèques. Ainsi, l'échelle visuelle analogique électronique s'avère la plus appropriée, à notre avis, pour étudier la mémoire à court terme de la douleur, car elle permet une évaluation précise de la dynamique temporelle de l'intensité de la sensation et de son désagrément.

## 2.2 La mémoire

Dans son sens commun, la mémoire est la faculté par laquelle nous arrivons à enregistrer, conserver et nous rappeler des faits et des connaissances, des émotions, des éléments du monde qui nous entoure et des événements que nous vivons. Les trois principaux modèles de la psychologie cognitive qui ont tenté d'expliquer la mémoire seront présentés dans les prochaines lignes<sup>1</sup>. Le premier modèle discuté, celui d'Atkinson et Shiffrin (1968), utilise une approche tant structurale que procédurale pour décrire la mémoire. Le second, le modèle des niveaux de traitement, s'attarde spécifiquement aux processus. Enfin, le modèle de Tulving privilégie une approche davantage structurale, sous forme de systèmes, pour décrire la mémoire tout en y ajoutant une composante procédurale.

### 2.2.1 Le modèle d'Atkinson et Shiffrin

Dans leur modèle, Atkinson et Shiffrin divisent la mémoire en trois composants structuraux permanents (compartiments), soit : le registre sensoriel, le registre à court terme et le registre à long terme (Atkinson et Shiffrin, 1968). Le registre sensoriel prend note des informations sensorielles; beaucoup d'informations y parviennent et leurs traces sont perdues très rapidement si rien n'est fait pour les envoyer dans un autre registre. Le processus principal par lequel le sujet peut avoir une action sur le registre sensoriel est de porter attention à une portion de ce qui y entre à un moment donné. Le registre à court terme est le site de la mémoire de travail (ou mémoire à court terme); il reçoit des informations en provenance du registre sensoriel et du registre à long terme et les maintient disponibles. Ce registre est le site de différentes actions : d'un côté, il y a les procédures de

---

<sup>1</sup> Les trois modèles seront appliqués à la mémoire de la douleur à la section 2.3.3.

recherche et de récupération des informations (incluant la prise de décision concernant les informations à récupérer), de l'autre, il y a la procédure principale de maintien –la répétition. Plus le maintien dans le registre à court terme serait long et actif, plus la trace dans le registre à long terme deviendrait robuste, car il y a une relation étroite entre ces deux registres. En effet, l'encodage qui a lieu dans le registre à court terme permettrait de renforcer la trace et laisserait plus de temps pour un transfert complet vers le registre à long terme. Par exemple, l'addition d'informations provenant du registre à long terme aux informations nouvellement acquises et la création d'associations solides favoriserait le renforcement de la trace mnésique. Enfin, le registre à long terme est responsable de la conservation sur de longues périodes, dans toutes les modalités sensorielles, de toutes nos connaissances. La fonction principale de ce registre est l'entreposage, et la nature de ce dernier dépend des stratégies d'encodage employées dans la mémoire à court terme. Il doit aussi disposer d'un processus de recherche de ces informations. Cette recherche se ferait en deux étapes : tout d'abord, il y aurait la localisation de la trace désirée puis, la récupération de ladite trace.

Ce modèle a énormément influencé la recherche sur la mémoire, mais il est maintenant généralement considéré comme insuffisant, notamment par son manque de considérations des différents processus pouvant être mis en jeu. Plusieurs des concepts qui y sont proposés ont cependant été retenus par d'autres chercheurs (entre autres, E. Tulving). Il continue de fournir un cadre théorique à de multiples études et il est toujours utilisé pour la classification et la description de l'organisation fonctionnelle de la mémoire.



### 2.2.2 Le modèle des niveaux de traitement

Portant l'appellation « Levels of processing » en anglais, ce modèle de la mémoire a été spécifiquement formulé par Craik et Lockhart en 1972 (Craik et Lockhart, 1972). Leur hypothèse va comme suit. La persistance de la trace mnésique est fonction de la profondeur des analyses dont le stimulus a fait l'objet : un niveau de traitement plus approfondi entraîne des traces plus élaborées et plus persistantes. La mémoire est donc vue comme un continuum contrairement au modèle « en boîtes » d'Atkinson et Shiffrin. C'est donc un modèle procédural de la mémoire qui ne développe pas du tout le côté structural. Craik et Lockhart proposent deux types de traitements, le type I (la mémoire primaire) et le type II. Le premier permet le maintien en mémoire d'informations pour un court laps de temps et se traduit par la répétition des mêmes analyses sur un même contenu. Dès que la recirculation de l'information à ce niveau de traitement particulier est interrompue ou que d'autres informations viennent prendre la place, la trace mnésique est perdue. Le type II consiste plutôt en l'approfondissement des analyses; seul ce type de mémoire permet une amélioration de la performance mnésique. Ce modèle permet, entre autres, d'expliquer clairement les différents niveaux d'apprentissage « incident » rencontrés pour différentes tâches ayant différents niveaux de traitement. Par exemple, le traitement est plus superficiel lorsqu'on doit dire si la lettre « a » est présente dans un mot que lorsqu'on doit porter un jugement sémantique sur ce mot (Kapur *et al.*, 1994). L'imagerie cérébrale, par émission de positrons et par résonance magnétique fonctionnelle, a été utilisée pour supporter ce modèle. Le degré d'activation préfrontal et temporal (associé au niveau de traitement) permet de prédire la performance dans une tâche de reconnaissance de mots (Nyberg, 2002). Toutefois, Craik admet qu'il n'y a pas de gradation objective du niveau de

traitement et que le traitement approfondi, bien qu'essentiel, n'est pas suffisant pour la consolidation dans la mémoire épisodique (Craik, 2002).

### **2.2.3 Le modèle de Tulving**

Le modèle proposé par Endel Tulving a été peaufiné au fil des ans et permet de réconcilier le modèle d'Atkinson et Shiffrin et celui de Craik et Lockhart (Tulving, 1995). Il intègre aussi des notions proposées par Baddeley (la mémoire de travail : (Baddeley, 2001; Baddeley et Hitch, 1974)) et Schacter (la mémoire implicite : (Schacter, 1987)). Il propose un schème d'organisation en cinq systèmes. Le premier, le système procédural, s'attarde aux informations non déclaratives telles que les habiletés motrices ou cognitives et le conditionnement. C'est une forme implicite de mémoire, plutôt primitive. Les quatre autres systèmes, les systèmes de représentation, sont responsables des changements dans la cognition ou la pensée. Le système de représentation perceptuelle constitue une forme de mémoire rudimentaire; il inclut l'amorçage perceptif. Cette forme de mémoire est mise en évidence lorsque l'identification d'un objet se fait plus rapidement si cet objet a déjà été rencontré (même à un niveau subconscient); il s'agit aussi d'une forme de mémoire implicite. Il y a ensuite le système sémantique qui permet l'acquisition et la rétention d'informations factuelles et se trouve à la base de la cognition : c'est le savoir. Ensuite, vient le système de la mémoire primaire (un terme aussi utilisé par Craik & Lockhart) qui correspond, selon Tulving, à la mémoire à court terme (ou mémoire de travail). Elle provient du maintien volontaire d'informations sous une forme accessible pour une courte période de temps après le stimulus ou la récupération. Enfin, il y a le système de la mémoire épisodique, mémoire autobiographique (ou personnelle); il concerne la mémoire

des événements. Quatre des cinq systèmes, les systèmes sémantique, épisodique, procédural et perceptuel, servent à la mémoire à long terme.

La prémisse principale de fonctionnement de ce modèle est que les relations entre les systèmes sont spécifiques aux procédés. Les quatre systèmes de représentation (perceptuel, primaire, sémantique et épisodique) font appel à différents processus de traitement de l'information, soit l'encodage, l'entreposage et la récupération. Ces *procédés* se déroulent de différentes manières. D'abord, l'information est encodée dans les systèmes de façon *sérielle* et l'encodage dans un système dépend du traitement de l'information dans le système précédent. Ensuite, l'information est conservée dans différents systèmes en *parallèle* et les informations dans chacun de ces systèmes peuvent être récupérées de façon *indépendante*. Tulving appelle aussi son modèle le modèle SPI (sériel, parallèle, indépendant). Il le veut rassembleur, en accord avec ceux proposés par d'autres auteurs tels que Weiskrantz (Weiskrantz, 1987) et Squire (Squire, 1987). Différentes preuves fonctionnelles, développementales, pharmacologiques ou provenant d'études de lésions soutiennent ce modèle (Nyberg et Tulving, 1996).

#### **2.2.4 Substrats neurophysiologiques de la mémoire**

Les premières indications que certaines régions du cerveau ont un rôle particulier à jouer dans la mémoire proviennent de l'étude des déficits fonctionnels de patients affectés par différentes lésions cérébrales. Brenda Milner<sup>1</sup> a caractérisé les déficits chez un patient ayant subi une résection bilatérale de la formation hippocampique, de l'amygdale et de

---

<sup>1</sup> Brenda Milner demeure une pionnière dans l'étude de la mémoire; sa carrière s'est déroulée au sein de nombreuses institutions montréalaises dont l'Institut neurologique de Montréal et l'Université McGill.

certaines parties du cortex temporal. Après l'opération, le patient était toujours capable de se remémorer des souvenirs d'avant l'opération et il était en mesure d'utiliser sa mémoire à court terme de façon normale; cependant, il avait perdu la capacité de se rappeler des nouvelles choses apprises après l'opération. Par exemple, il ne pouvait plus se souvenir d'une personne rencontrée quelques heures auparavant. En étudiant attentivement les déficits de ce patient, la professeure Milner a constaté qu'il demeurait apte à l'apprentissage de nouvelles tâches motrices, bien qu'il ne se souvenait pas, par la suite, d'avoir effectué ces nouvelles tâches. C'est d'ailleurs ce qui a mené à la distinction entre les mémoires implicites et explicites (Kandel *et al.*, 2000). Les études de lésions ont cependant de nombreuses limitations dont, en particulier, le fait que les lésions naturelles sont diffuses et variables en volume et dimensions. C'est pourquoi l'imagerie cérébrale, plus particulièrement l'imagerie cérébrale fonctionnelle, a permis d'effectuer un grand pas dans l'étude de l'anatomie et de la neurophysiologie de la mémoire en menant à l'identification des régions activées pendant des tâches mnésiques, dès lors potentiellement impliquées dans les processus requis pour effectuer ces tâches. Toutefois, les résultats obtenus grâce à ces avancées technologiques ont eux aussi leurs limites : la présence d'activation corticale dans une région donnée ne garantit pas que cette région est *essentielle* pour une tâche donnée.

Dans une recension d'articles portant sur les bases neurales de l'apprentissage et de la mémoire, il est rapporté que les régions les plus fortement associées à la mémoire sont les suivantes (Cabeza et Nyberg, 2000). Pour (1) l'apprentissage des habiletés motrices et non motrices : les aires motrices des lobes frontaux (Aire de Broadman (AB) 4), certaines régions des lobes pariétaux (AB 7 et 40) et occipitaux (AB 19 et 18) et le cervelet; (2) la

mémoire sémantique : le cortex préfrontal gauche (AB 45 et 44) et temporal (AB 21); (3) la mémoire épisodique : le cortex préfrontal (AB 10, 9, 46 et 45 notamment), le cortex pariétal (AB 7), le cortex médial temporal et occipital (AB 18 et 19). Enfin, (4) dans le cas de la mémoire de travail, les aires activées, l'importance de l'activation et le recours à un nombre plus ou moins important de régions ou de sous-régions dépendent du type de tâche mnésique (verbale, numérique, spatiale, résolution de problèmes); ces régions sont les suivantes : le cortex préfrontal, le cortex cingulaire antérieur, les cortex pariétal et occipital, bref, pratiquement tout. L'importance du cortex préfrontal dans la mémoire à court terme est bien démontrée, cependant, il demeure que le rôle spécifique des différentes sous-régions (ventral vs dorsal) est toujours source de débats. D'un côté, on propose une séparation sur la base de la nature de l'information à mémoriser, de l'autre, on propose plutôt des rôles pour les différentes régions en fonction des processus de maintien (région ventrale) ou de manipulation (région dorsale) de l'information en mémoire à court terme (Owen, 1997). Une étude chez des patients ayant des lésions dans différentes régions du cortex préfrontal (CPF) a été réalisée afin d'éclaircir la question (Muller *et al.*, 2002).

Dans cette étude, des patients ayant des lésions du cortex préfrontal ventromédiales, dorsolatérales et combinées (dorsales et ventrales) ainsi que des sujets-contrôles ont effectué quatre tâches différentes. Les deux premières demandaient aux sujets de comparer la nature (partie ventrale) ou la position (partie dorsolatérale) de deux objets présentés successivement. Dans ces deux tâches, selon la théorie du processus, la région ventrale du CPF aurait dû être sollicitée, car elle implique uniquement le maintien de l'information. Les deux tâches suivantes servaient à vérifier que la manipulation de l'information en mémoire à court terme sollicite effectivement le cortex préfrontal au

niveau dorsolatéral, toujours selon la théorie du processus. Pour ce faire, on a demandé à chaque sujet d'effectuer les mêmes tâches de comparaison en mode « 2-back »; selon ce mode, le sujet doit comparer le présent item (x) non pas à l'item précédent (x-1) mais plutôt à l'item (x-2), ce qui demande de réorganiser la mémoire. Ensuite, on a comparé les performances lors de ces expériences à celles des deux premières. Dans toutes les tâches, seuls les patients ayant des lésions touchant les régions dorsolatérale et ventromédiane du cortex préfrontal ont eu des performances moindres que celles des sujets-contrôles. Les patients ayant des lésions concentrées et limitées à une de ces deux régions ne semblaient pas avoir plus de difficulté que les sujets sains à effectuer les tâches de mémoire à court terme. Cela remet en question les modèles d'activation régionale due, soit à l'objet de la tâche, soit aux processus impliqués. De plus, cela suggère que la mémoire à court terme ne dépend pas d'une région spécifique comme pourrait l'indiquer les études en imagerie. Il est primordial de considérer les régions sollicitées en imagerie comme faisant partie d'un système distribué (réseau), non comme essentielles pour la réalisation de la tâche. Il est aussi possible que, suite à une lésion cérébrale préfrontale, la performance mnésique dépende des régions adjacentes à la suite d'un processus de réorganisation.

Les modèles décrits précédemment sont une ébauche pour expliquer plusieurs phénomènes mnésiques. Dans les prochaines lignes, la problématique de la mémoire de la douleur sera présentée et ces modèles serviront d'outils pour formuler les hypothèses qui ont mené à la réalisation de trois études sur la mémoire de la douleur.

## **2.3 La mémoire de la douleur**

Étant donné son importance clinique, la mémoire de la douleur devrait recevoir beaucoup d'attention de la part des chercheurs. Grâce à elle, il est possible de suivre la progression d'un traitement ou l'évolution d'une maladie; dans bien des cas, aucune autre « mesure » ne le peut. Souvent, les patients doivent formuler leur évaluation *a posteriori*, car il n'y a pas toujours un membre du personnel soignant auprès d'eux lorsque la douleur survient. Par ailleurs, c'est souvent l'augmentation de la douleur qui fait en sorte que les patients vont consulter pour un problème de santé. Malgré cela, un nombre très limité d'études portent spécifiquement sur la mémoire de la douleur. Cependant, il est possible d'extraire certaines informations d'études ayant eu recours aux évaluations rétrospectives et dont l'objet principal n'était pas la mémoire de la douleur. Nous exposerons une recension des résultats d'études où des évaluations simultanées et rétrospectives de la douleur ont été réalisées. Elle sera suivie d'une brève présentation des substrats neurophysiologiques possibles de la mémoire de la douleur et de la description d'une application théorique des modèles de la mémoire précités.

### **2.3.1 Études portant sur la mémoire à long terme de la douleur**

La grande majorité des études portant sur la mémoire de la douleur concerne la mémoire à long terme de la douleur. Souvent, il s'agit d'études au cours desquelles les patients ayant subi une intervention ont répondu, par la poste, à un questionnaire concernant la douleur qu'ils ont éprouvée lors de cette intervention. Ces évaluations rétrospectives sont comparées à celles obtenues le jour de l'intervention. Les résultats de

ces études ne sont cependant pas univoques, d'où une importante controverse quant à la fiabilité de la mémoire de la douleur.

Un certain nombre d'études ont déterminé que la mémoire de la douleur est fiable. Par exemple, en 1979, des chercheurs ont montré que l'évaluation de douleurs neurochirurgicales aiguës, à l'aide du MPQ, cinq jours après l'opération était conforme à celle effectuée le jour même de l'opération (Hunter *et al.*, 1979). Dans une autre étude effectuée auprès de plus de 200 patientes, les évaluations verbales de la douleur de l'accouchement obtenues un à deux jours après l'accouchement étaient comparables à celles obtenues immédiatement après l'accouchement (Rofe et Algom, 1985). De même, un autre groupe de chercheurs (Kent, 1985) n'a trouvé aucune différence significative entre les évaluations simultanées et rétrospectives (délai de 3 mois) de la douleur associée à une visite de routine chez le dentiste pour un groupe de 125 patients. Plus récemment, il a été rapporté que des évaluations réalisées à l'aide du MPQ, deux semaines après l'extraction de dents de sagesse demeuraient conformes à celles effectuées immédiatement après la chirurgie (Beese et Morley, 1993). De même, la douleur associée à une colonoscopie a été évaluée à l'aide d'une échelle visuelle analogique chez 154 patients puis réévaluée, un mois plus tard, à l'aide d'une échelle en 10 points; aucun changement significatif n'a été rapporté (Redelmeier et Kahneman, 1996). Donc, selon ces études, à l'intérieur de délais allant de quelques jours à trois mois, la mémoire de la douleur semble fiable.

Dans le camp adverse, un bon nombre d'études ont rapporté des différences significatives entre les évaluations simultanées et rétrospectives de douleurs cliniques. De surcroît, les différences observées n'allait pas systématiquement dans une direction plutôt



que dans l'autre. Par exemple, contrairement aux résultats de Rofe et Algom (1985), Norvell *et al.* ont constaté que les évaluations rétrospectives de la douleur obtenues auprès de 138 femmes deux jours après l'accouchement étaient plus faibles que celles recueillies lors du travail (Norvell *et al.*, 1987). Par contre, dans une étude réalisée auprès de personnes atteintes de douleur chronique, 70% d'entre elles avaient, en rétrospective, évalué leur douleur pire que ce qu'elles avaient indiqué lors d'une première rencontre 18 mois plus tôt (Linton, 1991). Plus récemment, des études mieux élaborées ont aussi trouvé des différences entre les évaluations simultanées et rétrospectives. Tasmuth et ses collègues ont demandé des évaluations rétrospectives de la douleur post-opératoire à trois reprises (un, six et douze mois après l'intervention) à un groupe de 93 femmes ayant subi une mastectomie ou une résection d'une partie d'un sein. Ils ont rapporté que les évaluations rétrospectives de l'intensité de la douleur post-opératoire augmentaient chez les sujets qui développaient de la douleur chronique alors qu'elles diminuaient chez ceux qui n'en avaient pas (Tasmuth *et al.*, 1996). Puis une autre étude, s'échelonnant quant à elle sur dix semaines, a fait ressortir que la douleur ressentie au moment même de l'évaluation rétrospective influençait, de fait, cette dernière par un phénomène appelé l'assimilation. En clair, si la douleur présente lors de l'évaluation est faible, la douleur évaluée rétrospectivement est plus faible que celle rapportée lors du traitement, alors que l'inverse se produit si la douleur présente au moment de l'évaluation rétrospective est grande (Feine *et al.*, 1998). Ainsi, dans plusieurs conditions, il semble y avoir une distorsion de la mémoire de la douleur, soit une diminution ou une augmentation, et la douleur actuelle contribuerait de façon importante à cette distorsion.

Ces études arrivent donc à des conclusions qui se contredisent quant à la fiabilité et validité des évaluations rétrospectives. Il faut noter que, dès le départ, plusieurs points distinguent ces études dont, en premier lieu, la méthodologie employée (sélection des sujets, méthode d'interrogation, outils d'évaluation de la douleur, inclusion d'autres mesures...) et, en second lieu, les délais entre les évaluations simultanées et rétrospectives (en effet, il est impossible d'exclure que la mémoire de la douleur puisse varier dans le temps). Par ailleurs, dans certaines études, on a employé des échelles différentes pour les évaluations simultanées et les évaluations rétrospectives; cela complexifie grandement l'interprétation des résultats. Les études de Kent, Norvell et Linton sont, du point de vue méthodologique, un peu plus rigoureuses parce que la même échelle a été utilisée lors des différentes évaluations.

Tel que suggéré par les résultats énoncés précédemment, de nombreux obstacles s'interposent lors de l'étude de la mémoire chez une population de patients, par exemple la douleur ressentie au moment de l'évaluation. Certains facteurs d'origine psychologique peuvent aussi influencer la mémoire de la douleur tels que l'anxiété, une dépression concomitante, la médication, la chronicité... D'un autre côté, il ne faut pas négliger l'impact de l'évaluation elle-même sur la mémoire de la douleur. En effet, si un patient doit évaluer la douleur alors qu'il la ressent, il porte peut-être plus attention à ses caractéristiques que s'il n'avait pas eu à l'évaluer. Alors, si on lui demande une évaluation rétrospective, il se peut qu'il s'en souvienne mieux qu'un autre patient qui n'aurait pas eu à faire d'évaluation simultanée. Conséquemment, la validité des études sur la mémoire de la douleur doit toujours être soupesée en fonction des points suivants : (1) La méthode d'évaluation est-elle la même pour les évaluations simultanées et rétrospectives ? (2) Cette

méthode minimise-t-elle l'encodage verbal dont la mémoire pourrait être meilleure ? (3) Cette méthode utilise-t-elle des échelles relatives ? (4) La mesure simultanée porte-t-elle bien son attribut ? (5) Y a-t-il eu, avant l'évaluation, administration d'un questionnaire (comme le MPQ ou une échelle d'anxiété) pouvant biaiser l'évaluation ? (6) Y a-t-il présence de douleur au moment de l'évaluation rétrospective; si oui, est-elle moins ou plus intense que celle ressentie lors de l'évaluation simultanée ? (7) Y a-t-il eu apparition de douleur chronique (biais de déception) ? (8) Les sujets/patients évaluent-ils la dimension sensorielle ou affective de la douleur ? Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres facteurs peuvent altérer les évaluations rétrospectives de la douleur. Selon nous, il paraît nécessaire d'effectuer d'autres études afin d'identifier adéquatement les propriétés de la mémoire à long terme de la douleur.

### **2.3.2 Substrats neurophysiologiques de la mémoire de la douleur**

À notre connaissance, les substrats de la mémoire de la douleur n'ont pas fait l'objet d'études spécifiques, cependant, des extrapolations sont possibles à partir de certaines publications. Une rare étude de cas rapporte l'histoire d'un homme de 36 ans souffrant régulièrement d'attaques de panique qui, par ailleurs, devait subir une thalamotomie stéréotaxique pour le traitement de ses tremblements essentiels invalidants. Les chercheurs ont provoqué des microstimulations dans le noyau *ventralis caudalis*, le principal noyau somatosensoriel du thalamus. La stimulation de cette région a eu pour effet de recréer chez le patient une douleur thoracique comparable à celle qu'il éprouvait lors de ses attaques de panique, incluant l'importante dimension affective. Les examens subis alors ont montré que la douleur ne pouvait pas être d'origine cardiaque. Cette observation rappelle l'importance

des liens entre ces différentes régions de même que la présence de circuits qui pourraient constituer le substrat de la mémoire de la douleur. La réactivation de tels circuits, d'une façon contrôlée, permettrait de se remémorer la sensation (Lenz *et al.*, 1995). Le même auteur a proposé un modèle pour la mémoire de la douleur, modèle dit sensoro-limbique (Lenz *et al.*, 1997). Il explique, dans un premier temps, que la stimulation du thalamus évoque la douleur et sa composante affective seulement chez des patients ayant déjà vécu cette douleur. Ensuite, il rappelle que le docteur Wilder Penfield<sup>1</sup> a déjà reproduit chez des patients, qu'il avait stimulés, des visions et des sons accompagnés d'émotions. Lenz suggère que la stimulation du thalamus pourrait créer de telles sensations. Puis, il présente des preuves anatomiques et physiologiques de l'incidence de signaux dans le thalamus ainsi que de connections entre le thalamus et certaines régions corticales. Il est possible que les neurones corticaux de l'aire S2 et de l'insula soient effectivement impliqués dans la mémoire de la dimension sensorielle de la douleur et que le thalamus le soit pour la dimension affective. De plus, les liens entre ces régions seraient importants, entre autres, pour la consolidation de la mémoire. Cependant, il se peut aussi que l'émotion survienne sans la sensation et *vice versa*. Ces mémoires pourraient être distinctes, mais associées, et la sensation de douleur vécue par un patient dans le passé pourrait être réactivée par la stimulation thalamique.

---

<sup>1</sup> Le Dr W. Penfield est un neurochirurgien qui a consacré sa vie à l'étude du cerveau et au traitement de l'épilepsie; et il est le fondateur de l'Institut neurologique de Montréal.

### 2.3.3 Application des modèles théoriques à la mémoire de la douleur

Dans les prochaines lignes, la mémoire d'une sensation douloureuse hypothétique sera présentée dans les termes des trois différents modèles de la mémoire précédemment discutés.

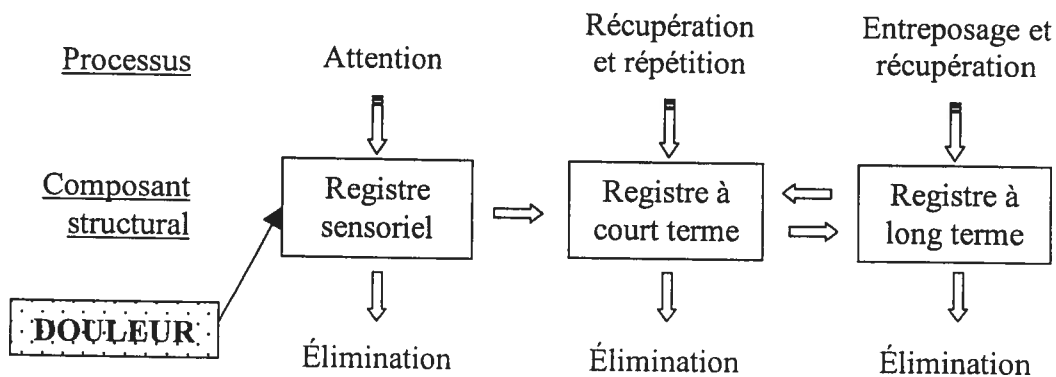
#### Mise en situation :

Julie, une jeune femme en bonne santé, s'est rendue chez son dentiste pour l'extraction de ses quatre dents de sagesse semi-incluses; leur orientation était incorrecte et elles risquaient de causer des blessures.

#### 2.3.3.1 Le modèle de Atkinson et Schiffrin

Les trois différents registres de ce modèle peuvent être le siège de la mémoire de la douleur (Figure 2.1).

Figure 2.1 : Le modèle de Atkinson et Shiffrin (adaptation)



Dans un premier temps, la douleur occupe le registre sensoriel et deux opérations peuvent théoriquement être faites : Julie peut, soit négliger la douleur –ce qui serait concrètement difficile à réaliser, mais en éliminerait la trace mnésique du registre

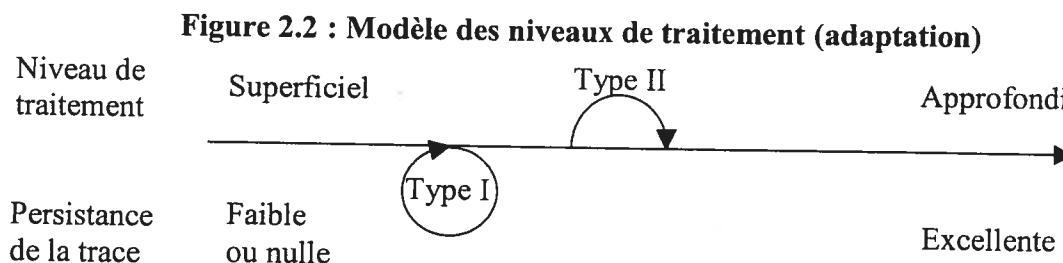
sensoriel—, soit y porter attention. Si Julie porte son attention sur la douleur, la représentation de la douleur peut alors être transférée dans le registre à court terme. Dans ce cas, deux opérations restent théoriquement possibles : ou bien Julie accorde peu d'importance à cette douleur, ce qui mène à l'élimination de la trace mnésique, ou bien elle se la remémore consciemment, ce qui la garde dans sa pensée. Plus Julie sera concentrée sur sa douleur, plus, toujours selon ce modèle, la trace mnésique de cette douleur deviendra robuste dans le dernier registre, le registre à long terme. Ce dernier registre permettrait à Julie, plusieurs jours et même plusieurs mois après l'intervention, de conserver un souvenir de cette douleur. Selon l'importance de ce qui s'est passé dans le registre à court terme depuis l'événement<sup>1</sup>, la trace sera plus ou moins robuste dans le registre à long terme. Julie pourra y avoir recours consciemment, si nécessaire, et la trace pourra s'estomper, si elle n'est jamais réactivée. Donc, le jour de l'évaluation rétrospective, Julie pourrait récupérer la trace mnésique de la douleur du registre à long terme afin de la ramener dans le registre à court terme pour être en mesure d'effectuer ladite évaluation rétrospective. Bien entendu, différents déficits risquent de compromettre la mémoire de la douleur qu'aurait Julie. Il peut s'agir, par exemple, d'une élimination fortuite, d'une mauvaise répétition causant une distorsion dans la mémoire à court terme ou d'un problème de localisation dans le registre à long terme. Par ailleurs, la représentation de la douleur subit certainement des modifications lors du transfert d'un registre à l'autre, modifications qui peuvent mener à la perte de différents éléments.

---

<sup>1</sup>C'est-à-dire l'importance de l'itération lors du premier passage dans le registre à court terme et aussi le nombre de répétitions depuis son premier passage. Évidemment, il n'y a pas moyen de mesurer directement l'importance de chacun des passages dans le registre à court terme afin de prédire la qualité de la trace dans la mémoire à long terme.

### 2.3.3.2 Le modèle des niveaux de traitement (Craik et Lockhart)

Selon ce modèle, la mémoire de la douleur ne serait bonne que si la douleur était le substrat d'un traitement approfondi (Figure 2.2).



Reprenons l'exemple de Julie chez le dentiste pour le décrire, cette fois, dans les termes de Craik et Lockhart. Deux avenues sont possibles : soit Julie maintient la douleur à l'aide de la répétition d'un même traitement dans sa mémoire primaire (Type I), ce qui n'a pas d'effet d'amélioration de la trace, soit elle approfondit les traitements (Type II), ce qui augmente la persistance de la trace. Selon ce modèle, si Julie pouvait se rappeler la douleur au niveau sensoriel (la revivre en quelque sorte), la mémoire qu'elle en aurait serait faible ou nulle. Par contre, si Julie en approfondissait le traitement, comme par exemple en décrivant la douleur en question, en l'évaluant à l'aide d'une échelle, en faisant consciemment des liens contextuels, ou même simplement en se la remémorant consciemment, alors, toujours selon ce modèle, la mémoire qu'elle en aurait serait meilleure. Le niveau de traitement aurait donc un impact sur la qualité de la trace. Par exemple, voici deux niveaux de traitement différents : (1) niveau superficiel, Julie se dit « ça faisait mal »; (2) niveau plus approfondi, Julie se dit « la douleur était intense, diffusait dans la mâchoire, s'étendait dans les oreilles, allait et venait, était pire le soir et il y avait une sensation de chaleur ». Selon le modèle de Craik et Lockhart, la mémoire serait

meilleure dans le second cas. Ainsi, théoriquement, on pourrait augmenter la mémoire qu'ont les patients de leur douleur en leur demandant de la caractériser, de l'évaluer, etc. Cependant, il faut se demander si cette meilleure mémoire est réellement la mémoire de la douleur ou seulement la mémoire des termes utilisés pour la décrire. Selon ce modèle, Julie pourrait récupérer et réactiver la trace mnésique de la douleur le jour de l'évaluation rétrospective, et la probabilité de la retrouver de façon fiable serait plus élevée si elle avait été encouragée à décrire la douleur lorsqu'elle était effectivement présente. Ensuite, afin de procéder à l'évaluation, Julie devrait mettre la trace dans la mémoire primaire et l'y maintenir par un processus de répétition (Type I).

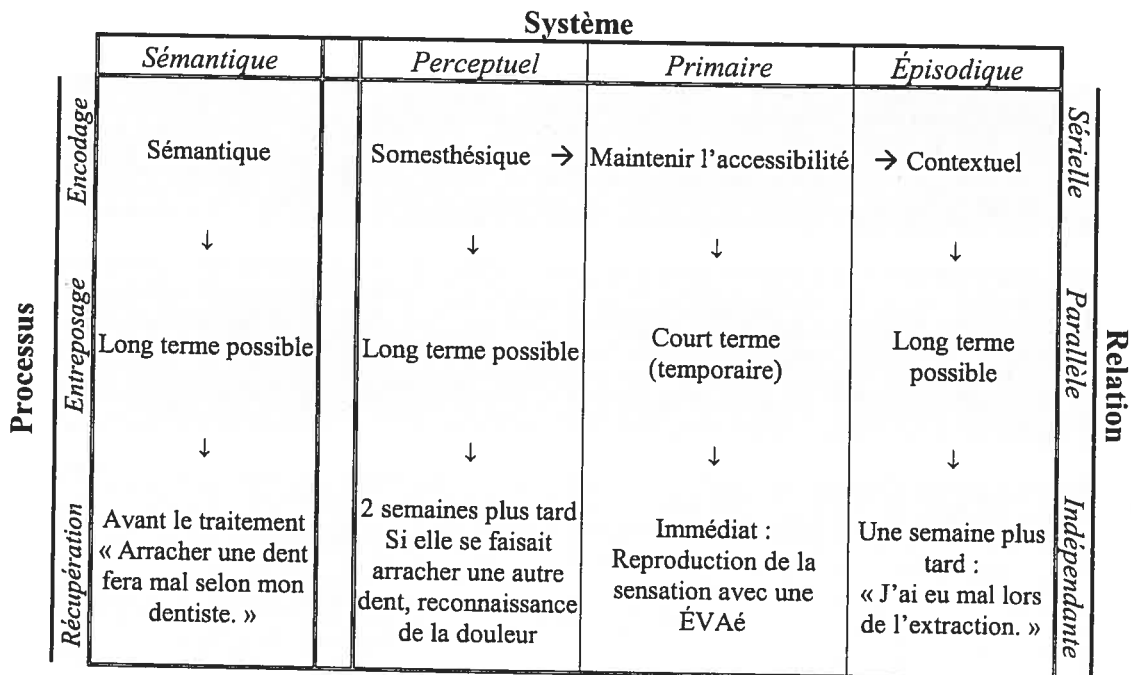
#### 2.3.3.3 *Le modèle de Tulving*

Si l'on tente d'appliquer le modèle de Tulving au cas de Julie (Figure 2.3), quatre des cinq systèmes peuvent être utilisés. En effet, le système procédural concerne les habiletés motrices et le conditionnement et ne peut donc pas être employé pour décrire la mémoire de la douleur au sens où on l'entend dans la présente étude. En premier lieu, le système perceptuel pourrait théoriquement préserver une trace sensorielle de la sensation, même à long terme. Cela permettrait de reconnaître une même stimulation lors de sa répétition. Ce système a été créé pour expliquer les mémoires visuelle et auditive; il peut s'appliquer aux mémoires somesthésiques mais d'une façon moins précise. En effet, il est fort probable que les qualités de la douleur soient reconnues (extraction d'une dent vs traitement de canal) mais non son intensité spécifique. En second lieu, la mémoire sémantique aurait permis à Julie de mémoriser des informations associées à cette chirurgie et dites par son dentiste : « Ça va faire mal après, mais je vous donnerai de la codéïne ». La mémoire sémantique



d'une description ne nécessite pas d'avoir expérimenté cette douleur spécifique. En troisième lieu, la mémoire primaire permettrait théoriquement de maintenir en mémoire la sensation éprouvée; cette mémoire serait sollicitée dans une tâche d'évaluation avec une ÉVAé. Enfin, la mémoire épisodique, qui se rapporte à ce qu'on a vécu, permettrait à Julie de se souvenir de la douleur associée à l'opération mais aussi du contexte et de son état d'esprit. Il n'est pas clair que cette mémoire permettrait d'avoir de la précision quant à l'intensité de la douleur ressentie. C'est une des questions auxquelles il faudra répondre.

**Figure 2.3 : Cheminement de la douleur dans le modèle de la mémoire de Tulving**



Dans le modèle de Tulving, la douleur occupe successivement les systèmes perceptuel, primaire et épisodique. Les mémoires sont entreposées dans chacun des systèmes de façon parallèle et, selon ce qui se produit, peuvent être récupérées indépendamment.

## **2.4 L'étude de la mémoire à court terme de la douleur**

À la lumière de ce qui précède, il est évident qu'il faut améliorer notre compréhension de la mémoire de la douleur. Si, cliniquement, la mémoire à long terme de la douleur apparaît la plus sollicitée, alors pourquoi faudrait-il étudier la mémoire à court terme de la douleur ? Dans les prochaines lignes, les raisons pour lesquelles la mémoire à court terme de la douleur a été choisie comme sujet d'étude seront présentées; s'y enchaînera une révision des études portant sur la mémoire à court terme des informations somesthésiques.

### **2.4.1 Pourquoi étudier la mémoire à court terme ?**

La pertinence d'étudier directement la mémoire à court terme ne fait aucun doute : n'est-ce pas le type de mémoire sollicité lorsque, en milieu clinique, une évaluation est demandée immédiatement après une intervention ? N'est-ce pas aussi généralement le cas lors des évaluations dites simultanées requises dans les études portant sur la mémoire de la douleur ? Dans plusieurs cas, ces évaluations sont en effet obtenues dans les premières minutes suivant l'intervention. Mieux comprendre les modifications que subit la trace mnésique pourrait nous permettre de mieux interpréter les études sur la mémoire de la douleur, tout comme cela pourrait mener les cliniciens à une meilleure critique de ces évaluations post-intervention.

Il faut d'abord souligner l'importance du traitement précédant l'encodage à long terme dans chacun des modèles de la mémoire décrit en 2.2. Dans le modèle de Atkinson et Shiffrin, le passage en mémoire à court terme est explicitement préalable à l'encodage dans la mémoire à long terme. Par ailleurs, bien que le modèle de Craik et Lockhart ne repose

sur aucune composante structurale, il demeure possible d'utiliser ce modèle pour expliquer le même phénomène. Voici selon quelle logique y parvenir. D'une part, un traitement superficiel laisse une trace brève; d'autre part, un traitement superficiel précède toujours un traitement plus approfondi. De plus, s'il y a répétition d'opérations simples sur un contenu donné (la mémoire primaire), elle précède nécessairement son analyse plus poussée. Enfin, dans le modèle de Tulving, la mémoire de travail précède aussi l'encodage dans la mémoire épisodique; le processus de traitement s'y déroule, en effet, de façon sérielle. Alors, bien que ce ne soit pas la seule voie possible, la contribution de la mémoire de travail ou à court terme (nous ne faisons pas de distinction entre ces deux expressions) dans le processus d'encodage dans la mémoire à long terme est indéniable.

Certains chercheurs se sont intéressés aux interactions entre ces deux formes de mémoire, la mémoire à court terme et la mémoire à long terme, et l'imagerie cérébrale a contribué à identifier les structures impliquées dans celles-ci. À ce propos, dans une courte recension, Wagner fait état de preuves par la neuroimagerie des liens unissant ces deux mémoires (Wagner, 1999). Il rapporte en effet que certaines régions cérébrales utilisées par la mémoire de travail sont aussi activées lors de certains processus de la mémoire épisodique, soit généralement l'encodage et la récupération. Plus récemment, une autre revue des écrits fait ressortir des corrélations entre fonctions et anatomie des processus de contrôle dans la mémoire, rapportant que les aires de Broadman 44, 45 et 47 sont fortement activées lors de tâches ciblant la mémoire de travail de même que durant l'encodage et la récupération de la mémoire à long terme (Buckner, 2003). Dans une étude récente, des chercheurs ont demandé à huit sujets d'effectuer une tâche de reconnaissance de visages pendant une séance de neuroimagerie (Ranganath *et al.*, 2003). L'intervalle mnésique était,

soit de 7 secondes –pour déterminer l’activation relative à la mémoire à court terme–, soit de 5 à 10 minutes –pour déterminer celle de la mémoire à plus long terme. Lors de la comparaison des patrons d’activation relatifs à ces deux tâches, les chercheurs ont constaté le chevauchement de nombreuses zones. Les analyses de conjonctions ont notamment démontré le recouvrement dans les régions suivantes : AB 44, 45 et 47 (les gyri frontaux bilatéraux), auxquelles s’ajoute le gyrus frontal postérieur médian gauche (AB 9) dans le cas de l’encodage. Ces mêmes régions auxquelles se joignent le gyrus frontal antérieur médian gauche (AB 10/46) et le gyrus frontal supérieur droit (AB 10) montrent un recouvrement dans le cas de la récupération. Dans ce cas, en particulier, l’activation de zones communes lors des tâches de reconnaissance peut s’expliquer de différentes manières. D’abord, il est possible que la résolution de l’appareil ne soit pas suffisante, empêchant de discriminer correctement, d’un processus à l’autre, les zones discrètes d’activation cérébrale. Deuxièmement, il se peut que ces processus fassent appel à des populations neuronales distinctes, mais qui se retrouvent anatomiquement enchevêtrées. Finalement, il est aussi possible que les neurones impliqués dans la mémoire à court terme soient eux-mêmes mobilisés pour effectuer ces processus de la mémoire à long terme, tel que suggéré par les modèles de Atkinson et Shiffrin et de Tulving. Quoiqu’il en soit, ces modèles de la mémoire, ainsi que les mécanismes cérébraux qui sous-tendent les différents processus impliqués, appuient l’hypothèse d’une contribution essentielle de la mémoire à court terme à l’encodage ou à la récupération des informations de la mémoire à long terme. Ainsi, il nous apparaît nécessaire de mieux comprendre ces processus avant de spéculer sur les mécanismes neuropsychologiques et neurophysiologiques de la mémoire explicite à plus long terme de la douleur.

### 2.4.2 La mémoire à court terme somesthésique

Un nombre très limité d'études s'est attardé à la mémoire à court terme des sensations somesthésiques. En effet, les études concernant la mémoire à court terme portent généralement sur des tâches cognitives, visuelles ou auditives. Dans les prochaines lignes, quelques études touchant ce type particulier de mémoire à court terme seront présentées.

La mémoire de travail somesthésique est généralement étudiée en demandant à des sujets primates (humains ou non) d'effectuer une tâche de comparaison entre deux stimuli. Par exemple, une stimulation vibrotactile est appliquée sur la peau du sujet; après quelques secondes, elle est suivie d'une seconde stimulation. On demande alors au sujet, par exemple, de dire si ces deux stimulations sont identiques ou différentes, ou encore si la seconde stimulation est plus accentuée que la première. Les sujets doivent donc maintenir les informations relatives à la première stimulation dans leur mémoire à court terme afin d'effectuer la comparaison ultérieurement. En utilisant un tel paradigme, une augmentation de l'activité neuronale unitaire (« single unit ») dépendante de la fréquence de la première stimulation vibrotactile a été enregistrée dans le cortex préfrontal chez le singe (Romo *et al.*, 1999). Cela suggère que certains neurones du cortex préfrontal contribuent à « garder en mémoire » la fréquence du premier stimulus afin de la comparer à celle du stimulus subséquent. Ces résultats sont généralement en accord avec la littérature publiée sur la mémoire à court terme où le rôle du cortex préfrontal a déjà été démontré (Curtis et D'Esposito, 2003). Dans une publication subséquente, Romo suggère également un rôle pour d'autres aires cérébrales (Romo *et al.*, 2002) dont le cortex somatosensoriel secondaire et le cortex prémoteur. Dans ce cas particulier, cependant, l'augmentation de l'activité dans

le cortex prémoteur pourrait être reliée, du moins en partie, à la préparation motrice que nécessite la manipulation d'une clé pour répondre à la question posée.

Par ailleurs, l'occurrence, dans la séquence de stimulations, des moments où les neurones modifient leur fréquence de décharge suggère un rôle supplémentaire pour la préparation motrice. Dans un article voulant élucider la fonction du cortex somatosensoriel S1 dans la mémoire à court terme, il a été démontré que la performance lors de la comparaison de stimulations vibrotactiles sur de courts intervalles (300-600 ms) est meilleure lorsque les stimulations sont appliquées d'un seul côté du corps plutôt que dans deux hémicorps différents (Harris *et al.*, 2002). Par contre, lorsque l'intervalle interstimuli est plus long (900 ou 1200 ms), les performances se rapprochent quels que soient les sites des deux stimulations (du même côté du corps ou non). Cela suggère un rôle important pour l'aire corticale S1 lorsque l'intervalle est court, car la représentation dans S1 est uniquement controlatérale. Cela suggère également l'implication de S2 lorsque l'intervalle est plus long parce que la représentation y est bilatérale –il s'ensuivrait une comparaison plus efficace des stimulations appliquées sur les deux côtés du corps. Il est aussi possible que la comparaison sur des intervalles courts ne fasse intervenir que la mémoire sensorielle; sur des intervalles plus longs, elle dépendrait de la mémoire à court terme. Relatée dans le même article, une seconde expérience vient appuyer ces résultats en ayant recours, cette fois, à la stimulation magnétique transcrânienne (TMS). Les sujets ont dû comparer deux stimulations vibrotactiles séparées d'un intervalle de 1500 ms reçues sur un même doigt, en l'occurrence l'index de la main droite ou l'index de la main gauche. Dans l'intervalle entre les deux stimulations, un train d'impulsions TMS a été administré sur l'aire de représentation de la main dans S1 ipsilatérale ou controlatérale, selon le cas, après 300, 600,

900 ou 1200 ms. Les auteurs rapportent de meilleures performances lorsque le train d'impulsions TMS est présenté de façon ipsilatérale à la stimulation plutôt que controlatérale : effectivement, les stimulations tactiles sont traitées dans le cerveau du côté opposé à la stimulation. De plus, l'effet du train d'impulsions TMS est plus grand lorsque généré plus tôt dans l'intervalle de rétention, corroborant ainsi le rôle de S1 tôt dans la mémoire sensorielle.

Tout récemment, l'imagerie cérébrale a de nouveau été mise à profit pour étudier le rôle du cortex préfrontal dans la discrimination tactile de différents objets. Dans l'intervalle séparant la présentation de deux objets de même poids et de forme semblable, prismes rectangulaires plus ou moins long, la tâche de comparaison a entraîné l'activation du cortex cingulaire antérieur, de S1 et S2, en plus de différentes régions du cortex préfrontal (Stoeckel *et al.*, 2003).

Les études décrites ci-dessus indiquent qu'un ensemble de régions –les aires S1 et S2, le cortex préfrontal, le cortex cingulaire antérieur et le cortex prémoteur– pourraient être impliquées au cours de tâches de comparaison réalisées sur des intervalles nécessitant la rétention d'informations de type somatosensoriel. Comme certaines de ces régions entrent en jeu dans la perception de la douleur, elles pourraient contribuer à la mémoire à court terme de la douleur.

## 2.5 Considérations méthodologiques

Au cours d'une étude sur la mémoire à court terme de la douleur (étude précédant de peu celle qui fait l'objet du présent mémoire), nous avons utilisé, en laboratoire, un paradigme de comparaison en discrimination différée semblable à ceux présentés plus haut. La tâche allait comme suit. Le sujet reçoit une première stimulation via une thermode de contact. Au bout de quelques secondes, sur le même site, il reçoit une autre stimulation d'intensité identique à celle de la première ou différente, selon le cas. Immédiatement après, le sujet doit indiquer si la deuxième stimulation était pareille à ou différente de la première; il doit aussi estimer son degré de certitude quant à sa réponse. Enfin, il obtient une rétroaction (auditive ou visuelle) sur sa performance. Subdivisée en trois expériences différentes, l'étude en question a permis d'examiner l'effet de trois paramètres, indépendamment l'un de l'autre, sur la performance, soit (1) l'écart de température entre les deux stimulations, (2) la durée de l'intervalle mnésique interstimuli et (3) la durée de chacune des stimulations. Les résultats de cette étude démontrent une dégradation de la trace mnésique avec le temps pour des intervalles variant de 4 à 14 secondes (Rainville *et al.*, 2004)<sup>1</sup>. Cette étude a l'avantage d'être relativement simple et le paradigme employé peut être exporté directement en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Cependant, elle a aussi certaines limitations. Entre autres, elle ne permet pas de déterminer les composantes de la stimulation qui, une fois mémorisées, servent ensuite à la comparaison. Il est donc difficile d'en comparer les résultats, de quelque façon que ce soit, aux évaluations faites en milieu clinique.

---

<sup>1</sup> Cet article a été publié dans la revue *Pain* et est disponible à l'annexe H. Il faut noter que le travail réalisé pour cet article ne recoupe en aucun temps celui qui a servi à l'élaboration du présent mémoire. Évidemment, les participants diffèrent d'une étude à l'autre.



Afin de remédier à ces limitations, nous avons décidé, dans la présente étude, d'employer une échelle visuelle analogique électronique. Cet outil permet en effet de demander au sujet de reproduire le décours temporel de la sensation ou de chacune de ses dimensions. Plusieurs informations peuvent être extraites de ces courbes d'évaluation dont la valeur maximale, le temps de montée, le temps de descente, l'aire sous la courbe et la réponse moyenne. Ce sont autant de variables qui permettent d'identifier ce qui est adéquatement maintenu en mémoire et ce qui ne l'est pas. Ainsi, il devient possible de déterminer ce qui est le mieux préservé et de cerner les informations qui contribuent aux évaluations rétrospectives de la douleur.

## 2.6 Buts de la recherche et hypothèses

La présente étude comporte trois expériences qui ont été réalisées afin de déterminer les propriétés de la mémoire à court terme de la douleur. L'étude précitée nous laissait croire qu'il y aurait perte graduelle des informations relatives à la sensation (Rainville *et al.*, 2004). Pour la première de nos trois expériences, nous nous sommes demandé si cette perte graduelle s'applique à toutes les informations relatives à la sensation, informations mesurables à l'aide de l'ÉVAé (paramètres de durée et d'amplitude), ou uniquement à certaines d'entre elles telles que la valeur maximale. Cette expérience devait permettre d'identifier les composantes de la stimulation contribuant principalement à la mémoire à court terme de la douleur<sup>1</sup>. Pour bâtir la seconde expérience, nous nous sommes demandé si l'intensité et le désagrément sont sujets aux mêmes modifications que celles observées dans l'expérience 1 ou si des différences existent dans la mémoire à court terme pour ces deux

---

<sup>1</sup> Cette première expérience a été présentée par affiches dans différents congrès dont celui de la Société canadienne contre la douleur qui a eu lieu à Toronto; elle est disponible à l'annexe F.

dimensions de la douleur<sup>1</sup>. Compte tenu des distinctions connues entre ces deux dimensions de la douleur, nous nous attendions à ce que la mémoire de l'intensité de la douleur et celle de son désagrément soient différentes. Enfin, la troisième expérience a été menée pour voir si la diminution observée dans l'évaluation de la durée au cours des deux premières expériences n'est due qu'à la présence d'un schème prototypique de la sensation que le sujet répète systématiquement, sans tenir compte des variations concrètes de la durée réelle des sensations. Considérant nos résultats déjà publiés, nous nous attendions à ce que, lors du passage en mémoire, il y ait une dégradation systématique de certaines informations, avec le temps et quelle que soit la stimulation.

---

<sup>1</sup> Cette seconde expérience a fait l'objet d'une présentation au congrès annuel de la *Society for Neuroscience* à la Nouvelle-Orléans; elle est disponible à l'annexe G.

### 3 MÉTHODOLOGIE

La série de trois expériences menées dans le cadre de notre projet de maîtrise vise à déterminer les propriétés psychophysiques de la mémoire à court terme de stimuli thermiques expérimentaux douloureux. Pour ce faire, les sujets ont dû reproduire l'évolution de la sensation, soit simultanément (dans la condition témoin), soit après un court laps de temps (dans la condition mnésique d'intérêt) et ce, à l'aide d'une échelle visuelle analogique électronique (ÉVAé). Dans l'évaluation rétrospective de la douleur (condition mnésique), le sujet devait, après le délai, reproduire l'évolution de la sensation tel qu'il l'aurait fait de façon simultanée.

#### 3.1 Sujets

Dix sujets ont pris part à chaque expérience. Ils ont été recrutés sur le campus de l'Université de Montréal au moyen d'affiches placées dans les différents pavillons. Chacun des participants a signé un formulaire de consentement avant le début de l'expérience, indiquant par ce fait qu'il comprenait bien (1) toutes les procédures impliquées, (2) qu'il recevrait des stimulations douloureuses et (3) qu'il pourrait se retirer de l'étude à tout moment et sans préjudice<sup>1</sup>. Le protocole de recherche a été approuvé par le Comité d'éthique de la recherche des sciences de la santé de l'Université de Montréal. Aucun sujet

---

<sup>1</sup> Le formulaire de renseignements aux participants et le formulaire de consentement sont reproduits à l'annexe A.

ne s'est prévalu de son droit de retrait dans le cadre de l'étude. Aucun sujet n'a participé à plus d'une expérience.

### 3.2 Stimulations

En cours d'expérience, toutes les stimulations ont été appliquées sur la face interne des avant-bras<sup>1</sup> à l'aide d'une thermode de contact de la compagnie MEDOC Advanced Medical Systems (Israël). La surface de contact était de 30 mm sur 30 mm et l'alimentation calorifique se faisait grâce à un élément de type Pelletier. La température était contrôlée par ordinateur via la rétroaction d'un thermocouple placé sous la plaque chauffante. Les deux premières expériences ont été réalisées avec un appareil fabriqué en 1998 (MEDOC TSA-2001 (I)) et la dernière a été effectuée avec un modèle plus récent (2002 – MEDOC TSA II) permettant de lire en parallèle le décours de la stimulation grâce à une sortie analogique. Les stimulations successives étaient administrées sur des sites différents; un intervalle minimal de 6 minutes séparait les stimuli appliqués sur un même site, cela afin de minimiser la sensibilisation au cours de la session d'expérimentation. Enfin, des périodes de repos étaient accordées au sujet entre les blocs d'essais, repos de durée jugée nécessaire par le sujet lui-même pour assurer son confort.

Dans le déroulement de toutes les expériences, le niveau thermique de base a été fixé à 34°C. Cette température avoisine la température externe de la peau et ne crée donc pas de sensations de fraîcheur, de tiédeur ou de chaleur. La température ambiante a été maintenue aux environs de 21°C (Strigo *et al.*, 2002). D'un essai à l'autre, le niveau de stimulation

---

<sup>1</sup> Pour une présentation des sites de stimulation et de la position du sujet, on peut consulter l'annexe B.

thermique a varié entre 47,0°C et 49,0°C. Ces niveaux de température sont couramment employés en recherche sur la douleur, car ils produisent une sensation de douleur chez une majorité de sujets sans toutefois causer de lésions pour les durées de stimulation utilisées. Enfin, les stimuli duraient de 8 à 10 secondes –pour des plateaux de 4 à 6 secondes–, les pentes ascendantes et descendantes reliant niveau de base et plateau étant d'une durée constante de deux secondes.

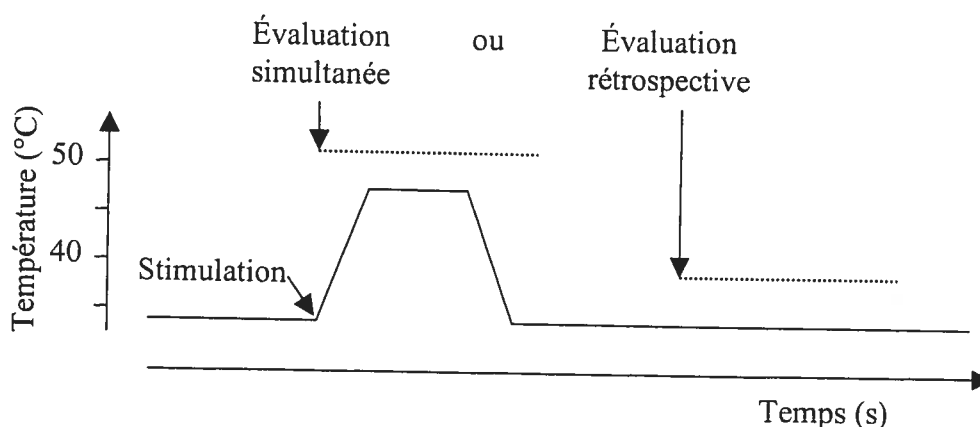
### **3.3 Échelle visuelle analogique électronique**

Les sensations de douleur ont été reproduites sur une échelle visuelle analogique électronique (ÉVAé), d'une longueur de 9 cm, disponible avec l'équipement d'enregistrement physiologique de BIOPAC Systems Inc.. Provoqué par le sujet, le déplacement du curseur le long de l'axe de l'échelle entraîne une modification analogique de la tension à la sortie, tension convertie par le programme d'enregistrement ACQKnowledge 3.7.1 en un point sur une échelle graduée de 0 à 100 unités de douleur ou de désagrément, selon le cas. L'ajout d'un axe temporel, perpendiculaire à l'échelle graduée, permet de visualiser la courbe décrite par ces points-tensions tout le temps que dure l'évaluation. L'enregistrement de la tension et sa conversion peuvent être simultanés si l'ÉVAé est adéquatement calibrée. Les deux extrémités de l'échelle portent des ancrages verbaux, soit : « Pas de douleur » – « Douleur la plus intense imaginable », pour l'intensité, ou « Pas de désagrément » – « Douleur la plus désagréable imaginable », pour le désagrément.

### 3.4 Déroulement d'une expérience

Quelle que soit l'expérience réalisée, les essais sont menés selon le même *modus operandi* (voir Figure 3.1). Voici le déroulement typique des deux types d'essais. Pour le type simultané, le sujet reçoit une stimulation et en fait simultanément l'évaluation à l'aide de l'échelle visuelle analogique électronique. Pour toutes les évaluations rétrospectives, l'ÉVAé est initialement soustraite à la vue du sujet pour toute la durée de la stimulation et du délai subséquent, cela afin d'éviter la prise de repères visuels de sa part. Le dévoilement de l'ÉVAé à la fin du délai, 6 à 10 secondes plus tard, donne au sujet le signal de procéder à l'évaluation rétrospective. Il faut dire que le sujet a pu, avant le début de l'expérience, apprendre à manipuler l'ÉVAé jusqu'à la maîtrise adéquate des concepts d'évaluation, simultanée ou rétrospective, de l'évolution de la sensation. De trois à quatre essais ont généralement suffi à atteindre ce niveau de performance. Avec chaque sujet, chacune des différentes conditions d'expérimentation est répétée quatre fois. Ces différentes conditions lui sont toujours présentées en mode semi-aléatoire, c'est-à-dire que, d'un sujet à l'autre, l'ordre de présentation varie de façon pseudo-aléatoire –un générateur peut y pourvoir– sous contrainte que tous les blocs surviennent le nombre de fois requis.

**Figure 3.1 : Déroulement d'un essai**



### 3.4.1 Expérience 1 : Effet du délai sur les évaluations de la douleur

Sept hommes et trois femmes ont participé à la première expérience; leur moyenne d'âge est de 26,5 ans avec un écart-type de 9,1 ans. La simultanéité et les différents délais (6, 10 et 14 secondes) devraient permettre d'évaluer l'effet de la durée de l'intervalle mnésique sur la capacité de rétention des informations relatives à la sensation (Rainville *et al.*, 2004). Bien que chaque sujet doive reproduire l'évolution de la douleur dans le temps, aucune indication ne lui est fournie dans cette expérience quant à la différence entre le désagrément lié à la douleur et son intensité. Quatre températures différentes sont administrées, soit : 47,5°C, 48,0°C, 48,5°C et 49,0°C. La longueur du plateau, identique pour toutes les stimulations de cette expérience, est de quatre secondes; par conséquent, la durée des stimulations est toujours de huit secondes. Huit blocs de huit stimulations sont présentés à chaque sujet, soit deux blocs pour chaque condition d'évaluation (simultanée, délai de 6, 10 ou 14 secondes). Dans chacun des blocs, se retrouvent deux répétitions de chacun des quatre niveaux différents d'intensité. Chaque sujet subit donc au total 64 stimulations, soit quatre stimulations pour chaque condition de température et de délai.

### 3.4.2 Expérience 2 : Effet de la dimension de la douleur sur les évaluations rétrospectives

Cinq hommes et cinq femmes dont l'âge moyen est de 27,4 ans (avec écart-type de 10,1 ans) ont participé à cette expérience. Chaque sujet a collaboré à deux séances d'expérimentation consacrées à l'évaluation de l'intensité et du désagrément de la douleur dans des blocs d'essais distincts. Nous décrivons l'intensité de la douleur comme « la force » de la sensation de brûlure, de picotement ou de pincement que le sujet sent sur sa peau lors de l'application de la stimulation. Et nous décrivons le désagrément plutôt comme

l'inconfort général causé par cette sensation<sup>1</sup>. Nous avons intérêt à demander des évaluations distinctes en ce qui a trait aux dimensions affective (le désagrément) et sensorielle (l'intensité) de la douleur parce que nous savions que différentes structures corticales et sous-corticales sont impliquées dans les processus mêmes de l'expérience de ces deux dimensions (Hofbauer *et al.*, 2001; Rainville *et al.*, 1997); notre intérêt tient aussi à l'importance potentielle de la dimension affective dans la mémorisation. Au cours de chacune des deux séances auxquelles il participe, un sujet reçoit quatre blocs de neuf stimulations chacun, soit un bloc dévolu à chaque combinaison possible alliant, d'une part, l'évaluation de l'intensité de la douleur ou de son désagrément et, d'autre part, l'évaluation simultanée à la stimulation ou rétrospective après un délai de 14 secondes. L'ordre des blocs est équilibré et les blocs où l'évaluation se fait concurremment servent de blocs-contrôles. Chaque bloc comporte deux itérations de chacune des quatre stimulations thermiques d'une durée de 8 secondes (47,0°C, 47,5°C, 48,0°C et 48,5°C), et un essai supplémentaire de 9 secondes à 48,0°C. Cette stimulation, plus longue, se retrouve n'importe où, au hasard, dans la séquence d'essais formant un bloc sauf en première position, cela afin d'éviter que le sujet la considère comme étant la norme. L'insertion de ce leurre a pour but de voir si les sujets reproduisent attentivement l'évolution dynamique de ce qu'ils éprouvent ou ont éprouvé lors de l'application de la stimulation ou bien s'ils reproduisent systématiquement une dynamique prototypique.

---

<sup>1</sup> Pour une description détaillée des instructions relatives à l'intensité et au désagrément, on peut consulter l'annexe C.



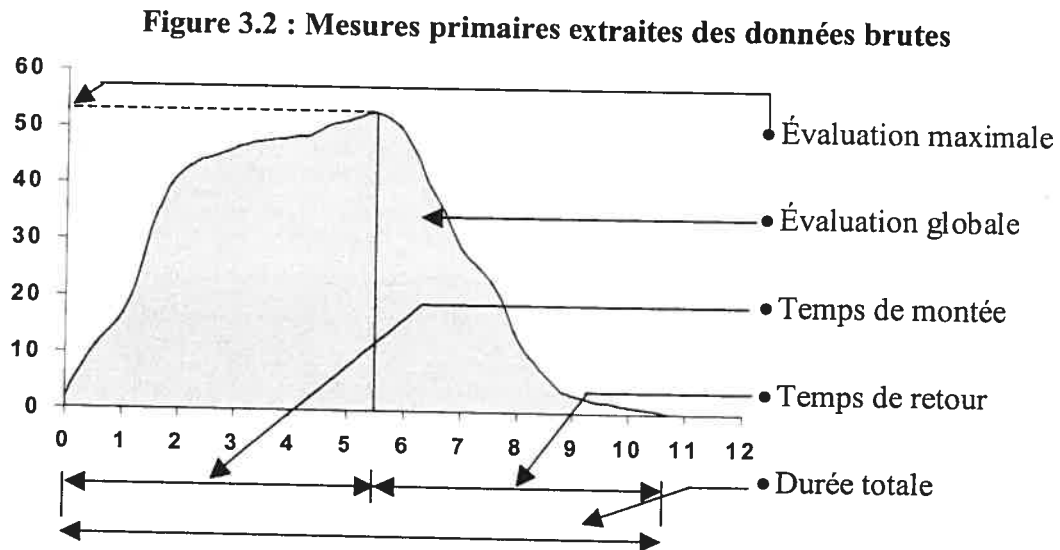
### **3.4.3 Expérience 3 : Effet de la durée de la stimulation sur la mémorisation de la dynamique de la sensation**

Cinq hommes et cinq femmes d'un âge moyen de 24,4 ans (avec écart-type de 8,5 ans) ont participé à la troisième expérience. Suite aux résultats de la seconde expérience, nous souhaitons examiner l'effet de la durée de la stimulation sur la mémoire de la douleur. Pour ce faire, les sujets doivent évaluer, concurremment au stimulus ou rétrospectivement (après un délai de 14 secondes), l'évolution de l'intensité de la douleur ou du désagrément qui s'y rapporte. Mais cette fois, la douleur provient de stimulations thermiques d'une durée de 8, 9 ou 10 secondes –pour des plateaux de 4, 5 ou 6 secondes, respectivement. La température du plateau est toujours de 47,0°C. Chaque sujet est soumis à huit blocs de stimulations, soit deux blocs pour chaque combinaison possible de conditions d'expérimentation. Chaque bloc compte six stimulations, soit deux stimulations pour chacune des trois durées de plateau. Les instructions relatives à la définition des concepts « intensité » et « désagrément » calquent celles de l'expérience 2.

## **3.5 Analyse des données**

Pour chaque essai individuel, la courbe de l'évaluation réalisée par le sujet en fonction du temps est d'abord tracée. Il en ressort la valeur maximale atteinte (évaluation maximale) de même que l'évaluation globale représentée par l'aire sous la courbe; ce sont les données initialement produites. Pour chaque condition d'expérimentation (par exemple : 48,0°C, désagrément, simultané), la moyenne des évaluations maximales et celle des évaluations globales sont calculées. Par ailleurs, pour chaque sujet, la moyenne de toutes les courbes d'évaluation pour une même condition d'expérimentation est établie. De cette

courbe moyenne, sont extraits les temps moyens de montée et de retour ainsi que la durée totale moyenne de l'évaluation; ce sont les données dynamiques. Les cinq mesures précitées constituent les mesures primaires et sont illustrées à la figure 3.2.



Des mesures secondaires sont aussi calculées à partir des mesures primaires dont l'évaluation moyenne, obtenue pour chaque condition et chaque sujet, en divisant l'aire sous la courbe moyenne (évaluation globale moyenne) par la durée totale moyenne. Il y a aussi l'effet de mémoire sur l'évaluation maximale, effet obtenu en soustrayant la moyenne des évaluations simultanées d'une condition donnée de la moyenne des évaluations rétrospectives pour cette même condition; il en va de même pour le calcul de l'effet de mémoire sur l'évaluation moyenne.

Afin d'examiner les distributions et de s'assurer qu'aucune valeur extrême ne biaise les échantillons, les statistiques descriptives suivantes sont calculées pour chaque groupe de données : moyenne, écart-type, erreur-type, coefficient d'asymétrie et *kurtosis* (voir annexe D). Ensuite, le programme SPSS 11.5 est mis à profit pour toutes les analyses statistiques.

Pour chaque mesure primaire et pour la réponse moyenne, des analyses de variance multifactorielles à mesures répétées sont effectuées (ANOVA). Elles permettent de vérifier les effets du délai, de la température, de la durée de la stimulation et de la dimension de la douleur (intensité vs désagrément). Au regard des effets de mémoire, d'autres analyses de variance à mesures répétées sont réalisées afin de vérifier les effets de la température, de la durée et de la dimension de la douleur sur la différence entre les évaluations rétrospectives et simultanées.

Pour assurer la validité des analyses de variances à mesures répétées, il faut d'abord vérifier que les échantillons satisfont au critère de sphéricité des valeurs; à cet effet, un test de Mauchly est réalisé pour chaque série de mesures. Ce test vérifie l'hypothèse selon laquelle la matrice de covariance des erreurs des variables dépendantes transformées<sup>1</sup> est proportionnelle à la matrice identité. Lorsque ce test est significatif ( $p \leq 0,05$ ), l'hypothèse de sphéricité doit être rejetée. Dans ce cas, le degré de liberté doit être ajusté pour réduire les erreurs de type I (erreur commise lorsqu'une différence due au hasard est jugée significative). L'ajustement du degré de liberté se fait avec le paramètre  $\epsilon$ , une valeur fournie pour trois différents types de correction dans SPSS. La correction de Huynh & Feldt a été choisie parce que son  $\epsilon$  est basé sur le degré d'hétérogénéité des valeurs.

Lorsqu'une interaction entre deux paramètres expérimentaux est significative (par exemple, entre le délai et la dimension pour l'évaluation maximale), les effets simples (ou

---

<sup>1</sup> Dans les analyses de variance à mesures répétées, les variables doivent être transformées pour tester l'hypothèse nulle de façon appropriée. En effet, les variables ne sont pas directement comparées; les analyses portent sur des combinaisons linéaires des différences entre les variables en question. La transformation que subissent ces variables est l'ortho-normalisation : les contrastes choisis sont statistiquement indépendants (ortho) et sont divisés par la racine carrée de la somme des carrés des coefficients (normalisation).

contrastes) sont évalués pour chaque membre de l'interaction afin de vérifier la présence d'un tel effet simple. Par ailleurs, dans chaque condition où les analyses portent sur des variables dépendantes partiellement interdépendantes,  $\alpha$  est corrigé en appliquant la correction conservatrice de Bonferroni.

Enfin, il faut noter que, pour la seconde expérience, la stimulation de 9 secondes est exclue des analyses de variance à mesures répétées et plutôt comparée grâce à des tests-T pairs. Ces tests sont menés entre les essais [48,0°C ; 9 secondes] et les essais [48,0°C ; 8 secondes] (appariés quant à la température) pour chacune des mesures primaires et secondaires. Aussi, en ce qui a trait aux expériences 2 et 3, certaines des analyses de variance à mesures répétées à l'égard du désagrément et de l'intensité de la douleur sont faites séparément, car ces deux dimensions peuvent être considérées dissociables.

Le tableau 3.1 présente un résumé de la méthodologie pour chacune des expériences. Ces trois expériences devaient permettre d'identifier les paramètres d'une stimulation douloureuse dynamique les mieux mémorisés et de déterminer si ces paramètres sont préservés de la même façon dans la mémorisation des dimensions affective et sensorielle de la douleur.

**Tableau 3.1: Résumé de la méthodologie des trois expériences**

	Expérience 1	Expérience 2	Expérience 3
<b>But</b>	Vérifier l'effet du délai et de la température sur les évaluations rétrospectives	Voir si les différences observées dans la première expérience le sont aussi pour chacune des dimensions de la douleur	Voir si l'effet de la durée de la stimulation observé dans l'exp. 2 est vraiment différent pour le désagrément et l'intensité
<b>Dimension évaluée</b>	Intensité	Intensité et désagrément	Intensité et désagrément
<b>Délais (s)</b>	Ø*, 6, 10 et 14	Ø* et 14	Ø* et 14
<b>Températures (°C)</b>	47,5; 48,0; 48,5 et 49,0	47,0; 47,5; 48,0 et 48,5	47,0
<b>Durées (s)</b>	8	8 (8 fois sur 9) et 9 (1 fois sur 9)	8, 9 et 10 (1 fois sur 3 chacun)
<b>Nombre d'essais</b>	64	72	48
<b>Nombre de séances</b>	1	2	1
<b>Tests statistiques</b>	ANOVA à mesures répétées	ANOVA à mesures répétées et tests-T	ANOVA à mesures répétées

\* Ø signifie que l'évaluation se fait de façon simultanée à la stimulation

## 4 RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Compte tenu du grand nombre de résultats obtenus pour chaque expérience, nous avons choisi de présenter les interprétations relatives à chacune immédiatement après l'exposé de leurs résultats. Une discussion plus générale fera l'objet du prochain chapitre.

### 4.1 Expérience 1 : Effet du délai sur les évaluations de la douleur

#### 4.1.1 Distribution des variables

Les statistiques descriptives, présentées en annexe D, montrent que la majorité des ensembles de variables sont distribués à peu près normalement. Il n'y a que quelques exceptions pour lesquelles le *kurtosis* est plutôt élevé ( $> 2$ ), suggérant une distribution en pic (où les valeurs sont davantage centrées). Cependant, ces écarts sont minimes et ne justifient pas de transformations mathématiques préalables.

#### 4.1.2 Effets simples de la température sur les évaluations

Des températures plus élevées entraînent une augmentation systématique de toutes les mesures caractérisant les évaluations simultanées et rétrospectives de la douleur. La douleur globale (correspondant à l'aire sous la courbe), le temps de montée, le temps de retour et la durée totale montrent un effet général de la température –les valeurs de  $p$  sont toutes inférieures ou égales à 0,033 (voir Tableau 4.1.). Les températures plus élevées entraînent des évaluations de la douleur globale plus grandes et des temps de montée, de retour et total

plus longs. Pour ce qui est des réponses maximale et moyenne, l'effet de la température diffère en fonction du délai; on en discute à la section 4.1.4.

**Tableau 4.1 : Effets simples de la température sur les mesures caractérisant les réponses simultanées et rétrospectives**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
		*Aire sous la courbe	0,036		
*Temps de montée	0,334	17,059	<0,001		
*Temps de retour	0,123	3,672	0,022		
*Durée totale	0,643	5,406	0,005		
✱*Réponse maximale	0,013			74,215	<0,001
✱*Réponse moyenne	0,044			53,543	<0,001

\* Indique que l'effet général de la température est significatif pour cette mesure.

✱ Indique une interaction avec une autre variable pour cette mesure.

### 4.1.3 Effets simples du délai sur les évaluations

Le délai a un effet sur toutes les mesures ayant une dimension temporelle, soit l'aire sous la courbe et les temps de montée, de retour et total (voir Tableau 4.2). Lorsqu'on examine les tracés moyens pour une condition donnée pour un sujet particulier, on remarque effectivement cette contraction sur l'axe temporel pour toutes les réponses rétrospectives en regard des réponses simultanées correspondantes (voir Figure 4.1).

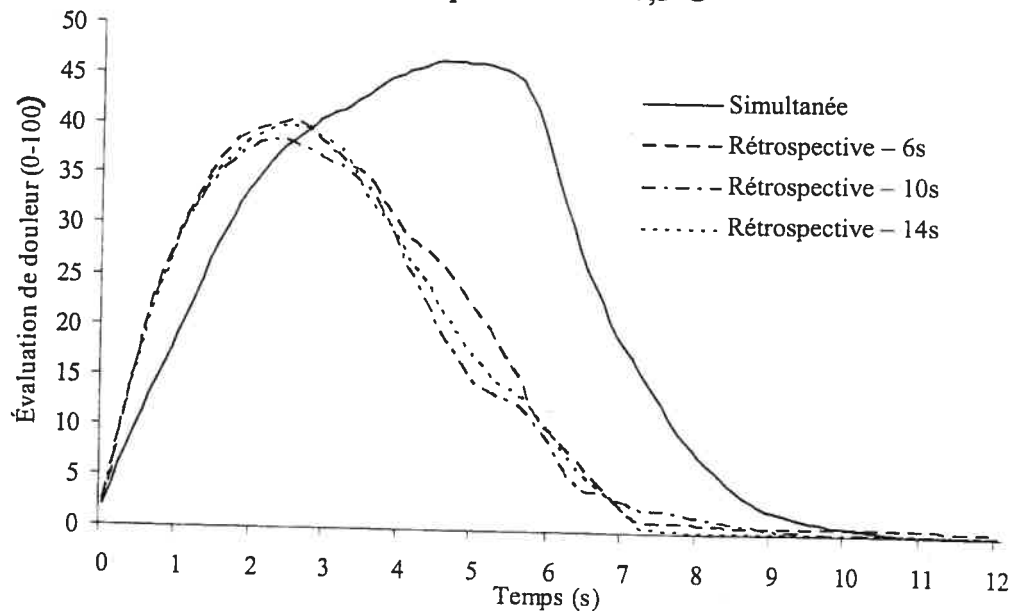
**Tableau 4.2 : Effets simples du délai sur les mesures caractérisant les évaluations de la douleur**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
*Aire sous la courbe	0,025			8,835	0,004
*Temps de montée	0,110	17,059	<0,001		
*Temps de retour	0,178	4,048	0,017		
*Durée totale	0,079	8,668	<0,001		
*Réponse maximale	0,051	1,100	0,362		
*Réponse moyenne	0,119	1,069	0,379		

\* Indique que l'effet du délai est significatif pour cette mesure.

\* Indique une interaction avec une autre variable pour cette mesure.

**Figure 4.1 : Tracés des évaluations simultanée et rétrospectives pour le sujet AG pour la température de 47,5°C**



#### 4.1.4 Interactions entre la température et le délai

Une interaction entre le délai et la température est décelée pour la réponse maximale et la réponse moyenne (voir Tableau 4.3). Des contrastes doivent donc être réalisés afin de mieux caractériser ces effets (voir Tableau 4.4). On remarque qu'il y a une tendance non



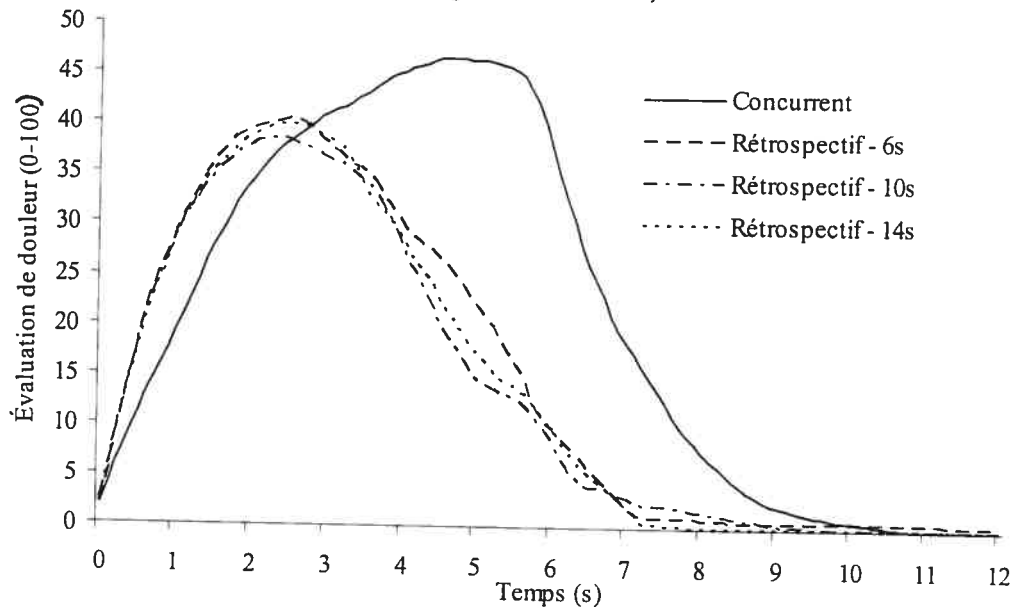
**Tableau 4.2 : Effets simples du délai sur les mesures caractérisant les évaluations de la douleur**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
*Aire sous la courbe	0,025			8,835	0,004
*Temps de montée	0,110	17,059	<0,001		
*Temps de retour	0,178	4,048	0,017		
*Durée totale	0,079	8,668	<0,001		
*Réponse maximale	0,051	1,100	0,362		
*Réponse moyenne	0,119	1,069	0,379		

\* Indique que l'effet du délai est significatif pour cette mesure.

\* Indique une interaction avec une autre variable pour cette mesure.

**Figure 4.1 : Tracés des évaluations simultanée et rétrospectives pour le sujet AG pour la température de 47,5°C**



#### 4.1.4 Interactions entre la température et le délai

Une interaction entre le délai et la température est décelée pour la réponse maximale et la réponse moyenne (voir Tableau 4.3). Des contrastes doivent donc être réalisés afin de mieux caractériser ces effets (voir Tableau 4.4). On remarque qu'il y a une tendance non

significative pour l'aire sous la courbe pour laquelle l'interaction entre le délai et la température a un  $p < 0,10$ .

**Tableau 4.3 : Interactions entre la température et le délai sur les mesures caractérisant les réponses simultanées et rétrospectives**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
*Réponse maximale	0,432	2,887	0,005		
*Réponse moyenne	<0,001			4,618	<0,001
Aire sous la courbe	0,143	1,804	0,080		

\* Indique que l'interaction est significative.

**Tableau 4.4 : Détails des interactions entre la température et le délai sur les réponses maximale et moyenne : effet de la température pour chaque condition de délai**

Niveau	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p <sup>Δ</sup>	F	p <sup>Δ</sup>
Maximale	*Simultané	0,148	10,352	<0,001	
	*6 secondes	0,478	18,154	<0,001	
	*10 secondes	0,687	24,480	<0,001	
	*14 secondes	0,271	29,502	<0,001	
Moyenne	*Simultané	0,012			6,635 0,005
	*6 secondes	0,184	20,036	<0,001	
	*10 secondes	0,454	11,926	<0,001	
	*14 secondes	0,001			21,502 <0,001

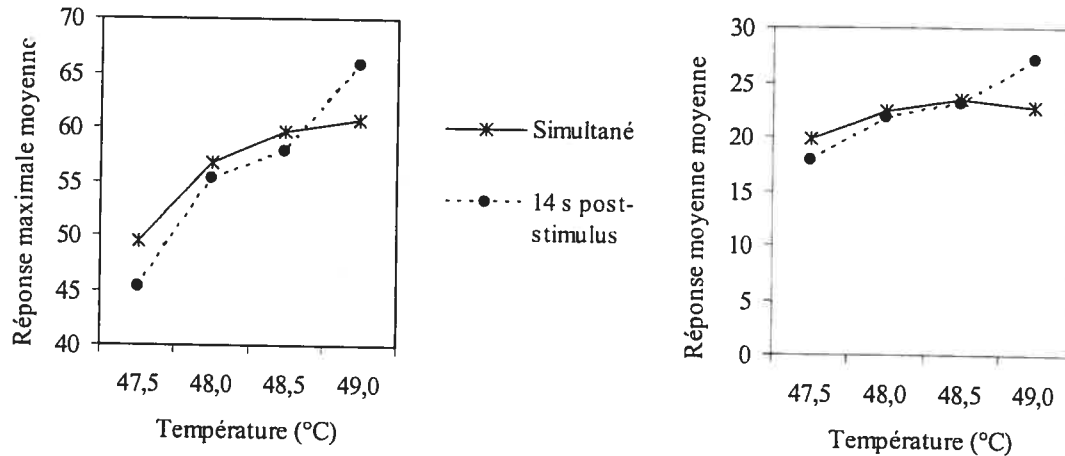
<sup>Δ</sup>Pour que le test soit significatif, il faut  $p \leq 0,0125$  afin de respecter la correction de Bonferroni.

\* Indique que l'effet de la température est significatif pour ce niveau.

Pour les réponses maximale et moyenne, l'effet de la température est moins prononcé sur les évaluations simultanées (pente plus faible) que sur les évaluations rétrospectives (pente plus abrupte) (voir Figure 4.2). Cela signifie que, dans la condition mnésique, la

différence entre les niveaux se trouve amplifiée par rapport à ce qui avait été rapporté concurremment. Il sera question de cet « effet de mémoire » dans la section suivante.

**Figure 4.2 : Effet de la température sur les réponses maximale et moyenne pour chaque condition d'évaluations simultanée et rétrospectives**



#### 4.1.5 Caractérisation de l'effet de mémoire

L'effet de mémoire est calculé<sup>1</sup> afin de mieux caractériser la différence entre les évaluations effectuées post-stimulation et celles effectuées concurremment. L'effet de la température sur l'effet de mémoire est peu significatif dans le cas de l'évaluation maximale, mais l'est vraiment dans le cas de la réponse moyenne (voir Tableau 4.5). Une comparaison spécifique des effets de mémoire pour les températures minimale (47,5°C) et maximale (49,0°C) clarifie ce résultat dans la réponse maximale et la réponse moyenne (voir Tableau 4.6). Elle montre que les évaluations rétrospectives sont généralement inférieures aux évaluations simultanées pour la température la plus basse et supérieures aux évaluations simultanées pour la température la plus élevée. Les évaluations rétrospectives

<sup>1</sup> Rappel : L'effet de mémoire est le résultat de la soustraction de la valeur d'une évaluation simultanée de la valeur correspondante de l'évaluation rétrospective.

présentent donc globalement un plus grand contraste que celles réalisées pendant les stimulations.

**Tableau 4.5 : Effet de la température sur les effets de mémoire dans les réponses maximale et moyenne**

Réponse	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
Maximale	0,313	2,649	0,069
*Moyenne	0,184	5,882	0,003

\* Indique que l'effet général de la température est significatif.

**Tableau 4.6 : Test-T comparant les effets de mémoire pour les températures de 47,5°C et de 49,0°C dans les réponses maximale et moyenne**

Mesure	Différences appariées			test-T	
	Moyenne	Ecart-type	Erreur-type	t	p
*Réponse maximale	-9,1922	9,60408	3,03708	-3,027	0,014
*Réponse moyenne	-6,3665	5,70761	1,80490	-3,527	0,006

\* Indique que le test-T est significatif, le degré de liberté est 9.

<sup>Δ</sup>Pour que le test soit significatif, il faut  $p \leq 0,025$  afin de respecter la correction de Bonferroni.

#### 4.1.6 Interprétations

Au cours de cette première expérience, nous avons observé une augmentation de toutes les variables dépendantes caractérisant les évaluations de la douleur en fonction de la température, cela pour toutes les conditions d'évaluation simultanée et rétrospectives. Le délai a un effet significatif sur les mesures ayant une dimension temporelle –temps de montée, temps de retour, durée totale et aire sous la courbe–, leurs valeurs diminuent comme si les évaluations se contractaient dans le temps en condition de rappel. De plus, le délai affecte l'effet de la température sur les réponses maximale et moyenne, ce qui a est mieux décrit grâce à l'effet de mémoire. Un plus grand contraste est observé entre les

températures minimale et maximale dans les évaluations rétrospectives que dans les évaluations simultanées, tel que démontré par des courbes stimulus-réponse plus abruptes.

Au départ, nous nous attendions à ce que la température ait un effet sur les mesures de magnitude (douleur globale, maximale et moyenne) à tout le moins lors des évaluations simultanées. Si tel n'avait pas été le cas, cela aurait signifié que les sujets n'étaient pas en mesure d'effectuer adéquatement la tâche demandée et nous aurions dû ajuster les paramètres de stimulation. Nos observations témoignent de la capacité des sujets à discriminer les températures de façon fiable sur la base de leur sensation de douleur. Toutefois, bien que les stimulations aient toutes une durée constante et comparable, nous constatons que les mesures de durée sont aussi influencées par la température. L'impact de la température sur les mesures ayant une dimension temporelle peut s'expliquer par une impression de persistance accompagnant les stimulations plus chaudes, ce qui augmenterait le temps de retour. La prolongation du temps de montée pourrait être due à la présence d'un phénomène comparable à la sommation temporelle qui s'accroîtrait avec des températures plus élevées. La durée totale, quant à elle composée de ces deux mesures, subirait donc les mêmes effets.

Rappelons que cette première expérience a été élaborée suite à une série d'expériences présentées dans notre article (Rainville *et al.*, 2004) au cours desquelles nous avons observé une dégradation graduelle de la trace mnésique avec le temps, dégradation qui se traduisait par une diminution de la performance dans une tâche de comparaison. Appuyé sur ce constat, nous nous attendions à ce que l'impact du délai sur les différentes mesures soit plus grand pour les délais plus longs, or cela ne s'est pas avéré dans ce cas-ci.

Qu'il soit de 6, 10 ou 14 secondes, le délai a un effet de même ordre sur toute mesure à dimension temporelle. Cette contraction dans le temps du tracé de l'évolution de la sensation semble indiquer une inhabileté à maintenir adéquatement les paramètres de durée en mémoire. Comme cet effet se maintient quels que soient le délai et la température, il est possible qu'il s'agisse d'une lacune générale du système de mémorisation employé dans ce contexte, lacune qui ne serait pas nécessairement spécifique à la mémoire de la douleur tel qu'il en sera question plus loin. Cet effet du délai pourrait être dû au recours à un modèle mental prototypique de la sensation que les sujets reproduisent systématiquement en condition de rappel. Parce que les stimulations ont toutes la même structure, c'est-à-dire 2 secondes de pente ascendante, 4 secondes de plateau et 2 secondes de pente descendante, il est plausible que les sujets élaborent un tel modèle qu'ils appliquent en ne modifiant que la valeur maximale afin de refléter l'intensité de la sensation.

Enfin, l'interaction entre la température et le délai décelée du côté des réponses moyenne et maximale, interaction étudiée sous l'angle de l'effet de mémoire, revêt une importance particulière. En effet, des pentes plus abruptes dans les courbes stimulus-réponse des évaluations maximale et moyenne en condition de rappel suggèrent la présence d'un phénomène d'accentuation des contrastes. Peut-être un phénomène semblable d'amplification des douleurs les plus intenses a-t-il été observé dans les études portant sur la mémoire de la douleur décrites dans le chapitre 2 et rapportant des évaluations rétrospectives plus grandes que les évaluations simultanées... à l'inverse de ce qui ce produisait avec les douleurs moins intenses, apparemment sous-estimées lors des évaluations rétrospectives. Ainsi, quoique les évaluations rétrospectives conservent leur

position relative d'un niveau de douleur à l'autre, elles sont apparemment sujettes à une distorsion systématique.

Suite à cette première expérience, nous avons voulu clarifier deux points. Dans un premier temps, il nous fallait savoir si les sujets portent bien attention à l'évolution temporelle de la sensation ou s'ils utilisent plutôt un modèle prototypique qu'ils reproduisent lors de chaque évaluation rétrospective. À cette fin, nous avons inséré un essai-leurre d'une durée prolongée d'une seconde dans chacun des blocs d'essais. Dans un second temps, il nous fallait voir si l'effet d'accentuation des contrastes est présent pour les deux dimensions de la douleur. Pour ce faire, nous avons demandé d'évaluer les dimensions affective (désagrément) et sensorielle (intensité) de la douleur dans des blocs d'essais distincts.

#### **4.2 Expérience 2 : Effet de la dimension de la douleur sur les évaluations rétrospectives**

En premier lieu, les principaux effets de la température et du délai ainsi que l'interaction entre ces variables sont présentés afin de corroborer, s'il y a lieu, les observations de l'expérience 1. Viennent, en second lieu, les résultats portant sur l'effet de la dimension de la douleur.

#### 4.2.1 Distribution des variables

Tout comme dans l'expérience 1, les variables utilisées dans les analyses présentées ci-dessous suivent une distribution s'approchant de la distribution normale avec des coefficients d'asymétrie et des *kurtosis* situés entre -2 et 2 (voir Annexe D). Quelques rares exceptions émergent, mais ne justifient pas l'utilisation de transformations visant à réduire la variabilité et améliorer l'homogénéité des variables.

#### 4.2.2 Effets simples de la température sur les évaluations

L'augmentation de la température cause une augmentation dans les évaluations de l'aire sous la courbe, du temps de montée et de la réponse maximale. La réponse moyenne est aussi plus grande pour des températures plus élevées, mais l'effet n'est pas le même dans toutes les conditions d'évaluation. L'augmentation de la température ne cause cependant pas de prolongation significative de la durée totale, ni du temps de retour des évaluations de l'intensité de la douleur et du désagrément (voir Tableau 4.7).

**Tableau 4.7 : Effets simples de la température sur les mesures caractérisant les évaluations de l'intensité de la douleur et du désagrément**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
*Aire sous la courbe	0,015			10,286	0,001
*Temps de montée	0,137	7,544	0,001		
Temps de retour	0,182	0,239	0,868		
Durée totale	0,533	2,077	0,127		
*Réponse maximale	0,054	14,623	<0,001		
*Réponse moyenne	0,079	7,462	<0,001		

\* Indique que l'effet de la température est significatif pour cette mesure.

\* Indique une interaction avec une autre variable pour cette mesure.



### 4.2.3 Effets simples du délai sur les évaluations

Tel que déjà observé dans la première expérience, le délai a un effet simple significatif sur les mesures qui comportent une dimension temporelle, confirmant que la mémoire de l'évolution de la sensation douloureuse dans le temps n'est pas très bonne. Le maintien en mémoire entraîne une diminution de la durée totale, du temps de montée et de l'aire sous la courbe (voir Tableau 4.8). Aucun effet significatif n'est observable sur le temps de retour.

**Tableau 4.8 : Effets simples du délai sur les mesures caractérisant les évaluations de l'intensité de la douleur et du désagrément**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
*Aire sous la courbe	---	8,679	0,016
*Temps de montée	---	131,166	<0,001
Temps de retour	---	1,048	0,333
*Durée totale	---	28,438	<0,001
Réponse maximale	---	0,475	0,508
*Réponse moyenne	---	1,123	0,901

--- Suite au test de Mauchly, toutes les variables satisfont au critère de sphéricité.

\* Indique que l'effet du délai est significatif pour cette mesure.

⊛ Indique une interaction avec une autre variable pour cette mesure.

### 4.2.4 Effets simples de la dimension de la douleur sur les évaluations

La dimension de la douleur n'a pas d'effet général sur les différentes mesures utilisées pour effectuer nos comparaisons. À peine une tendance, non significative, est-elle observée pour le temps de montée, mais cette mesure est impliquée dans une interaction avec le délai qui sera décrite dans une section subséquente. De même, la durée totale et la réponse maximale présentent aussi certaines tendances : la réponse maximale est

généralement plus grande dans les évaluations d'intensité et la durée est généralement plus longue dans les évaluations du désagrément, mais ces effets ne sont pas significatifs (voir Tableau 4.9).

**Tableau 4.9 : Effets simples de la dimension sur les mesures caractérisant les évaluations simultanées et rétrospectives**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
Aire sous la courbe	---	1,905	0,201
*Temps de montée	---	4,983	0,053
Temps de retour	---	1,741	0,220
Durée totale	---	4,066	0,075
Réponse maximale	---	4,011	0,076
Réponse moyenne	---	0,016	0,901

--- Suite au test de Mauchly, toutes les variables satisfont au critère de sphéricité.

\* Indique une interaction avec une autre variable pour cette mesure.

#### 4.2.5 Interactions entre la température et le délai

Tout comme dans l'expérience 1, une interaction entre la température et le délai est décelée pour la réponse moyenne (voir Tableau 4.10). Tel que mentionné précédemment (voir section 3.4.2), il est nécessaire ici de discriminer les deux dimensions de la douleur afin de bien interpréter les résultats observés dans les analyses de contrastes (voir Tableau 4.11). Toujours en regard de l'expérience 1, l'interaction constatée là entre le délai et la température sur la valeur maximale ne se retrouve pas dans l'expérience 2. La valeur maximale n'est ici influencée que par la température et cet effet va dans le même sens que celui déjà noté dans l'expérience 1, c'est-à-dire qu'une température plus élevée entraîne une

évaluation maximale de la douleur plus élevée. Comme il n'y a pas d'interaction dans ce cas, cet effet subsiste, quelles que soient les conditions d'évaluation et de délai.

**Tableau 4.10 : Interactions entre la température et le délai sur la réponse moyenne**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
<b>*Réponse moyenne</b>	0,052	5,322	0,005
<b>Réponse maximale</b>	0,499	0,498	0,686
<b>Aire sous la courbe</b>	0,053	1,731	0,184

\* Indique que l'interaction est significative.

**Tableau 4.11 : Détails des interactions entre la température et le délai sur la réponse moyenne : effet de la température sur les évaluations d'intensité et de désagrément simultanées et rétrospectives**

Condition	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p <sup>Δ</sup>	F	p <sup>Δ</sup>
<b>*Intensité-simultanée</b>	0,918	3,676	0,024		
<b>*Intensité-rétrospective</b>	0,490	10,293	<0,001		
<b>Désagrément-simultanée</b>	0,001			2,856	0,099
<b>Désagrément-rétrospect.</b>	0,044			4,330	0,026

<sup>Δ</sup>Pour que le test soit significatif, il faut  $p \leq 0,025$  afin de respecter la correction de Bonferroni.

\*Indique que l'effet de la température est significatif pour ce niveau.

En vrac, on note que l'effet de la température est significatif sur les évaluations de l'intensité tant simultanée que rétrospective. Vu sous l'angle du temps, cet effet de la température est robuste dans l'évaluation rétrospective de l'intensité et quasi significatif dans l'évaluation rétrospective du désagrément. Du côté des évaluations simultanées, l'effet de la température atteint de justesse le seuil de significativité (fixé à 0,025) dans le cas de l'intensité et ne présente qu'une tendance non significative dans celui du désagrément. En

bref, l'effet de la température est plus important lors des évaluations rétrospectives que lors des évaluations simultanées; c'est l'interaction effectivement détectée dans l'ANOVA à mesures répétées. Par ailleurs, malgré que le seuil de significativité ne soit pas atteint dans le domaine du désagrément, l'interaction température-délai peut être considérée présente tant pour l'intensité que pour le désagrément, la correction de Bonferroni étant jugée fort conservatrice. Cette interaction pourrait être attribuable à la présence, comme dans l'expérience 1, d'un phénomène d'accentuation des contrastes qui sera discuté dans la section 4.2.7.

#### 4.2.6 Interactions impliquant la dimension de la douleur

Une interaction entre la dimension et le délai affecte le temps de montée, suggérant que l'effet du délai n'est pas le même selon la dimension évaluée. Les contrastes montrent que la diminution du temps de montée causée par le délai se retrouve tant dans l'évaluation de l'intensité de la douleur que dans celle du désagrément, mais cette distorsion temporelle est plus importante pour l'intensité (voir Tableaux 4.12 et 4.13).

**Tableau 4.12 : Interactions entre le délai et la dimension sur le temps de montée**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
*Temps de montée	---	7,544	0,001

--- Suite au test de Mauchly, toutes les variables satisfont au critère de sphéricité.

\* Indique que l'interaction est significative.

**Tableau 4.13 : Effet du délai sur le temps de montée pour chaque dimension**

Condition	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p <sup>Δ</sup>
*Intensité	---	164,292	<0,001
*Désagrément	---	47,227	<0,001

--- Suite au test de Mauchly, toutes les variables satisfont au critère de sphéricité.

<sup>Δ</sup>Pour que le test soit significatif, il faut  $p \leq 0,025$  afin de respecter la correction de Bonferroni.

\* Indique que l'effet du délai est significatif pour ce niveau.

#### 4.2.7 Caractérisation de l'effet de mémoire

L'effet de mémoire est calculé deux fois, incluant ou non la stimulation de 9 secondes [48,0°C; 9 secondes]. La température n'amène aucun effet significatif sur l'effet de mémoire lorsque ce dernier est analysé suivant les quatre niveaux de température (47,0°C; 47,5°C; 48,0°C et 48,5°C) de durée égale (8 secondes), indiquant que la distorsion mnésique (l'effet du délai) serait équivalente à ces niveaux. Cependant, lorsque l'analyse tient compte de la stimulation de 9 secondes, vu comme un cinquième niveau de stimulation, la température affecte significativement l'effet de mémoire pour les valeurs maximales de l'intensité et du désagrément ainsi que l'effet de mémoire pour la valeur moyenne du désagrément (voir Tableau 4.14). Cet essai de 9 secondes, plus long, plus douloureux et plus désagréable, est donc particulièrement sujet à la distorsion mnésique. La différence entre les évaluations maximales rétrospectives et simultanées, tant pour le désagrément que pour l'intensité, subit l'impact d'une stimulation considérablement différente des autres stimulations. Il faut cependant noter que l'effet de la température ne va pas toujours dans la même direction. En ce qui concerne l'intensité maximale, l'effet de mémoire diminue entre les niveaux supérieurs de température alors qu'il augmente pour le désagrément. Dans le cas de la réponse moyenne, il augmente pour le désagrément et la

tendance va dans la même direction pour l'intensité, bien que cet effet ne soit pas significatif (voir Figure 4.3).

**Tableau 4.14 : Effet de la température sur les effets de mémoire dans les réponses maximale et moyenne en incluant (+) ou non (-) l'essai de 9 secondes (leurre) pour l'intensité et le désagrément**

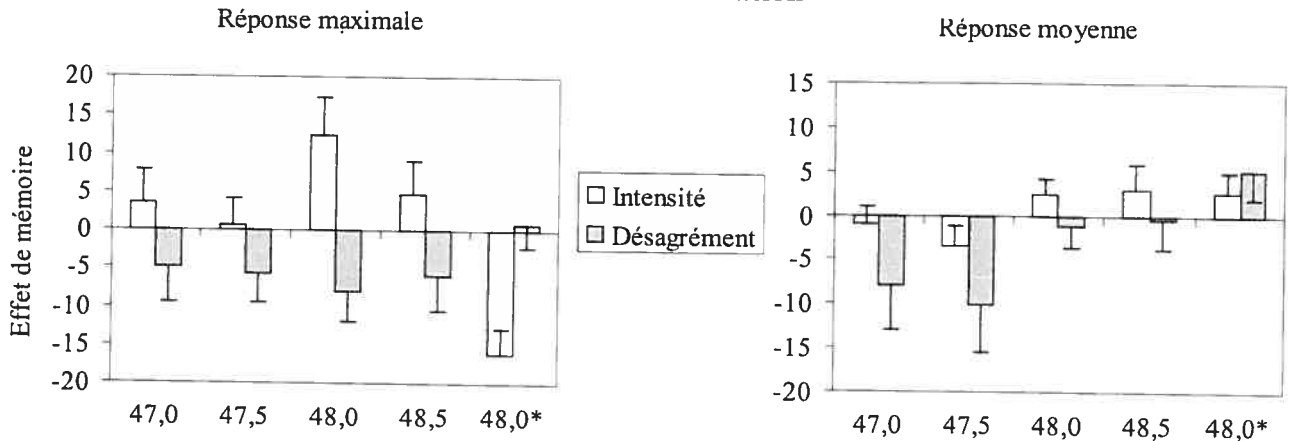
Condition	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )			
		F	p <sup>Δ</sup>	F	p <sup>Δ</sup>		
Réponse maximale	-	Intensité	0,157	2,849	0,056		
		Désagrément	0,624	0,690	0,566		
	+	*Intensité	0,140	8,345	<0,001		
		*Désagrément	0,617	3,525	0,016		
Réponse moyenne	-	Intensité	0,846	2,934	0,051		
		Désagrément	0,019			4,908	0,027
	+	Intensité	0,946	2,274	0,080		
		*Désagrément	0,030			6,056	0,004

<sup>Δ</sup>Pour que le test soit significatif, il faut  $p \leq 0,025$  afin de respecter la correction de Bonferroni.

\* Indique que l'effet général de la température est significatif.

L'effet de mémoire, tel qu'observé dans la première expérience (voir Tableau 4.5), se reproduit dans les évaluations moyennes de désagrément. Il est aussi statistiquement présent dans les évaluations maximales du désagrément et de l'intensité, mais il va dans des directions quasi opposées : dans le premier cas, toutes les évaluations sont sous-estimées, sauf l'évaluation de plus longue durée; dans le second cas, elles sont toutes surestimées, sauf l'évaluation de plus longue durée cette fois-ci sous-estimée.

**Figure 4.3 : Effet de mémoire dans les réponses maximale et moyenne pour chaque niveau de stimulation**



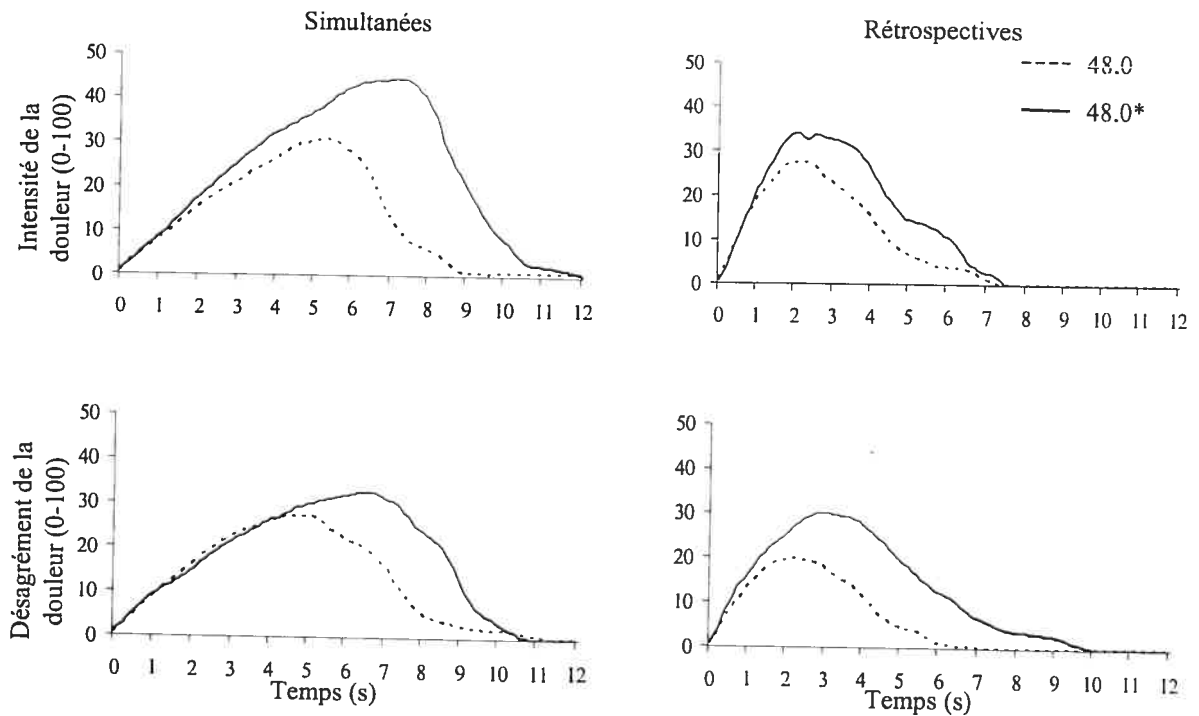
L'effet de mémoire est le résultat de la soustraction de la valeur d'une évaluation simultanée de la valeur correspondante de l'évaluation rétrospective. L'effet de mémoire est calculé pour la réponse maximale et moyenne et ce, pour l'intensité et le désagrément. 48,0\* représente la stimulation de 48,0°C de 9 secondes.

#### 4.2.8 Comparaisons spécifiques entre les conditions [48,0°C; 8s] et [48,0°C; 9s]

L'impact de l'augmentation de la durée de la stimulation sur les mesures utilisées pour caractériser les évaluations de l'intensité et du désagrément est jugé par des comparaisons avec le stimulus de durée normale ayant la même température grâce à des tests-T pairés. Les tracés correspondant aux évaluations simultanées et rétrospectives pour les stimulations à 48,0°C pendant 8 secondes (noté 48,0) ou 9 secondes (noté 48,0\*) sont présentés à la Figure 4.4.

Comme plusieurs tests statistiques ont été effectués sur les mêmes échantillons, la correction de Bonferroni a été appliquée et le seuil de significativité a été fixé à 0,002 (il y a eu 24 comparaisons). À ce seuil, les temps de montée dans l'évaluation simultanée de l'intensité et du désagrément ainsi que le temps de retour dans l'évaluation simultanée du désagrément sont considérés différents (voir Tableaux A20 à A25 à l'annexe E). Cela signifie que, lors des évaluations simultanées, les sujets perçoivent un temps de montée qui

**Figure 4.4 : Tracés de la moyenne des évaluations simultanées et rétrospectives de l'intensité et du désagrément associés aux stimulations 48,0 et 48,0\***



diffère d'une stimulation à l'autre. Aussi, la sensation désagréable de la stimulation plus longue prend plus de temps à s'estomper. Par contre, dans le cas des autres mesures, comme la réponse maximale, la réponse moyenne et la douleur globale, les différences possibles entre les deux types de stimulation ne sont pas jugées significatives. Nous nous attendions à ce que les comparaisons montrent, au moins dans l'évaluation simultanée, une différence significative quant à la durée totale or, cela n'a pas été le cas :  $t = -3,467$ ,  $p = 0,007$  pour l'intensité en simultané et  $t = -3,049$ ,  $p = 0,014$  pour le désagrément en simultané. Il faut cependant noter que la correction statistique appliquée est très conservatrice, favorisant l'apparition d'erreurs de type 2 (où une différence effective n'est pas détectée).



#### 4.2.9 Interprétations

Résumons les résultats obtenus dans cette deuxième expérience. La température a un effet significatif déterminant sur les mesures de magnitude (douleur globale, maximale et moyenne) ainsi que sur le temps de montée. Le délai, quant à lui, n'a d'impact que sur les mesures comportant une dimension temporelle, tel que déjà relevé dans l'expérience 1. L'effet de mémoire ne répond à l'effet de la température que lorsque la stimulation de 9 secondes (leurre) est incluse dans les tests statistiques et l'impact de cette stimulation ne va pas toujours dans la même direction. On remarque que l'effet de mémoire dans la condition de stimulation 48,0\* (stimulation de 9 secondes à 48,0°C) suit généralement une direction opposée à celle des autres stimulations, comme si l'effet de contraste ne se présentait qu'entre les stimulations de durées différentes. Les comparaisons spécifiques entre les évaluations simultanées de l'intensité des stimulations de 8 secondes et de 9 secondes montrent que les sujets perçoivent cette dernière comme prenant plus de temps à atteindre son sommet. Dans le cas de l'évaluation du désagrément, ils ressentent aussi qu'elle prend plus de temps pour retourner à son niveau de base. Ces résultats seront discutés dans les prochaines lignes.

En premier lieu, l'augmentation de la température ne prolonge pas la durée totale, ni le temps de retour. Cet effet a été attribué à une impression de persistance de la douleur dans la première expérience et il se peut que les températures choisies cette fois-ci n'entraînent pas suffisamment de douleur pour que les sujets éprouvent la persistance en question. Comme les groupes expérimentaux sont relativement petits, il est possible que la variabilité interindividuelle ne soit pas entièrement nivelée. Ce faisant, il se peut qu'en moyenne ce groupe n'éprouve pas autant de douleur que celui de la première expérience

pour les mêmes stimulations et que, ainsi, l'effet de persistance soit moins flagrant. En second lieu, la douleur globale augmente avec le niveau de stimulation et ce résultat peut être expliqué, du moins en partie, par l'augmentation de la valeur maximale, car l'aire sous la courbe dépend aussi de l'évaluation maximale. En troisième lieu, la prolongation du temps de montée avec l'élévation de la température peut venir de ce qu'il faut plus de temps à la peau pour atteindre une température cible plus élevée. Enfin, l'interaction entre le délai et la température sur la réponse moyenne indique que l'effet de la température est plus important pour les évaluations rétrospectives que pour les évaluations simultanées, ce qui est relié à l'effet de contraste déjà observé dans la première expérience.

À l'instar de l'expérience 1, nous constatons une contraction de l'évaluation rétrospective sur l'axe temporel. Il y a une réduction du temps de montée et de la durée totale de l'évaluation et une diminution de l'aire sous la courbe. L'introduction d'un délai entre la stimulation et l'évaluation ne permet pas, cependant, de détecter une différence significative dans les autres mesures. Cela suggère que la mémoire de la réponse maximale et de la réponse moyenne est relativement bonne, bien que cette dernière soit impliquée dans une interaction avec la température qui semble avoir pour effet d'accentuer les contrastes entre les différents niveaux.

Dans la présente étude, notre objectif principal est de voir si les deux dimensions de la douleur, son intensité et le désagrément qui y est relié, sont susceptibles de subir les mêmes transformations lors du passage en mémoire. Nos paramètres de stimulations et d'analyses nous permettent de détecter une interaction entre le délai et la dimension, indiquant que le passage en mémoire n'a pas tout à fait le même impact sur le désagrément

et sur l'intensité. Les analyses plus poussées montrent que le temps de montée est rapporté plus court en rétrospective pour les deux dimensions. Cette réduction est plus importante pour l'intensité que pour le désagrément. Comparativement à ce qui se produit lors de l'évaluation simultanée, les sujets se remémorent l'ascension comme plus courte pour les deux dimensions. Bien que cette différence soit plus marquée pour l'intensité, l'effet est hautement significatif dans les deux cas, d'où l'impossibilité de conclure que les deux dimensions sont traitées différemment. Par contre, lors de la caractérisation de l'effet de mémoire dans la réponse maximale, on peut observer une différence entre les deux dimensions : dans le cas de l'intensité, il y a amplification des contrastes alors que dans celui du désagrément, il y a sous-estimation. Des études plus approfondies seront nécessaires afin de confirmer ou non une différence dans le traitement mnésique des deux dimensions de la douleur.

En comparant les stimulations de même température, mais de durées différentes, nous remarquons que l'évaluation des temps de montée diffère, cela malgré que la pente ascendante de la stimulation soit identique dans les deux situations. En effet, bien qu'elles diffèrent en durée totale, ces deux stimulations ont le même temps de montée, c'est-à-dire 2 secondes. Cependant, comme le sujet reproduit ce qu'il perçoit sur sa peau, il faut admettre que la sensation de douleur ne calque pas nécessairement la courbe réelle de la stimulation; il se peut que la douleur perçue continue de croître simplement parce que la stimulation douloureuse dure plus longtemps. Autrement dit, il est possible que l'accumulation d'énergie thermique dans la peau simule un phénomène comparable à la sommation temporelle. Par ailleurs, que la sensation désagréable prenne plus de temps pour s'estomper peut s'expliquer par l'importance relative de la durée de la stimulation dans le désagrément

lié à la douleur. Finalement, revenons sur ce point. Nous nous attendions à ce que les évaluations de la durée totale de ces deux stimulations diffèrent; voilà que nous ne sommes pas en mesure de détecter de telles différences. Il se peut que ce soit dû à un seuil de significativité trop sévère. De toute façon, comme la stimulation longue n'est qu'un leurre, appliqué moins fréquemment, il se peut aussi qu'il y ait un problème de puissance statistique.

Du côté des effets de mémoire, nous constatons que la présence d'un leurre modifie grandement l'impact de l'augmentation de la température sur leur ampleur dans les évaluations maximale et moyenne. Certains résultats corroborent ceux de la première expérience. L'effet de contraste, qui se caractérise par une augmentation des différences entre les évaluations des stimuli de différents niveaux lors d'évaluations rétrospectives, peut être observé pour les évaluations moyenne et maximale du désagrément. Les évaluations moyennes du désagrément en rétrospective diminuent pour les stimulations moins intenses (47,0°C et 47,5°C), sont valides pour 48,0°C et 48,5°C et augmentent légèrement pour les stimuli de 9 secondes à 48,0°C. Par contre, l'effet de contraste mnésique n'est que marginal dans le cas de l'intensité moyenne et, en quelque sorte, inversé dans le cas de l'intensité maximale.

Rappelons que les deux objectifs principaux de cette expérience sont de voir, grâce au leurre, si les sujets utilisent un modèle prototypique de la dynamique temporelle et de vérifier l'impact du maintien en mémoire sur chacune des deux dimensions de la douleur. Dans ce dernier cas, nous avons une indication que les deux dimensions seraient

effectivement traitées de manière différente dans l'effet de mémoire, mais de plus amples investigations seront nécessaires afin de le confirmer statistiquement. L'insertion du leurre ne suffit pas pour rejeter l'hypothèse selon laquelle un modèle prototypique est utilisé par les sujets afin de générer les réponses en condition rétrospective. En effet, nous ne sommes pas en mesure de détecter une différence significative dans la durée totale des évaluations, que ce soit en condition simultanée ou en condition rétrospective.

Nous avons donc décidé d'effectuer une troisième expérience afin de clarifier l'impact de la durée sur la mémoire de stimulations douloureuses et de vérifier l'aptitude des sujets à reproduire des stimulations de durées différentes, concurremment ou rétrospectivement. Dans cette dernière expérience, les deux dimensions seront mesurées indépendamment toujours dans le but de constater s'il y a effectivement une différence dans le traitement de ces deux dimensions de l'expérience douloureuse.

### **4.3 Expérience 3 : Effet de la durée de la stimulation sur la mémorisation de la dynamique de la sensation**

#### **4.3.1 Distribution des variables**

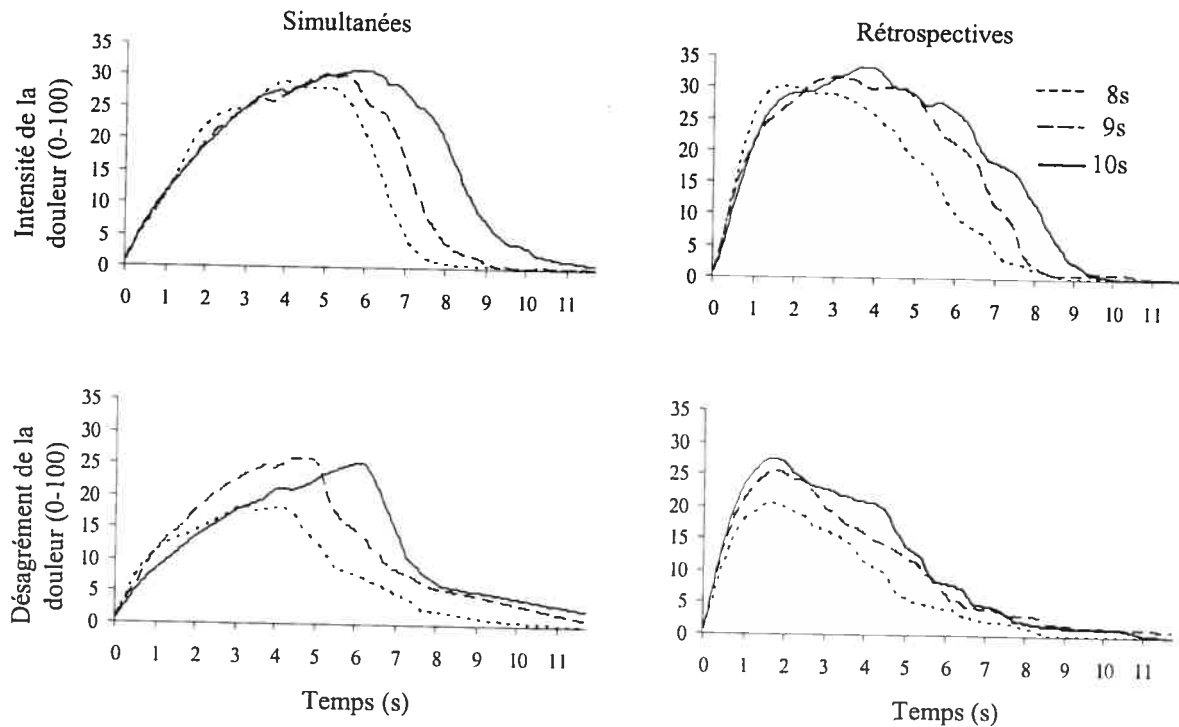
À la différence des expériences 1 et 2, plusieurs séries de variables s'éloignent de la distribution normale dans l'expérience 3 (voir annexe D). Les sujets à l'origine de cette plus grande variabilité portent les numéros 2, 4, 7, 8, 9 et 10, mais l'imputabilité revient plus souvent aux sujets 4, 7 et 10. Comme les écarts ne sont pas systématiquement dus au même sujet pour toutes les mesures, il serait difficile d'en exclure un plutôt qu'un autre. De plus, en aucun cas les valeurs à l'écart ne sont à plus de trois écarts-types de la moyenne et

l'exclusion des sujets marginaux ne modifie pas les résultats obtenus. Dans les prochaines lignes, les résultats des effets de la durée, du délai et de la dimension de même que la caractérisation de l'effet de mémoire seront présentés puis discutés.

#### 4.3.2 Effets simples de la durée sur les évaluations

Contrairement aux expériences précédentes où les variations d'intensité entre les différents niveaux sont dues aux variations de la température, la durée de la stimulation est la source de variation (variable indépendante) dans cette troisième et dernière expérience (voir Figure 4.5 et Tableau 4.15).

**Figure 4.5 : Tracés des évaluations simultanées et rétrospectives de l'intensité et du désagrément associés aux stimulations de durée variant de 8 à 10 secondes**



**Tableau 4.15 : Effets simples de la durée de la stimulation sur les mesures caractérisant les évaluations de la douleur**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
*Aire sous la courbe	0,029			21,928	<0,001
*Temps de montée	0,143	24,551	<0,001		
Temps de retour	0,996	0,445	0,648		
*Durée totale	0,930	20,276	<0,001		
*Réponse maximale	0,075	8,152	0,003		
*Réponse moyenne	0,145	10,408	0,001		

\* Indique que l'effet du délai est significatif pour cette mesure.

\* Indique une interaction avec une autre variable pour cette mesure.

L'augmentation de la durée de la stimulation a effectivement des répercussions sur les évaluations maximale et moyenne, sur l'aire sous la courbe, sur le temps de montée et sur la durée totale. L'effet va toujours dans la même direction et une stimulation plus longue est évaluée par les sujets comme plus douloureuse, plus désagréable ou plus longue, selon le cas.

#### 4.3.3 Effets simples du délai sur les évaluations

Les évaluations rétrospectives, encore une fois, diffèrent des évaluations simultanées de façon significative pour les mesures où la dimension temporelle joue un rôle, soit le temps de montée et le temps de retour. La contraction temporelle est donc, encore une fois, observée (tel qu'illustré à la Figure 4.5) mais dans une moindre mesure. En effet, contrairement à ce qui résulte de l'expérience 2, le délai d'évaluation n'a pas d'impact sur la durée totale de l'évaluation ni sur l'aire sous la courbe (voir Tableau 4.16).

**Tableau 4.16 : Effets simples du délai sur les différentes mesures**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
Aire sous la courbe	---	0,007	0,937
*Temps de montée	---	7,735	0,021
*Temps de retour	---	11,673	0,008
Durée totale	---	1,657	0,230
Réponse maximale	---	1,077	0,327
Réponse moyenne	---	1,474	0,256

\* Indique que l'effet est significatif pour cette mesure.

--- Suite au test de Mauchly, toutes les variables satisfont au critère de sphéricité.

La durée totale de l'évaluation est probablement mieux préservée dans le contexte où des stimulations de différentes longueurs sont appliquées. Cela vient peut-être de l'amplification de l'importance relative de la durée de la stimulation, s'agissant de l'élément qui discrimine les sensations les unes des autres.

#### 4.3.4 Effets simples de la dimension

Dans cette expérience, contrairement à ce qui a été observé dans l'expérience 2, la dimension évaluée a un impact sur les évaluations maximale et moyenne de même que sur l'évaluation de la douleur globale (voir Tableau 4.17).

Dans le cas de l'évaluation moyenne de la douleur, l'effet dont il est question vient de l'interaction décrite dans la prochaine section. Dans tous les cas, les évaluations du désagrément lié à la douleur sont plus faibles que les évaluations de l'intensité. Cette tendance a déjà été observée dans l'expérience 2, mais n'a pu alors être confirmée



**Tableau 4.17 : Effets simples de la dimension (intensité ou désagrément) sur les différentes mesures**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
*Aire sous la courbe	---	9,551	0,013
Temps de montée	---	4,544	0,062
Temps de retour	---	0,058	0,815
Durée totale	---	1,254	0,292
*Réponse maximale	---	6,077	0,036
⊛*Réponse moyenne	---	19,633	0,002

\* Indique que l'effet est significatif pour cette mesure.

⊛ Indique une interaction avec une autre variable pour cette mesure.

--- Suite au test de Mauchly, toutes les variables satisfont au critère de sphéricité.

statistiquement. Somme toute, l'intérêt de l'observation des effets de la dimension sur des mesures décrivant l'expérience de la douleur, dans une situation où seule la durée de la stimulation varie, non pas sa température, s'accroît dans la perspective où la durée pourrait avoir un impact plus grand sur le désagrément lié à la douleur que sur son intensité même.

#### 4.3.5 Interactions entre la durée et la dimension

Pour ce qui est de la réponse moyenne, il y a une interaction entre la durée et la dimension évaluée (intensité vs désagrément). L'effet de la durée va toujours dans la même direction pour les deux dimensions; il est cependant plus important sur le désagrément lié à la douleur que sur son intensité (voir Tableaux 4.18 et 4.19)

**Tableau 4.18 : Interactions entre la durée et la dimension sur la réponse moyenne**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
*Réponse moyenne	0,153	3,859	0,040

\* Indique que l'interaction est significative.

**Tableau 4.19 : Effets simples de la durée sur la réponse moyenne pour chaque dimension**

Mesure	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
*Intensité	0,821	4,573	0,025		
*Désagrément	0,007			9,684	0,007

<sup>Δ</sup>Pour que le test soit significatif, il faut  $p \leq 0,025$  afin de respecter la correction de Bonferroni.

\* Indique que l'effet de la température est significatif pour ce niveau.

#### 4.3.6 Caractérisation de l'effet de mémoire

Dans cette dernière expérience, l'effet de mémoire n'est pas significativement différent pour les différentes conditions de durée (voir Tableau 4.20). Ainsi, l'écart entre l'évaluation effectuée après 14 secondes et l'évaluation simultanée est toujours semblable, quelle que soit la durée des stimulations. Dans les expériences précédentes, l'effet de mémoire a permis de caractériser une augmentation des contrastes d'intensité dans les évaluations rétrospectives; ce n'est pas le cas ici.

**Tableau 4.20 : Effets de la température sur les effets de mémoire dans les réponses maximale et moyenne pour l'intensité et le désagrément**

Condition	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
Réponse maximale	Intensité	0,220	0,292	0,750	
	Désagrément	0,021			0,299 0,659
Réponse moyenne	Intensité	0,659	1,628	0,224	
	Désagrément	0,139	0,667	0,526	

#### 4.3.7 Interprétations

L'expérience confirme que l'augmentation de la durée de la stimulation entraîne une augmentation de la plupart des mesures, ce qui s'explique par un phénomène comparable à la sommation temporelle causant un accroissement de l'intensité perçue. L'absence d'impact de la prolongation de la stimulation sur le temps de retour peut s'expliquer d'abord par le manque de sensibilité de cette mesure, manque déjà constaté dans l'expérience précédente. Il est aussi possible que, malgré une perception différente de l'intensité, la température de la peau demeure la même –elle ne peut pas être plus élevée que 47,0°C– et le retour à la température normale se fait alors au même rythme.

L'interaction entre la durée et la dimension sur la réponse moyenne est très intéressante. Elle indique en effet que la durée de la stimulation douloureuse a un impact plus grand sur le désagrément qui lui est associé que sur son intensité.

La contraction dans le temps des évaluations rétrospectives est ici moins prononcée que lors des expériences 1 et 2. Cette contraction moindre peut être due à l'importance plus grande de la durée de la stimulation dans la troisième expérience où les stimuli se distinguent justement par leur durée. Il devient ainsi plus important de mémoriser la durée réelle de la stimulation. Rappelons l'absence de variation selon cet axe dans la première expérience et sa faible fréquence dans la seconde; la chose a pu contribuer à négliger la dimension temporelle dans les évaluations rétrospectives réalisées au cours des deux premières expériences.

La caractérisation de l'effet de mémoire ne nous permet pas de détecter une augmentation des contrastes dans les rapports entre les évaluations rétrospectives et les évaluations simultanées. Plusieurs facteurs peuvent influencer l'effet de mémoire dont le contexte de l'évaluation. En effet, peut-être les différentes stimulations sont-elles à l'origine si faciles à différencier qu'il devient inutile, pour les mécanismes de mémorisation, d'amplifier les différences perçues entre les divers niveaux ? De même, peut-être le nombre réduit de niveaux (3 vs 4 ou 5) a-t-il pour effet de faciliter le maintien en mémoire ? L'absence d'effet de contraste dans l'expérience 3 peut aussi signifier que les estimations de la dynamique temporelle et de la magnitude dépendent de mécanismes distincts, vulnérables à des phénomènes de distorsions mnésiques différents. C'est d'ailleurs un des sujets développés dans le prochain chapitre.

## **5 DISCUSSION GÉNÉRALE**

### **5.1 Principales observations et ébauches d'explication**

Au cours de trois différentes expériences, les évaluations simultanées et rétrospectives décrites par des sujets nous ont permis d'observer principalement deux choses. (1) La durée subit une réduction subjective lors du passage en mémoire et cette réduction peut être plus ou moins prononcée selon l'importance de cette durée comme facteur discriminant des stimulations. (2) Les réponses maximale et moyenne à l'égard des deux dimensions sont relativement bien préservées lors du processus mnésique. Elles sont cependant sujettes, dans certaines circonstances, à une accentuation des contrastes, ce qui en améliore la discrimination en rétrospective. Dans les prochaines lignes, différentes hypothèses seront proposées pour expliquer ces observations au regard des études disponibles dans la littérature. Nous aborderons aussi les bases anatomo-fonctionnelles peut-être associées aux processus perceptifs et mnésiques impliqués dans l'évaluation rétrospective de sensations douloureuses. Quelques conséquences cliniques seront discutées, suivies d'une conclusion générale où seront proposées des études ultérieures.

#### **5.1.1 Contraction dans le temps de l'évaluation rétrospective**

Les évaluations rétrospectives de la douleur présentent une importante distorsion de la dynamique temporelle lorsque comparées aux évaluations simultanées. L'entreposage en mémoire provoque une diminution notable de la durée de l'évaluation de la douleur dans l'expérience 1 et plus spécifiquement de l'intensité et du désagrément de la douleur dans l'expérience 2. Cela se manifeste par l'atteinte plus rapide de la valeur maximale et par une

diminution de la durée totale de l'évaluation. Pour nous assurer que cet effet ne reflète pas simplement un échec de nos instructions à souligner l'importance de reproduire fidèlement la dimension temporelle de la douleur, l'expérience 2 inclut des stimulations plus longues mais peu fréquentes (leurres). Dans cette expérience, les sujets présentent un effet de contraction temporelle robuste tout en montrant clairement une bonne discrimination de la durée du leurre. Cela confirme que l'effet de contraction ne s'explique pas seulement par une négligence systématique de la composante temporelle de la sensation et par le recours à un modèle temporel prototypique des sensations. Dans la troisième expérience, le délai d'évaluation a un impact dans la même direction, impact qui se manifeste surtout par l'atteinte plus rapide de la valeur maximale. Le contexte des stimulations met davantage l'accent sur la dimension temporelle; dans cette expérience, en effet, la principale variable indépendante est la durée des stimulations. Cela peut contribuer à atténuer l'effet de contraction temporelle en orientant davantage l'attention des sujets vers cet élément de l'expérience, tel que discuté ci-après. Toutefois, il faut souligner que l'effet de contraction temporelle des évaluations rétrospectives demeure présent quelle que soit la durée des stimulations. Ainsi, les trois expériences démontrent clairement que la dimension temporelle des sensations de douleur est systématiquement altérée par les processus mnésiques.

Ce phénomène de réduction n'est pas étranger aux reproductions temporelles dans d'autres modalités et chez d'autres espèces. Par exemple, un tel phénomène a déjà été rapporté chez le pigeon (Spetch et Wilkie, 1983). La réduction subjective des durées a été étudiée chez l'humain par Wearden de l'Université de Manchester. Dans un article récent (Wearden *et al.*, 2002), l'auteur relate différentes expériences au cours desquelles on

demande aux sujets de comparer deux lignes jaunes sur fond noir séparées d'un intervalle mnésique variable (1, 2, 5 ou 10 secondes), soit quant à leur durée de présentation, soit quant à leur longueur, au moyen de réponses de type « égal, plus grand ou plus petit ». Cela mène à constater que la durée et la longueur ne sont pas mémorisées de la même façon. En effet, les évaluations de la longueur ne sont pas sujettes à la réduction temporelle comme le sont les évaluations de la durée. C'est aussi ce que nous observons dans nos expériences; le délai entraîne une diminution de l'évaluation de la durée de la stimulation mais pas systématiquement de réduction des évaluations maximales (voir l'effet de contraste plus bas).

Une étude publiée en 2002 (Macar *et al.*, 2002) propose une expérience similaire ayant recours à des stimulations tactiles. Les sujets doivent estimer la durée d'une vibration de 50 Hz appliquée sur leur majeur droit. Ainsi, immédiatement après la stimulation, ils doivent attendre un laps de temps qu'ils jugent identique à sa durée, puis appuyer sur une touche faisant retentir un signal sonore pour indiquer la fin de l'intervalle. Dans ce contexte, bien qu'il n'y ait pas de délai entre la stimulation et la reproduction temporelle, les sujets doivent tout de même maintenir la durée en mémoire à court terme afin d'effectuer la tâche demandée. Les sujets ont en plus à effectuer une tâche-contrôle incluant les composantes vibrotactiles et motrices. Dans cette tâche, ils ressentent la stimulation vibrotactile et doivent ensuite appuyer sur la touche lorsque le signal sonore se fait entendre. Leurs résultats psychophysiques indiquent que les sujets surestiment la durée des stimulations courtes (3,2 secondes et moins) et sous-estiment la durée des stimulations longues (9 secondes et plus). Bien que ce paradigme soit quelque peu différent du nôtre, nous obtenons le même type de résultats avec une sous-estimation, en rétrospective, de la

durée des stimulations pour des sensations durant en réalité de 8 à 10 secondes. Dans la condition où les sujets ont à reproduire des durées plus longues, les régions corticales activées sont les suivantes : l'aire motrice supplémentaire (AMS) droite (probablement en liaison avec les noyaux gris centraux), le cortex cingulaire antérieur droit, le lobule pariétal inférieur droit et le cortex préfrontal dorsolatéral droit (AB9). Le rôle de ces régions dans la perception du temps peut être en partie expliqué par la fonction de ces régions dans la mémoire à court terme, tel que discuté plus bas.

### **5.1.2 Fiabilité des évaluations maximale et moyenne de l'intensité de la douleur et du désagrément relié à la douleur**

Dans toutes nos expériences, le délai n'a pas d'effet généralisé d'augmentation ou de diminution des réponses maximale et moyenne. Dans les deux premières, l'effet de mémoire montre toutefois une accentuation des contrastes dans les mesures de magnitude, ce qui suggère que le système mnésique introduit un biais rendant les évaluations plus dissemblables. Dans la troisième expérience, nous étudions la mémorisation de stimulations qui ne diffèrent que par leur durée; nous n'y observons pas de tel effet. L'absence d'effet net de contraste dans ce cas pourrait s'expliquer par l'emploi de seulement trois stimulations différentes (comparativement à quatre dans les autres expériences) ou par une accentuation de l'importance de la durée dans la discrimination au détriment de l'intensité.

Très récemment, un article portant sur la relation entre les évaluations simultanées dynamiques et les évaluations post-stimulus statiques de stimulations thermiques de différentes durées a été publié (Koyama *et al.*, 2004). Les auteurs tentent de déterminer la contribution de chacun des aspects de la douleur (douleur maximale, globale, moyenne,



etc.) aux évaluations rétrospectives. Leurs sujets sains reçoivent des stimulations d'une durée de 5, 10, 15 ou 30 secondes à des températures de 43°C, 45°C, 47°C ou 49°C. Pendant la stimulation, concurremment, les sujets doivent effectuer des évaluations dynamiques de la douleur ou du désagrément à l'aide d'une ÉVAé. On leur demande ensuite, immédiatement après chaque stimulation, d'effectuer une évaluation ponctuelle de l'intensité de la douleur et une autre du désagrément associé, des « instantanés » sur une échelle visuelle analogique portant des ancrages verbaux de même signification que les nôtres. Pour chaque évaluation dynamique, les auteurs extraient les réponses maximale et moyenne, la largeur maximale à mi-hauteur, la durée totale et le temps de montée. Ils calculent ensuite les coefficients de détermination entre les évaluations simultanées et rétrospectives ( $R^2$  ajusté) pour lesquels ils obtiennent des valeurs élevées tant pour l'intensité (0,894) que pour le désagrément (0,841). La variabilité des évaluations rétrospectives de l'intensité et du désagrément est particulièrement associée à la réponse moyenne (60 à 70%) et, dans une moindre mesure, à la réponse maximale (30 à 40%). Ils concluent donc que les évaluations rétrospectives sont valides et fiables. Cependant, certaines réserves doivent être soulevées. D'une part, les évaluations post-stimulus sont réalisées immédiatement après la stimulation et on demande aux sujets de produire non pas une mais deux évaluations statiques, l'une pour le désagrément et l'autre pour l'intensité. Devant ainsi juxtaposer deux évaluations, il se peut que les sujets s'appuient sur la première pour faire la seconde davantage que sur la mémoire qu'ils ont de la sensation. D'autre part, les deux évaluations rétrospectives statiques surviennent immédiatement après que le sujet a évalué la douleur concurremment à l'essai. Tel que discuté dans l'introduction, l'évaluation simultanée peut, du moins en principe, améliorer la mémoire de la douleur en

favorisant un encodage multimodal (par exemple somesthésique et visuo-moteur) ou, de façon générale, un encodage plus élaboré (niveau de traitement). Il est aussi possible que les sujets mémorisent leur évaluation simultanée continue et la transposent simplement sur l'échelle VAS-statique au moment de l'évaluation rétrospective. Dans ce cas, l'évaluation rétrospective reflète la mémoire de l'*évaluation simultanée* davantage que la mémoire de *la douleur* elle-même et il n'est pas surprenant d'observer des coefficients de détermination élevés dans ces conditions. De plus, les conditions expérimentales mises de l'avant par Koyama *et al.* ne sont peut-être pas idéales pour tester une éventuelle dissociation des mémoires de chacune des dimensions de la douleur. En effet, les évaluations des deux dimensions sont obtenues l'une après l'autre. Or, les évaluations sont généralement fortement corrélées dans de telles conditions (Rainville *et al.*, 1992). Le contexte ne favorise donc pas la mise en évidence des mécanismes qui pourraient être liés plus spécifiquement à l'une ou l'autre de ces dimensions. Somme toute, à la lumière de l'expérience de Koyama *et al.*, les évaluations effectuées immédiatement après une stimulation douloureuse paraissent valides; cependant, plusieurs facteurs ont pu contribuer à améliorer la concordance des évaluations simultanées et rétrospectives sans nécessairement refléter la mémoire même de la douleur.

Dans la présente étude, plusieurs des facteurs confondants précités sont contrôlés. En effet, les évaluations simultanées et rétrospectives sont réalisées sur la même échelle afin de placer les sujets dans des conditions d'évaluation les plus proches possible. Et elles le sont dans des blocs différents, donc dans des essais différents, afin de minimiser la contribution des évaluations simultanées aux évaluations rétrospectives. De plus, l'ÉVAe est dissimulée lors de la stimulation dans le but de prévenir la prise de repères visuels. Enfin, les

évaluations du désagrément et de l'intensité logent dans des blocs distincts évitant ainsi une contamination interéchelle; cela nous permet d'observer certaines différences entre ces deux dimensions.

## **5.2 Différentes conceptions, différents résultats, différents mécanismes...**

### **5.2.1 La discrimination différée de la douleur**

Dans notre article récemment publié dans la revue *Pain* (Rainville *et al.*, 2004), nous rapportons que la trace mnésique de l'expérience de la douleur se dégrade très rapidement. Dans les cinq expériences relatées au fil de cet article, deux stimulations séparées d'un court délai de quelques secondes, stimulations de même intensité ou d'intensité différente d'au plus 1,5°C, sont appliquées sur un même site; le sujet doit indiquer si la deuxième stimulation est identique ou différente de la première. Nous avons attribué la diminution de la performance des sujets dans ces tâches de discrimination différée à une détérioration des informations relatives à l'aspect sensori-discriminatif de la douleur dans la mémoire à court terme. Dans les trois expériences faisant l'objet du présent ouvrage, nous observons plutôt une bonne habileté des sujets à maintenir en mémoire les informations concernant les douleurs maximale et moyenne qui servent vraisemblablement à la réalisation de la tâche de discrimination différée. Dans l'article paru dans *Pain*, nous émettions l'hypothèse que la trace mnésique permettant d'effectuer la comparaison pour des écarts de température relativement petits (au plus 1°C) dépend d'une trace analogique, plutôt que catégorielle, de la sensation. Nous suggérons alors que la représentation perceptive de la sensation douloureuse est maintenue en mémoire ou réactivée pour mener à bien la tâche de comparaison. Il se peut que ces résultats discordants soient dus, du moins en partie, aux

différences dans les protocoles de ces deux études. Dans la présente tâche, le sujet doit reproduire l'évolution de la sensation douloureuse à l'aide d'une ÉVAé, ce qui a peut-être mis en jeu d'autres mécanismes mnésiques.

### **5.2.2 La reproduction dynamique de la douleur**

Dans la présente étude, nous constatons que les évaluations sont plutôt fiables, bien que non exactes, comme le montre l'effet de contraste mnésique. Il est donc possible que les sujets empruntent la voie de la catégorisation pour produire leurs évaluations. S'il s'agit d'une explication possible, d'autres pistes méritent d'être explorées. *A posteriori*, nous devons admettre que la tâche requise de la part de nos sujets va au-delà de la seule mémoire de la douleur. Elle implique aussi une variable habituellement absente des tâches de discrimination différée : les sujets ont à mémoriser l'évolution de la sensation douloureuse dans le temps pour ensuite la reproduire. Vu l'utilisation d'une ÉVAé, il est peu probable que les sujets aient effectivement d'abord catégorisé leur réponse, car ils auraient dû ensuite retransformer cette trace catégorielle en une réponse motrice complexe. Les résultats présentés précédemment appuient plutôt l'idée d'un cheminement des informations essentielles à la reproduction de l'*évolution temporelle* de la douleur et de son *intensité* dans différentes régions corticales, informations ensuite fusionnées pour élaborer la réponse motrice.

### **5.3 Assises neurophysiologiques et perspectives de recherche**

Suivons le cheminement des informations. Les voies nociceptives ascendantes distribuent les informations relatives à la sensation dans différentes régions sous-corticales

et corticales. La voie spinothalamique latérale amène les informations vers S1 et S2. Le cortex somatosensoriel primaire est impliqué dans la perception de la sensation dans ses termes les plus simples. À tout moment, les neurones corticaux de cette région nous informent de l'intensité et de la localisation de la douleur. Le cortex somatosensoriel secondaire, spécifiquement sa partie la plus postérieure, reçoit des informations par une voie thalamocorticale parallèle à celle du cortex somatosensoriel primaire. Ces informations pourraient être utilisées afin de constituer la mémoire de l'intensité de la sensation. Ces deux régions sont donc particulièrement importantes dans l'aspect sensoriel-discriminatif de la douleur. La voie spinothalamique médiane dirige les entrées nociceptives vers l'insula et le cortex cingulaire antérieur. Le cortex insulaire jouerait un rôle dans la perception des propriétés affectives de la douleur; il en irait de même du cortex cingulaire antérieur (Treede *et al.*, 1999). Ce dernier servirait de substrat pour le désagrément associé à la douleur, mais on lui attribue aussi un rôle dans la réponse attentionnelle lors de reproductions temporelles. D'autres régions cérébrales sont importantes dans la perception du temps dont l'aire corticale motrice supplémentaire, le lobule pariétal inférieur, le cortex préfrontal dorsolatéral ainsi que les noyaux gris centraux (Macar *et al.*, 2002). Ainsi, il se pourrait qu'il y ait séparation des composantes sensorielle, affective et temporelle de la sensation de douleur engendrée par ce type de stimulations. Il pourrait y avoir, d'un côté, mémorisation de la réponse maximale ou moyenne, d'un second, mémorisation du désagrément associé et, d'un troisième côté, mémorisation de la composante temporelle de la sensation. Enfin, ces mémoires devraient être transformées en la réponse motrice appropriée.

### 5.3.1 La douleur

On sait déjà que le cortex somatosensoriel primaire a une organisation somatotopique et des champs récepteurs circonscrits. On sait qu'il joue un rôle sensori-discriminatif dans le traitement perceptif de la douleur. Et on sait aussi que le cortex somatosensoriel secondaire a de très grands champs récepteurs. L'utilisation de l'IRMf permet de montrer que la variation dans le temps de l'importance de l'activité dans S1 et dans le CCA lors de l'application de stimulations douloureuses correspond aux évaluations subjectives de l'intensité de la douleur fournies par les sujets (Porro *et al.*, 1998). Considérant que les évaluations du désagrément sont généralement parallèles aux évaluations de l'intensité, il se peut que ces régions, S1 et CCA, soient impliquées dans les deux dimensions de la douleur. À cause de ses champs récepteurs de petite taille, il est fort probable que S1 soit en charge du positionnement du stimulus douloureux sur le corps en plus de l'évaluation de son intensité. Enfin, région aux multiples fonctions, le cortex cingulaire antérieur est associé à l'aspect affectif de la douleur (Rainville *et al.*, 1997). Par ailleurs, on rapporte que la région postérieure de S2 est spécifique aux sensations douloureuses alors que sa région antérieure le serait aux stimulations tactiles (Ferretti *et al.*, 2003). Dans le domaine, il existe un certain consensus quant au rôle probable de S2 dans la mémoire de la douleur bien que, à notre connaissance, aucune preuve formelle ne soit disponible à ce jour. En somme, S1 servirait à la localisation du stimulus ainsi qu'à la détermination de ses propriétés nociceptives et de son intensité, alors que S2, par analogie à son rôle dans les stimulations tactiles, servirait quant à lui à la mémoire de l'intensité de la douleur. Comme le propose Lenz, l'insula soutiendrait la mémoire de l'aspect affectif des stimulations douloureuses (Lenz *et al.*, 1997). Enfin, faisant partie du réseau attentionnel, le CCA pourrait jouer un rôle dans la perception de la douleur et aussi dans la perception de la durée.

### 5.3.2 La durée

La perception de la durée a d'abord fait l'objet d'études cognitives, bien avant que la neurobiologie ne s'y intéresse; à ce propos, un article intéressant a paru en 1997. Les auteurs précisent d'abord les principaux constats que l'on doit à la psychophysique. Au premier chef, l'incertitude sur la mesure répond à la loi de Weber –c'est-à-dire que l'incertitude est proportionnelle à l'intervalle estimé–, comme si l'horloge mentale avait des propriétés scalaires. Et, par conséquent, les comparaisons sont effectuées eu égard à des proportions (ratios) plutôt qu'à des différences absolues (Gibbon *et al.*, 1997). Dans une revue de la littérature, les auteurs rappellent les résultats de plusieurs études sur le sujet, principalement des études de lésions et de neuropharmacologie, et arrivent à la conclusion que les noyaux gris centraux et le cortex frontal jouent un rôle important dans la chronotaxie et la perception du temps. Ils précisent que, considérant les différentes étendues de variation possible, il est pratiquement certain que plusieurs systèmes neuronaux sont impliqués. Quelques années plus tard, une nouvelle étude a mis en relief d'importantes différences hémisphériques dans le traitement des informations temporelles (Kagerer *et al.*, 2002). Les auteurs observent que des patients ayant des lésions cérébrales, à droite comme à gauche, ont des performances semblables dans des tâches de durée moindre que 2 à 3 secondes. Parmi ces patients, cependant, ceux dont les lésions sont situées à droite s'avèrent considérablement moins habiles que les autres à reproduire des durées plus longues, soit de 4 à 5,5 secondes. Les régions supportant la perception des durées font l'objet d'études en imagerie fonctionnelle. Dans l'un de ces articles, les auteurs notent une activation spécifique à la perception de la durée dans les noyaux gris centraux, particulièrement le putamen, dans l'aire motrice supplémentaire ainsi que dans certaines régions frontales et pariétales (Ferrandez *et al.*, 2003). Dans un autre article plus récent encore, on décrit

l'anatomie fonctionnelle de la modulation attentionnelle de l'estimation temporelle (Coull *et al.*, 2004). En demandant à leurs sujets de prêter attention, soit à la couleur d'une forme exposée, soit à la durée de l'exposition, soit aux deux, selon différentes proportions, les auteurs mettent en lumière l'activation de régions particulières lorsqu'il y a concentration sur la durée. Ils trouvent appui sur la prémisse suivante : si la modulation de l'attention à la couleur influence l'activation des régions effectivement impliquées dans la vision chromatique, alors la modulation de l'attention à la durée a vraisemblablement une influence sur l'activation des régions servant à la perception du temps. Ce faisant, ils observent une modification de l'activité cérébrale en fonction de l'attention dans de nombreuses régions faisant apparemment partie d'une boucle cortico-striatale. Les noyaux gris centraux serviraient à la perception du temps et l'aire motrice supplémentaire constituerait l'horloge interne.

### **5.3.3 La mémoire**

Très peu d'études neurophysiologiques portent sur le maintien en mémoire à court terme d'informations de nature douloureuse et d'informations d'origine temporelle. De par sa complexité, la mémoire requiert fort probablement tout un système réticulaire. Les régions présentées ci-après se trouvent sans doute parmi celles qu'implique cette importante fonction, mais leur liste n'est pas exhaustive.

Schnitzler et Ploner, dans une revue de littérature portant sur la perception de la douleur (Schnitzler et Ploner, 2000), suggèrent un rôle pour S2 dans les réactions autonomiques à la douleur, dans la mémoire de la douleur et dans l'apprentissage relié à la



douleur. Plus récemment, dès l'introduction d'un article sur le sujet (Macar *et al.*, 2002), on passe en revue plusieurs régions corticales et sous-corticales activées lors de tâches comportant une dimension temporelle, notamment : les noyaux gris centraux, l'aire motrice supplémentaire et le cervelet, ainsi que le cortex préfrontal dorsolatéral, le cortex cingulaire antérieur et le cortex pariétal droit, ces derniers étant reconnus pour leur rôle dans le système attentionnel et dans la mémoire de travail. Puis, en 2003, une équipe utilise l'IRMf pour comparer les activations engendrées par deux tâches de discrimination différée (Nenadic *et al.*, 2003). L'une des tâches veut que le sujet compare l'intensité lumineuse d'une diode électroluminescente (DEL), alors que l'autre tâche demande qu'il compare la durée de mise en circuit de cette DEL. L'intérêt de cette étude vient de l'identification des régions impliquées non seulement dans la perception, mais aussi dans la mémoire de la perception. Les auteurs remarquent l'activation spécifique du putamen droit lors de la tâche de discrimination temporelle. Cela confirme le rôle essentiel des noyaux gris centraux dans le traitement des informations temporelles.

Revenons en arrière de quelques années. Quelle que soit la modalité retenue – auditive, sensorielle ou visuelle –, le gyrus frontal supérieur, le gyrus frontal inférieur, le cortex pariétal inférieur, le cortex frontal ventro-médian, le cortex cingulaire antérieur et l'opercule frontal sont activés chez les sujets qui effectuent trois tâches différentes de mémoire à court terme dans le scanner (Klingberg *et al.*, 1996). Une étude de 1999 utilisant la magnétoencéphalographie entière de la tête révèle que l'activation des aires somatosensorielles primaires et secondaires a lieu en parallèle (Ploner *et al.*, 1999), contrairement à ce qui se produit pour le système de discrimination tactile. Les auteurs attribuent la conservation de ce traitement parallèle, généralement associé aux mammifères

inférieurs, à l'importance qu'aurait cette région dans l'apprentissage et la mémoire de la douleur. Dans une étude comparant des sujets ayant un score élevé au test de mémoire immédiate des mots (*reading span test*) et ceux ayant un résultat faible dans des tâches de lecture et de mémoire immédiate, on note que l'activation dans certaines régions se particularise, suggérant que celles-ci soient importantes dans la mémoire de travail. Les régions supplémentaires mises en jeu chez les sujets ayant une mémoire à court terme plus performante sont entre autres le gyrus frontal inférieur gauche et le cortex cingulaire antérieur (Osaka *et al.*, 2004). Enfin, le cortex préfrontal aurait un rôle multifonctionnel général dans la mémoire à court terme.

**Tableau 5.1 : Résumé des régions impliquées dans la perception et la mémoire d'une stimulation douloureuse et leurs rôles probables**

Composante	Régions	Rôles probables
Intensité	S1	Localisation et discrimination de l'intensité
	S2	Perception des caractéristiques de la douleur, mémoire de la douleur ?
Désagrément	Insula	Perception du caractère désagréable, association au système limbique, mémoire du désagrément ?
	CCA	Affect et attention
Durée	AMS (antérieur)	Horloge interne
	Putamen	Perception du temps

#### 5.4 Implications cliniques

Dans les conditions liées à notre série d'expériences, la mémoire de la douleur expérimentale semble fiable quoique relativement imprécise. Cette imprécision est due au phénomène d'accentuation des contrastes qui accroît la différence relative entre deux

sensations douloureuses générées dans un certain intervalle de temps. Ce mécanisme, bien que servant correctement les sujets pour la tâche à réaliser, ne se retrouve probablement pas dans un environnement clinique. Il ne va pas de soi que le phénomène d'accentuation des contrastes observé dans notre étude (pour des douleurs aiguës) se retrouverait dans un contexte de douleurs cliniques plus persistantes. Que la mémoire soit relativement fiable dans les évaluations effectuées à court terme et qu'il n'y ait pas de dégradation graduelle de la trace mnésique constituent cependant de bonnes nouvelles. En effet, si les sujets peuvent maintenir en mémoire leur évaluation des douleurs maximale et moyenne, au moins pendant un court laps de temps, il est plus probable que la même chose se produise dans un environnement clinique, du moins pour une douleur aiguë. Par contre, il ne faut pas négliger les différences considérables entre la douleur d'origine expérimentale et la douleur « naturelle ». Dans la réalité de la douleur, l'affect est sans doute la composante la plus susceptible de gagner en importance. Pour un patient, la douleur indique que quelque chose ne va pas, que sa santé s'altère, ce qui est inquiétant en soi. De ce fait, les mécanismes mis en jeu pour la mémoire de la douleur clinique sont probablement influencés par cet affect qui peut aussi biaiser l'expérience de la douleur<sup>1</sup>. Par ailleurs, la douleur présente au moment de l'évaluation est elle-même reconnue comme pouvant biaiser l'évaluation en question, en particulier chez des patients souffrant de douleur chronique (Feine *et al.*, 1998). D'ailleurs, il pourrait être intéressant de répéter au moins l'une de nos expériences avec, pour sujets, des patients atteints de douleur chronique afin de voir si leur perception et leur mémoire de la douleur sont altérées.

---

<sup>1</sup> Pour plus de détails, on peut consulter l'introduction de Rainville *et al.* en annexe H.

## 6 CONCLUSION

La mémoire de la douleur constitue un sujet d'étude ayant des implications tant fondamentales que cliniques. Parvenir à mieux comprendre les mécanismes mnésiques de cette sensation, sous la chape de sa dimension affective, est en soi pertinent; mais l'intérêt de ce champ d'étude croît d'autant plus que l'on considère le rôle de la mémoire de la douleur dans la vie de certaines gens. En effet, à peu près tous les contextes cliniques sollicitent la mémoire de la douleur, que ce soit la localisation de la douleur ou son évolution. L'identification des caractéristiques de cette mémoire s'avère donc de première importance.

Dans la présente étude, nous avons tenté de déterminer les composants de la sensation douloureuse égarés lors du passage en mémoire, cela en comparant des évaluations dynamiques de sensations douloureuses générées expérimentalement. Il appert que ces évaluations, réalisées avec une échelle visuelle analogique électronique, simultanément à la stimulation ou après un court délai, ne diffèrent que sur l'aspect temporel du décours. Conséquemment, dans ce contexte expérimental, nous ne sommes en mesure de détecter aucune dégradation ni distorsion significative des informations relatives à la douleur. Nous constatons bien un phénomène d'accentuation des contrastes dans les deux premières expériences, mais ce phénomène ne fait qu'améliorer la discrimination des stimulations adjacentes. C'est donc dire que la mémoire des douleurs maximale et moyenne demeure adéquate.

La mémoire des informations temporelles, qui constitue en soi un champ d'étude, apparaît moins bonne que la mémoire des autres informations entourant la perception de la stimulation. Considérant que cette mémoire se moule au gré de l'orientation privilégiée de l'attention, il semble logique qu'elle soit inadéquate dans nos conditions expérimentales. Dans ces cas-ci, les stimulus appliqués ont pour effet, sans doute à cause de leur nature douloureuse, de concentrer l'attention des sujets sur les aspects sensoriels et affectifs de la douleur.

À notre avis, de nouvelles études sont nécessaires afin d'approfondir notre connaissance de la mémoire à court terme de la douleur. Parmi celles-ci, l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle deviendra certainement l'outil de choix pour identifier les structures impliquées dans ces processus mnésiques. La division probable de la sensation de douleur en différentes composantes, sensorielle, affective et temporelle, au cours des tâches réalisées, nous amènera à considérer désormais un phénomène cognitif sans doute trop souvent négligé : la mémoire de la durée. Il faudra savoir le prendre en compte.

Afin de déterminer les régions cérébrales en action dans ce type de tâche, le paradigme suivant pourrait être mis en œuvre sous l'œil du scanner. Les sujets sont appelés à reproduire l'évolution d'une sensation douloureuse, en simultané et rétrospectivement, au moyen d'un curseur dont le déplacement a pour effet d'allonger ou de relâcher, à l'écran, une bande « élastique » entre deux ancrages verbaux, à la manière d'un « dolorimètre ». Parfois avant, parfois après, les sujets reçoivent une stimulation douloureuse tout en suivant du regard le déplacement de la bande « élastique » à l'écran et en tentant d'en calquer le

mouvement avec le curseur, soit en même temps que la stimulation, soit après le même délai que dans la condition rétrospective. La réalisation de cette tâche dans un protocole événementiel devrait permettre d'identifier les régions spécifiquement activées dans l'intervalle mnésique. Ces régions devraient normalement comprendre le réseau de la perception du temps ainsi que les aires sollicitées dans la perception de la douleur et de son désagrément. En imagerie, l'actualisation du protocole de discrimination différée en parallèle avec l'expérience décrite ci-dessus devrait permettre d'identifier les régions spécifiquement responsables de la mémoire des composantes sensori-discriminatives de la douleur.

Même lorsque seront identifiées les régions cérébrales jouant un rôle dans la mémoire de la douleur, les prochains défis à relever demeureront multiples. Tout d'abord, il faudra comprendre les relations entre les régions en connectivité fonctionnelle et déterminer formellement le rôle de chacune d'elles. Ensuite, il s'agira de déterminer les facteurs qui influencent la mémoire de la douleur. Finalement, il faudra trouver les moyens de moduler les facteurs en question afin d'être en mesure de catalyser la dégradation de cette mémoire dans les situations qui l'exigent ou, au contraire, d'en conserver la vivacité, tout cela, dans le but ultime d'améliorer la qualité de vie des gens, malades ou en santé.

# RÉFÉRENCES

1. Atkinson, R. C. et Shiffrin, R. M., *Human memory : A proposed system and its control processes*, The psychology of learning and motivation : Advances in research and theory, (2) , 89-195, 1968.
2. Baddeley, A. D., *Is working memory still working?*, American Psychologist, (56) 11, 851-864, 2001.
3. Baddeley, A. D. et Hitch, G. J., *Working memory* dans The psychology of learning and motivation, Bower, G. H., 47-89, 1974.
4. Basbaum, A. I. et Jessel, T. M., *The perception of pain* dans Principles of neural science, Kandel, E. R., Schwartz, J. H., and Jessel, T. M., 472-491, 2000.
5. Beese, A. et Morley, S., *Memory for Acute Pain Experience Is Specifically Inaccurate But Generally Reliable*, Pain, (53) 2, 183-189, 1993.
6. Bingel, U., Quante, M., Knab, R., Bromm, B., Weiller, C., et Buchel, C., *Subcortical structures involved in pain processing: evidence from single-trial fMRI*, Pain, (99) 1-2, 313-321, 2002.
7. Buckner, R. L., *Functional-anatomic correlates of control processes in memory*, J. Neurosci., (23) 10, 3999-4004, 2003.
8. Cabeza, R. et Nyberg, L., *Neural bases of learning and memory: functional neuroimaging evidence*, Curr. Opin. Neurol., (13) 4, 415-421, 2000.
9. Clark, W. C., Yang, J. C., Tsui, S. L., Ng, K. F., et Clark, S. B., *Unidimensional pain rating scales: a multidimensional affect and pain survey (MAPS) analysis of what they really measure*, Pain, (98) 3, 241-247, 2002.
10. Coghill, R. C., McHaffie, J. G., et Yen, Y. F., *Neural correlates of interindividual differences in the subjective experience of pain*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, (100) 14, 8538-8542, 2003.
11. Coghill, R. C., Sang, C. N., Maisog, J. M., et Iadarola, M. J., *Pain intensity processing within the human brain: a bilateral, distributed mechanism*, J. Neurophysiol., (82) 4, 1934-1943, 1999.
12. Coull, J. T., Vidal, F., Nazarian, B., et Macar, F., *Functional anatomy of the attentional modulation of time estimation*, Science, (303) 5663, 1506-1508, 2004.

13. Craik, F. I. M., *Levels of processing: Past, present ... and future?*, *Memory*, (10) 5-6, 305-318, 2002.
14. Craik, F. I. M. et Lockhart, R. S., *Levels of processing : a framework for memory research*, *Journal of verbal learning and verbal behavior*, (11) , 671-684, 1972.
15. Curtis, C. E. et D'Esposito, M., *Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory*, *Trends Cogn Sci.*, (7) 9, 415-423, 2003.
16. Defrin, R., Ohry, A., Blumen, N., et Urca, G., *Sensory determinants of thermal pain*, *Brain*, (125) , 501-510, 2002.
17. Derbyshire, S. W., Jones, A. K., Gyulai, F., Clark, S., Townsend, D., et Firestone, L. L., *Pain processing during three levels of noxious stimulation produces differential patterns of central activity*, *Pain*, (73) 3, 431-445, 1997.
18. Feine, J. S., Lavigne, G. J., Dao, T. T., Morin, C., et Lund, J. P., *Memories of chronic pain and perceptions of relief*, *Pain*, (77) 2, 137-141, 1998.
19. Ferrandez, A. M., Hugueville, L., Lehericy, S., Poline, J. B., Marsault, C., et Pouthas, V., *Basal ganglia and supplementary motor area subtend duration perception: an fMRI study*, *Neuroimage.*, (19) 4, 1532-1544, 2003.
20. Ferretti, A., Babiloni, C., Gratta, C. D., Caulo, M., Tartaro, A., Bonomo, L., Rossini, P. M., et Romani, G. L., *Functional topography of the secondary somatosensory cortex for nonpainful and painful stimuli: an fMRI study*, *Neuroimage*, (20) 3, 1625-1638, 2003.
21. Gibbon, J., Malapani, C., Dale, C. L., et Gallistel, C., *Toward a neurobiology of temporal cognition: advances and challenges*, *Curr. Opin. Neurobiol.*, (7) 2, 170-184, 1997.
22. Harris, J. A., Miniussi, C., Harris, I. M., et Diamond, M. E., *Transient storage of a tactile memory trace in primary somatosensory cortex*, *J. Neurosci.*, (22) 19, 8720-8725, 2002.
23. Harrison, J. L. K. et Davis, K. D., *Cold-evoked pain varies with skin type and cooling rate: a psychophysical study in humans*, *Pain*, (83) 2, 123-135, 1999.
24. Hofbauer, R. K., Rainville, P., Duncan, G. H., et Bushnell, M. C., *Cortical representation of the sensory dimension of pain*, *Journal of Neurophysiology*, (86) 1, 402-411, 2001.
25. Hunter, M., Philips, C., et Rachman, S., *Memory for pain*, *Pain*, (6) 1, 35-46, 1979.
26. Hutchison, W. D., Davis, K. D., Lozano, A. M., Tasker, R. R., et Dostrovsky, J. O., *Pain-related neurons in the human cingulate cortex*, *Nature Neuroscience*, (2) 5, 403-405, 1999.



27. IASP, *A virtual pocket dictionary of pain terms*, International association for the study of pain, 2004.
28. Kagerer, F. A., Wittmann, M., Szélag, E., et Steinbüchel, N., *Cortical involvement in temporal reproduction: evidence for differential roles of the hemispheres*, *Neuropsychologia*, **(40)** 3, 357-366, 2002.
29. Kandel, E. R., Kupfermann I., et Iversen S., *Learning and memory* dans Principles of neural science, Kandel E.R., Schwartz J.H., and Jessel T.M., 1227-1246, 2000.
30. Kapur, S., Craik, F. I. M., Tulving, E., Wilson, A. A., Houle, S., et Brown, G. M., *Neuroanatomical Correlates of Encoding in Episodic Memory - Levels of Processing Effect*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, **(91)** 6, 2008-2011, 1994.
31. Kent, G., *Memory of dental pain*, *Pain*, **(21)** , 187-194, 1985.
32. Kerns, R. D., Turk, D. C., et Rudy, T. E., *The West Haven-Yale Multidimensional Pain Inventory (WHYMPI)*, *Pain*, **(23)** 4, 345-356, 1985.
33. Klement, W. et Arndt, J. O., *Pain but not temperature sensations are evoked by thermal stimulation of cutaneous veins in man*, *Neurosci. Lett.*, **(123)** , 119-122, 1991.
34. Klingberg, T., Kawashima, R., et Roland, P. E., *Activation of multi-modal cortical areas underlies short-term memory*, *Eur. J. Neurosci.*, **(8)** 9, 1965-1971, 1996.
35. Koyama, Y., Koyama, T., Kroncke, A. P., et Coghill, R. C., *Effects of stimulus duration on heat induced pain: the relationship between real-time and post-stimulus pain ratings*, *Pain*, **(107)** 3, 256-266, 2004.
36. Lenz, F. A., Gracely, R. H., Romanoski, A. J., Hope, E. J., Rowland, L. H., et Dougherty, P. M., *Stimulation in the human somatosensory thalamus can reproduce both the affective and sensory dimensions of previously experienced pain*, *Nat. Med.*, **(1)** 9, 910-913, 1995.
37. Lenz, F. A., Gracely, R. H., Zirh, A. T., Romanoski, A. J., et Dougherty, P. M., *The sensory-limbic model of pain memory - Connections from thalamus to the limbic system mediate the learned component of the affective dimension of pain*, *Pain Forum*, **(6)** 1, 22-31, 1997.
38. Linton, S. J., *Memory for chronic pain intensity: correlates of accuracy*, *Percept. Mot. Skills*, **(72)** 3 Pt 2, 1091-1095, 1991.
39. Macar, F., Lejeune, H., Bonnet, M., Ferrara, A., Pouthas, V., Vidal, F., et Maquet, P., *Activation of the supplementary motor area and of attentional networks during temporal processing*, *Exp. Brain Res.*, **(142)** 4, 475-485, 2002.

40. Melzack, R., *The McGill Pain Questionnaire: Major properties and scoring methods*, *Pain*, (1) , 277-299, 1975.
41. Melzack, R. et Katz, J., *Pain measurements in persons in pain* dans *Textbook of pain*, Wall, P. D. and Melzack, R., 409-426, 1999.
42. Morin, C. et Bushnell, M. C., *Temporal and qualitative properties of cold pain and heat pain: a psychophysical study*, *Pain*, (74) 1, 67-73, 1998.
43. Muller, N. G., Machado, L., et Knight, R. T., *Contributions of subregions of the prefrontal cortex to working memory: Evidence from brain lesions in humans*, *Journal of Cognitive Neuroscience*, (14) 5, 673-686, 2002.
44. Nenadic, I., Gaser, C., Volz, H. P., Rammsayer, T., Hager, F., et Sauer, H., *Processing of temporal information and the basal ganglia: new evidence from fMRI*, *Exp. Brain Res.*, (148) 2, 238-246, 2003.
45. Norvell, K. T., Gaston-Johansson, F., et Fridh, G., *Remembrance of labor pain: how valid are retrospective pain measurements?*, *Pain*, (31) 1, 77-86, 1987.
46. Nyberg, L., *Levels of processing: A view from functional brain imaging*, *Memory*, (10) 5-6, 345-348, 2002.
47. Nyberg, L. et Tulving, E., *Classifying human long-term memory: Evidence from converging dissociations*, *European Journal of Cognitive Psychology*, (8) 2, 163-183, 1996.
48. Osaka, N., Osaka, M., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., et Shibasaki, H., *The neural basis of executive function in working memory: an fMRI study based on individual differences*, *Neuroimage*, (21) 2, 623-631, 2004.
49. Owen, A. M., *The functional organization of working memory processes within human lateral frontal cortex: the contribution of functional neuroimaging*, *Eur. J. Neurosci.*, (9) 7, 1329-1339, 1997.
50. Peyron, R., Laurent, B., et Garcia-Larrea, L., *Functional imaging of brain responses to pain. A review and meta-analysis (2000)*, *Neurophysiol. Clin.*, (30) 5, 263-288, 2000.
51. Ploghaus, A., Tracey, I., Gati, J. S., Clare, S., Menon, R. S., Matthews, P. M., et Rawlins, J. N., *Dissociating pain from its anticipation in the human brain*, *Science*, (284) 5422, 1979-1981, 1999.
52. Ploner, M., Schmitz, F., Freund, H. J., et Schnitzler, A., *Parallel activation of primary and secondary somatosensory cortices in human pain processing*, *J. Neurophysiol.*, (81) 6, 3100-3104, 1999.

53. Porro, C. A., Cettolo, V., Francescato, M. P., et Baraldi, P., *Temporal and intensity coding of pain in human cortex*, J. Neurophysiol., **(80)** 6, 3312-3320, 1998.
54. Price, D. D., *Neuroscience - Psychological and neural mechanisms of the affective dimension of pain*, Science, **(288)** 5472, 1769-1772, 2000.
55. Rainville, P., Carrier, B., Hofbauer, R. K., Bushnell, M. C., et Duncan, G. H., *Dissociation of sensory and affective dimensions of pain using hypnotic modulation*, Pain, **(82)** , 159-171, 1999.
56. Rainville, P., Doucet, J. C., Fortin, M. C., et Duncan, G. H., *Rapid deterioration of pain sensory-discriminative information in short-term memory*, Pain, **(110)** 3, 605-615, 2004.
57. Rainville, P., Duncan, G. H., et Bushnell, M. C., *Représentation cérébrale de l'expérience subjective de la douleur chez l'homme*, Médecine/Science, **(16)** 4, 519-527, 2000.
58. Rainville, P., Duncan, G. H., Price, D. D., Carrier, B., et Bushnell, M. C., *Pain affect encoded in human anterior cingulate but not somatosensory cortex*, Science, **(277)** 5328, 968-971, 1997.
59. Rainville, P., Feine, J. S., Bushnell, M. C., et Duncan, G. H., *A psychophysical comparison of sensory and affective responses to four modalities of experimental pain*, Somatosens. Mot. Res., **(9)** , 265-277, 1992.
60. Ranganath, C., Johnson, M. K., et D'Esposito, M., *Prefrontal activity associated with working memory and episodic long-term memory*, Neuropsychologia, **(41)** 3, 378-389, 2003.
61. Redelmeier, D. A. et Kahneman, D., *Patients' memories of painful medical treatments: Real-time and retrospective evaluations of two minimally invasive procedures*, Pain, **(66)** 1, 3-8, 1996.
62. Rofe, Y. et Algom, D., *Accuracy of remembering postdelivery pain*, Percept. Mot. Skills, **(60)** 1, 99-105, 1985.
63. Romo, R., Brody, C. D., Hernandez, A., et Lemus, L., *Neuronal correlates of parametric working memory in the prefrontal cortex*, Nature, **(399)** 6735, 470-473, 1999.
64. Romo, R., Hernandez, A., Zainos, A., Brody, C., et Salinas, E., *Exploring the cortical evidence of a sensory-discrimination process*, Philos. Trans. R. Soc. Lond B Biol. Sci., **(357)** 1424, 1039-1051, 2002.
65. Schacter, D. L., *Implicit memory : History and current status*, Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition, **(13)** , 501-518, 1987.

66. Schnitzler, A. et Ploner, M., *Neurophysiology and functional neuroanatomy of pain perception*, J. Clin. Neurophysiol., (17) 6, 592-603, 2000.
67. Spetch, M. L. et Wilkie, D. M., *Subjective Shortening - A Model of Pigeons Memory for Event Duration*, Journal of Experimental Psychology-Animal Behavior Processes, (9) 1, 14-30, 1983.
68. Squire, L. R., *Memory and Brain*, 1987.
69. Stoeckel, M. C., Weder, B., Binkofski, F., Buccino, G., Shah, N. J., et Seitz, R. J., *A fronto-parietal circuit for tactile object discrimination: an event-related fMRI study*, Neuroimage, (19) 3, 1103-1114, 2003.
70. Strigo, I. A., Bushnell, M. C., Boivin, M., et Duncan, G. H., *Psychophysical analysis of visceral and cutaneous pain in human subjects*, Pain, (97) 3, 235-246, 2002.
71. Strigo, I. A., Duncan, G. H., Boivin, M., et Bushnell, M. C., *Differentiation of visceral and cutaneous pain in the human brain*, Journal of Neurophysiology, (89) 6, 3294-3303, 2003.
72. Tasmuth, T., Estlanderb, A. M., et Kalso, E., *Effect of present pain and mood on the memory of past postoperative pain in women treated surgically for breast cancer*, Pain, (68) 2-3, 343-347, 1996.
73. Treede, R. D., Kenshalo, D. R., Gracely, R. H., et Jones, A. K., *The cortical representation of pain*, Pain, (79) 2-3, 105-111, 1999.
74. Tulving, E., *Organization of memory : Quo vadis?* dans *The cognitive neurosciences*, Gazzaniga, M. S., 839-847, 1995.
75. Wagner, A. D., *Working memory contributions to human learning and remembering*, Neuron, (22) 1, 19-22, 1999.
76. Wearden, J. H., Parry, A., et Stamp, L., *Is subjective shortening in human memory unique to time representations?*, Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B-Comparative and Physiological Psychology, (55) 1, 1-25, 2002.
77. Weiskrantz, L., *Neuroanatomy of memory and amnesia : A case for multiple memory systems*, Human Neurobiology, (6) , 93-105, 1987.
78. Willis, W. D. et Westlund, K. N., *Neuroanatomy of the pain system and of the pathways that modulate pain*, Journal of Clinical Neurophysiology, (14) 1, 2-31, 1997.

**ANNEXE A : RENSEIGNEMENTS AUX  
PARTICIPANTS ET FORMULAIRE DE  
CONSENTEMENT**

## RENSEIGNEMENT AUX PARTICIPANTS

**TITRE DE L'ÉTUDE :** Étude expérimentale de la mémoire à court-terme de la douleur

**CHERCHEUR RESPONSABLE :**

Pierre Rainville, Ph.D.  
Département de stomatologie,  
Fac. de médecine dentaire  
Pavillon Paul-G-Desmarais, local 2123  
Tél. : (514) 343-6111 poste 3935

**INTRODUCTION :** L'expérience de la douleur dépend d'un vaste réseau de structures cérébrales dont certaines pourraient être impliquées plus particulièrement dans la mémoire de la douleur. Les quelques études cliniques disponibles sur la mémoire de la douleur s'accordent généralement pour conclure que l'évaluation rétrospective de la douleur est peu fiable (par ex. Feine et coll., *Pain*, 77 : 137-141, 1998). Toutefois, ces études cliniques souffrent de limites importantes associées (1) à l'impossibilité de contrôler rigoureusement la source de la douleur, (2) aux fluctuations spontanées de la douleur dans le temps et (3) aux interférences potentielles liées aux évaluations répétées. La capacité de mémoriser une expérience douloureuse à long-terme dépend évidemment de la capacité de la mémoriser à court-terme. L'étude de cette dimension de la mémoire de la douleur est complètement négligée. Ce projet évaluera la mémoire à court-terme de la douleur expérimentale (chaleur) chez des sujets humains normaux. L'étude servira de projet pilote pour des études d'imagerie cérébrale fonctionnelle évaluant les bases cérébrales de la mémoire de la douleur.

**BUTS ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE :** Le présent projet vise à évaluer un modèle expérimental de la mémoire de la douleur expérimentale chez l'humain. Dans le cadre du projet, des stimulations thermiques seront données dont vous devrez retenir l'intensité pendant un délai variable, après lequel vous devrez l'évaluer ou dire si une seconde stimulation est identique ou différente. Ce modèle expérimental servira ultérieurement à évaluer l'activité cérébrale qui sous-tend la mémoire de la douleur.

**MODALITÉS DE PARTICIPATION À L'ÉTUDE :** Des stimulations thermiques seront administrées sur vos bras et/ou jambes par le chercheur principal ou par un stagiaire ou assistant de recherche qu'il a formé. L'expérience a une durée de 2 à 3 heures et se déroulera au Pavillon Paul-G-Desmarais de l'Université de Montréal.

*Stimulations thermiques :* Pendant la séance, vous recevrez des séries de stimulations thermiques de courte durée (quelques secondes). Plusieurs de ces stimulations sont douloureuses sans toutefois causer de dommage à la peau. Après un délai variable suivant les stimulations, vous devrez donner des évaluations subjectives de l'expérience de douleur ou indiquer si l'intensité d'une seconde stimulation est pareille ou différente de la première. Vous pouvez retirer votre bras ou jambe du stimulateur en tout temps si la sensation devient trop inconfortable.

**CONDITIONS DE PARTICIPATION DU PARTICIPANT :** Cette étude s'adresse à des individus adultes (18 à 55 ans) en bonne santé. Vous ne pouvez pas participer à cette étude si vous souffrez ou avez déjà souffert (1) de douleur chronique, (2) de troubles neurologiques ou (3) de troubles psychiatriques.

**AVANTAGES À PARTICIPER :** Vous ne retirerez aucun bénéfice personnel immédiat sur votre état de santé en participant à cette étude. Ces études ont pour objectif ultime une meilleure compréhension de la mémoire de la douleur et des mécanismes des mécanismes cérébraux en jeu.

**RISQUES ET INCONFORTS :** L'inconfort principal associé à cette étude est lié à l'exposition à des stimulations thermiques qui peuvent s'avérer désagréables et qui peuvent produire une légère sensibilisation pendant les minutes qui suivent les stimulations. Toutefois, les stimulations thermiques sont contrôlées avec précision ( $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ), elles sont administrées à plusieurs endroits sur la peau pour minimiser la sensibilisation et elle ne causent aucune brûlure ou dommage à la peau. Vous pouvez retirer votre peau du stimulateur en tout temps si la sensation devient trop inconfortable.

**PARTICIPATION VOLONTAIRE ET RETRAIT DE L'ÉTUDE :** Votre participation est entièrement volontaire. Vous êtes libre de mettre un terme à l'expérience en cours sans préjudice et en tout temps sans devoir justifier votre décision.

**DÉDOMMAGEMENT EN CAS DE PRÉJUDICE :** L'Université est tenue par la loi de réparer les préjudices causés aux participants d'un projet de recherche par sa faute, celle de ses chercheurs ou de ses préposés.

**CONFIDENTIALITÉ :** Votre participation est strictement confidentielle. Pour les analyses, les résultats individuels sont codés et la confidentialité est rigoureusement observée dans les communications scientifiques. Vos coordonnées sont transmises pour fin de paiement de l'indemnité.

**INDEMNITÉ :** Une rétribution monétaire de 25\$ vous sera versée comme dédommagement pour les inconvénients, déplacements et autres dépenses encourues pour participer à ce projet. Ce paiement vous parviendra par le courrier dans les mois qui suivent votre participation.

**QUESTIONS SUR L'ÉTUDE :** Si vous avez des questions au sujet de cette étude, vous pouvez communiquer avec le chercheur responsable en tout temps.

**ÉTHIQUE :** Pour tout problème éthique concernant les conditions dans lesquelles se déroule votre participation à ce projet, vous pouvez, après en avoir discuté avec le responsable du projet, faire part de vos préoccupations à la présidente du Comité d'éthique de la recherche des Sciences de la santé, Mme Jocelyne St-Arnaud (tél.: (514) 343-6483). Suite à cet entretien, si vous avez des raisons sérieuses de croire que la réponse apportée est insuffisante, vous pouvez communiquer avec l'ombudsman de l'Université, Mme Marie-Josée Rivest (tél.: (514) 343-2100).

## FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

**TITRE DE L'ÉTUDE : Études expérimentales de la mémoire à court terme de la douleur**

**CHERCHEUR RESPONSABLE :**

Pierre Rainville, Ph.D.  
 Département de stomatologie,  
 Fac. de médecine dentaire  
 Pavillon Paul-G-Desmarais, local 2123  
 Tél. : (514) 343-6111 poste 3935

Je, (nom du participant) \_\_\_\_\_, déclare avoir pris connaissance des documents ci-joints dont j'ai reçu la copie, en avoir discuté avec

(nom de l'investigateur) \_\_\_\_\_, et comprendre le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de l'étude en question.

Je certifie, qu'à ma connaissance, je ne souffre d'aucun problème d'ordre physique ou d'ordre mental qui m'empêcherait de participer à cette étude.

Après réflexion et un délai raisonnable, je consens librement à prendre part à cette étude. Je sais que je peux m'en retirer en tout temps sans préjudice

\_\_\_\_\_  
 Nom du participant (en lettres moulées)

\_\_\_\_\_  
 Signature du participant

\_\_\_\_\_  
 Date

Je, (nom de l'investigateur) \_\_\_\_\_, déclare avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de l'étude au participant.

\_\_\_\_\_  
 Nom de l'investigateur (en lettres moulées)

\_\_\_\_\_  
 Signature de l'investigateur

\_\_\_\_\_  
 Date

Témoin (autre qu'un individu associé au projet)

\_\_\_\_\_  
 Nom du témoin en lettres moulées

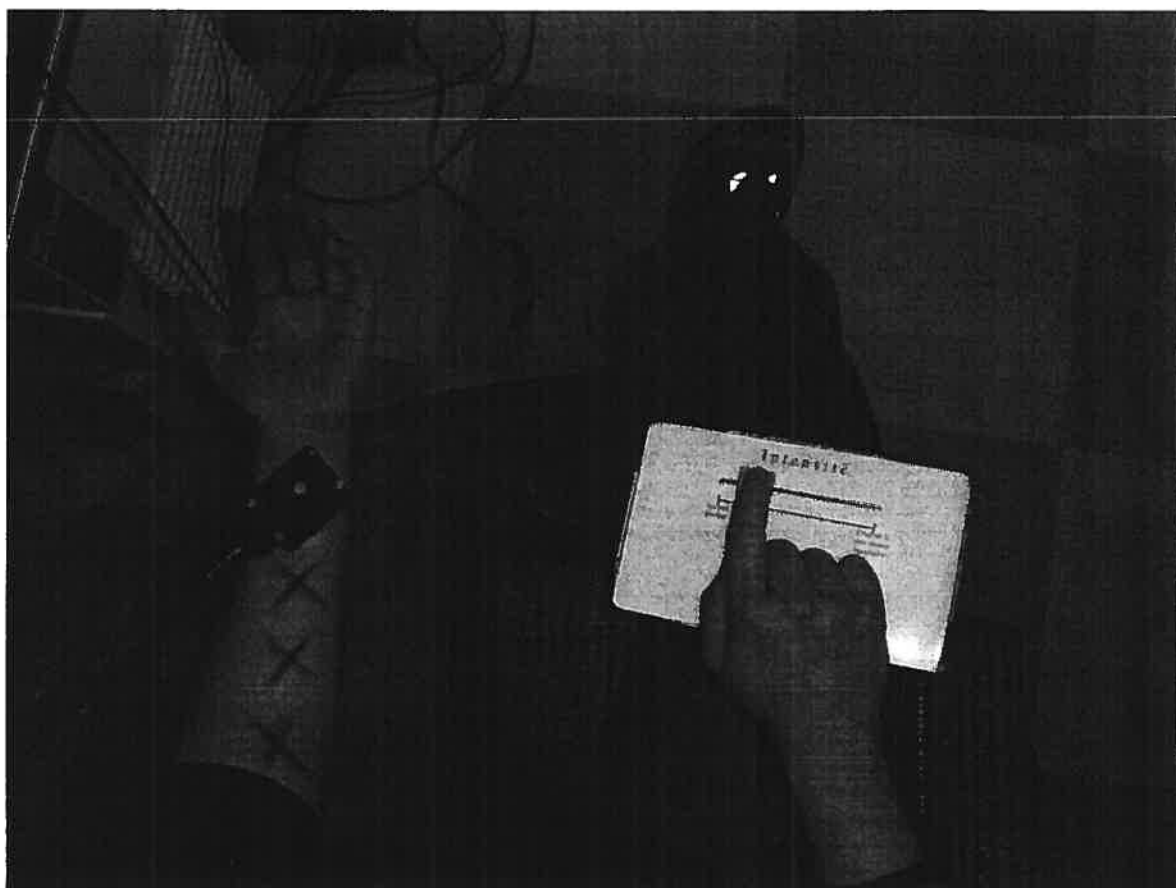
\_\_\_\_\_  
 Signature du témoin

\_\_\_\_\_  
 Date



**ANNEXE B : SITES DE STIMULATIONS ET  
POSITIONNEMENT DU SUJET**





**ANNEXE C : INSTRUCTIONS À PROPOS DES DEUX  
DIMENSIONS DE LA DOULEUR**

## Instructions

Dans cette expérience, je vous demande de me dire lorsque vous sentirez de la douleur et d'indiquer quelle en est l'intensité et à quel point c'est désagréable. C'est important que vous compreniez ce que je veux dire par douleur car il est possible que vous ressentiez plusieurs types de sensations, certaines douloureuses, d'autres non. Vous pouvez ressentir ou de la chaleur sans éprouver de la douleur.

Par douloureux, je veux dire une sensation qui a les qualités de la douleur. La douleur calorifique peut généralement être décrite comme : « brûlante, piquante, picotante », cette sensation est localisée. Vous devrez alors reproduire l'évolution de l'intensité de la sensation douloureuse. Si vous n'éprouvez pas de douleur, laissez le curseur à son origine. Si la douleur est la plus intense douleur imaginable, amenez le curseur à sa position la plus élevée. Respectez l'évolution temporelle de la sensation, déplacez le curseur au rythme où la sensation évolue. Elle peut atteindre plusieurs pics ou être constante.

Cette sensation de douleur ne signifie pas que vous ne pouvez pas la tolérer. Dans différentes occasions on accepte de tolérer la douleur volontairement : Lorsque vous mettez votre pied froid dans l'eau chaude du bain, lorsque vous tenez une tasse très chaude le temps de la mettre sur la table... Remarquez cependant qu'en tout temps, tel que vous l'avez lu dans les documents, vous pouvez retirer votre bras et vous n'avez qu'à faire l'évaluation telle que vous la sentez.

Je vais aussi vous demander d'évaluer le désagrément associé à la sensation sur une échelle semblable. Le désagrément représente un autre aspect de l'expérience de la douleur. Vos évaluations devront refléter votre sentiment par rapport à la douleur c'est-à-dire « combien la douleur vous dérange, combien elle vous fait vous sentir inconfortable ». Si la douleur n'est pas inconfortable du tout ou si vous n'éprouvez pas de douleur, vous devriez laisser le curseur à sa position d'origine. Si elle devient incroyablement désagréable, puis ensuite de moins en moins, alors vous devrez faire votre évaluation en amenant le curseur au maximum puis en le ramenant à sa position d'origine lorsque le désagrément est disparu.

Le désagrément associé à la douleur et l'intensité de la douleur peuvent varier plus ou moins ensemble. Cependant, généralement, une sensation de douleur plus intense cause un désagrément plus grand. Malgré ceci, dans certains essais il est possible que vous ressentiez une douleur faible avec un certain désagrément puis dans d'autres, une sensation de douleur relativement forte sans que un désagrément très élevé.

Dans les essais je vous demanderai d'évaluer seulement un de ces 2 aspects de la douleur : l'intensité de la douleur ou son désagrément. Il est important de souligner que vos évaluations doivent reproduire ce que vous sentez le plus exactement possible. Il n'y a pas de bonne ou de mauvaises réponses.

## **ANNEXE D : VALEURS BRUTES**

# Expérience 1

Maximum moyen pour chaque condition (T=température; T1=47.5, T2=48.0, T3=48.5 et T4=49.0°C et D=débit, D1=simultané, D2=6, D3=10, D4=14s post-stimulus)

Condition	T1D1	T1D2	T1D3	T1D4	T2D1	T2D2	T2D3	T2D4	T3D1	T3D2	T3D3	T3D4	T4D1	T4D2	T4D3	T4D4
1	53.5894	48.128365	43.1764875	43.6769125	54.19657	50.9137925	55.1235075	56.28141	65.0856175	55.35755	59.9321875	66.0835375	61.1963325	69.3924875	69.20002	74.541455
2	52.87699	47.98603	36.179785	36.446645	60.7498	60.469665	52.82618	65.46763	57.7457225	59.06222	65.6969075	65.9649775	61.07161	61.07161	58.88823	59.801308
3	22.0725	21.981653	31.040075	31.040075	36.04585	29.98534	30.2886725	36.98049	39.17311	38.9128875	36.46662	38.009045	49.4941375	53.46672	53.46672	51.2664
4	61.24007	75.279003	59.0837775	62.409665	63.43207	61.749105	71.00924	68.16068	67.17677	76.33066	71.9254	73.86088	66.1374325	81.20709	75.02186	85.422578
5	38.02752	43.481363	28.076035	44.2728	59.3286	29.85908	34.6739175	47.50014	55.8851175	35.74405	49.685065	51.67136	62.6221525	65.466095	37.93975	63.22574
6	84.011	75.94418	68.21611	71.9854525	87.74338	72.1317275	70.4918825	77.08822	90.7182025	78.09831	77.80883	78.28462	93.6345125	80.62988	81.89844	85.964958
7	88.78119	71.28178	68.21611	71.9854525	86.71482	79.7550925	79.31626	77.14982	88.5486775	86.93039	84.4282725	83.3488975	92.8538525	88.7858	80.82523	89.83284
8	5.35991	8.280843	6.3068675	4.67626	12.38277	3.677975	7.0505725	12.8796	9.892975	10.7029	11.6631025	14.80174	13.6269025	22.0632625	15.91037	13.844008
9	54.12574	64.126498	64.793215	62.9208675	73.27885	58.820475	67.5139775	66.53007	62.930105	76.13819	75.3513725	66.3914925	72.6167525	75.2543675	79.40403	79.793585
10	34.68778	27.70803	38.1737975	24.9841925	35.89942	39.00835	35.4715175	44.87793	47.96977	36.69871	55.205115	41.35033	46.1266725	53.3450825	57.13906	53.731565
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Moyenne	49.454564	48.310318	45.09410775	45.2157505	56.777213	48.6460325	50.37657275	55.291035	59.631163	55.423609	58.860974	57.8224035	60.7895265	65.0851575	60.969371	65.7429437
Ecart type	25.75795768	23.60029564	21.218723	21.75977067	23.86246493	22.96763873	22.9479189	20.14657529	22.65330305	24.4680954	21.60999106	21.47749085	24.122980752	19.48557753	21.27414436	22.95056167
Erreur type	0.145381414	7.463068768	6.709949372	6.881043669	7.545973976	7.263005086	7.25679129	6.370964051	7.156736303	7.737491147	6.833679197	6.791778951	7.628356302	6.161880652	6.727475146	7.257604845
Coef. d'asy	0.05725309	-0.373708884	-0.642690444	-0.56381812	-0.480458814	-0.646350496	-0.578145284	-0.996167008	-0.845581174	-0.444746566	-1.149887643	-0.88264856	-0.491401478	-1.119258842	-1.280469595	-0.251177021
Kurtosis	-0.251177021	-1.039371657	-0.69752152	-0.468476631	-0.204767877	0.06193584	-0.459398327	0.791762588	1.235628901	-0.705522135	1.452864203	1.62544178	0.4974423898	1.650419093	0.895773324	1.969809922

Durée totale moyenne pour chaque condition (T1=47.5, T2=48.0, T3=48.5 et T4=49.0°C et D1=simultané, D2=6, D3=10, D4=14s post-stimulus)

Condition	T1D1	T1D2	T1D3	T1D4	T2D1	T2D2	T2D3	T2D4	T3D1	T3D2	T3D3	T3D4	T4D1	T4D2	T4D3	T4D4
1	16.1	11	11.5	10.4	14.6	15.8	15.6	11	13.9	12.7	16.3	11.6	14.3	12.8	16.8	12.7
2	12.7	9.9	9.9	11.4	12.2	13	11.1	10	12.2	12.7	9.9	9.8	12.8	9.9	11.6	9.6
3	10.8	12.7	9.1	10	12.4	10	12.2	10.6	13	15.4	10.9	8.7	13.3	11.5	10.9	11.6
4	16.9	14.8	13.6	12.9	15.4	11.4	12.7	14.6	15.4	13.4	13	14.5	16.8	13.3	13.6	12.1
5	14.8	5.8	5.4	8.4	4.8	4.2	6.5	6.2	15.7	5.1	6.2	11.9	15.7	7.3	6.4	9.9
6	12.6	7.3	8.2	7.8	11.9	6.7	8.1	9.5	12.9	8.7	8.7	9	12.6	6	9.7	10.4
7	9.3	7.3	6	8.9	9.6	8.9	8.4	6.2	9.2	6.8	7.6	8.9	9.9	7.6	8.9	7.5
8	8.2	8.6	7.8	6.6	8.7	5.2	7.6	8.9	6.3	8.5	7.5	9.5	7.2	8.1	8.5	9.8
9	14.5	7	9	8	15.5	8.3	9.3	8.5	15.8	8.3	9.3	7.8	17.1	8.4	8.7	8.9
10	11.8	8.6	10.8	7.6	11.4	8	9.5	9.4	12.3	7.1	11.6	7.8	12.4	8.5	11.4	11.5
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Moyenne	12.77	9.3	9.13	9.2	12.65	9.15	10.1	9.49	12.67	12.67	9.87	10.1	13.21	9.39	10.65	10.4
Ecart type	2.84880917	2.82016548	2.479717736	1.945364862	2.389909343	3.54087408	2.779288478	2.423702402	3.001499625	3.09480247	2.992583425	2.145900484	3.049389739	2.533969218	2.953434912	1.589549202
Erreur type	0.90866995	0.89114629	0.784155592	0.615178384	0.755755692	1.120738844	0.878888187	0.766441996	0.949157521	1.078172322	0.946337971	0.678593016	0.964301705	0.801311425	0.933958124	0.502659593
Coef. d'asy	-0.149432475	0.8612087	0.200594172	0.695338166	-0.317299195	0.509735813	0.76526994	0.643609898	-1.128314513	0.321230478	0.882523031	1.071627839	-0.648057818	0.609779195	0.858494386	-0.293183138
Kurtosis	-0.903137871	0.034745175	-0.111953335	-0.195650998	-1.049265127	-0.073462818	0.098156313	1.504997641	-1.118679694	-1.27760021	0.760957488	0.9002301782	0.356166012	-0.88192139	1.052558037	-0.36444504

Autre sous la courbe moyen pour chaque condition (T1=47.5, T2=48.0, T3=48.5 et T4=49.0°C et D1=simultané, D2=6, D3=10, D4=14s post-stimulus)

Condition	T1D1	T1D2	T1D3	T1D4	T2D1	T2D2	T2D3	T2D4	T3D1	T3D2	T3D3	T3D4	T4D1	T4D2	T4D3	T4D4
1	305.30909	202.676665	184.5260175	180.7107925	268.349625	253.885015	246.43118	245.6199575	326.59446	249.99927	271.0269625	288.4429125	307.7854125	320.0448475	340.21882	343.9422
2	263.3925875	181.9805575	219.02648	146.9226225	292.8350875	229.37207	228.6921125	238.1247725	275.8330025	249.82066	237.752125	270.1191975	298.9588775	258.0901875	246.1566375	243.7630025
3	100.80026	97.989596	88.989665	154.298395	151.75278	127.2508475	144.4528425	174.6304975	244.1741175	193.784455	188.423465	148.7256075	162.072655	219.7667975	270.1098825	275.6869025
4	365.53429	377.3009325	282.1606825	287.0515825	355.0912375	268.5478675	306.4951675	327.8175725	317.0952025	375.01369	340.4537875	367.191916	396.8247325	371.5546875	319.1203975	391.148225
5	211.920475	103.9623975	54.97746	130.4065125	348.48504	50.47781	85.2445	110.82173	38.03945075	37.0305275	33.96843	119.24308	220.8037525	338.35155	190.5566525	94.157495
6	407.515465	210.52661	190.3879725	215.397875	420.0893225	190.7164775	235.096525	259.9933325	435.7590225	205.83264	253.453408	250.24802	446.2954545	199.7004575	288.29171	307.9743425
7	410.5809775	252.066405	219.78035	261.2630975	395.49708	325.04138	266.3569425	234.7454575	420.66781	342.0737775	282.9571225	345.27833	433.5582425	399.452265	368.0464925	348.5915925
8	19.2110025	33.6492825	23.55013	15.2314875	43.7336475	6.8949025	22.39446	52.561185	27.5646025	33.1527075	34.831325	67.7624175	29.963165	80.0422575	62.290795	61.49212
9	277.2945675	184.6507375	221.5272075	194.556725	383.58116	177.920205	245.700485	219.457615	334.4447875	243.9010425	281.33206	199.338845	411.08109	242.51518	267.51438	262.03175
10	183.4184675	106.492995	148.5054225	84.053955	183.296285	151.7650225	139.6890475	171.6954825	240.5204175	125.569425	250.14039	152.77957	217.03934	205.2145775	264.0196575	283.7976025
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Moyenne	254.4977183	175.0938543	163.3431388	166.9893045	284.2711265	178.1871598	192.0553263	203.5467603	301.0683903	209.3116098	225.9138705	279.0217813	304.193061	248.693791	251.9926168	276.998335
Ecart type	128.7262273	97.02470291	83.00115646	80.5569978	122.8193515	98.42181756	89.96797493	78.9282793	117.4898114	108.6234856	89.59796706	89.59924675	133.8063544	94.2757094	99.28784773	89.48126019
Erreur type	40.70680277	30.68190505	26.24727028	25.47435945	38.83888914	31.1237115	28.45037173	24.95929719	37.15354057	34.3497622	28.3336608	28.33376964	42.31378452	29.81378452	31.39757428	28.296445901
Coef. d'asy	0.533564971	0.73111527	-0.52528701	-0.377013511	-0.884333766	-0.405666358	-0.763018024	-0.578069764	-1.373057212	-0.1594969	-1.208662154	-0.32644026	-0.98933288	0.07083459	-1.156104846	-1.52776652
Kurtosis	-0.402905024	1.065237764	-0.74470182	0.182933016	-0.125898725	-0.372152377	-0.356318953	0.438499968	2.773813959	-0.546683538	1.288576055	-0.470371269	0.436485822	0.083626397	0.556343254	3.748306342

Réponse moyenne pour chaque condition (Aire sous la courbe / durée totale) (T1=47.5, T2=48.0, T3=48.5 et T4=49.0°C et D1=simultané, D2=6, D3=10, D4=14s post-stimulus)

Condition	T1D1	T1D2	T1D3	T1D4	T2D1	T2D2	T2D3	T2D4	T3D1	T3D2	T3D3	T3D4	T4D1	T4D2	T4D3	T4D4
1	18.96329752	18.42515136	16.04574065	17.37603774	18.3801113	16.06867184	15.79687051	22.32908705	23.49600432	19.68498189	16.62742101	24.86352637	20.25112024	27.04620629	27.04620629	27.04620629
2	20.73957382	18.38174449	22.12388687	12.88794934	24.00287602	17.64400638	20.60289302	23.81627725	22.60926434	19.67091811	23.96719318	27.56318342	23.3561623	26.06971591	21.22019878	25.39197943
3	9.333524783	7.715429921	9.779084066	15.4298395	12.23812742	12.72508475	11.84039693	16.47457524	18.78262442	12.58340617	17.28655642	17.09489741	12.18591391	19.1101563	24.78072317	23.76611228
4	21.62924783	25.49330625	20.74710901	22.25706066	23.05787256	23.55683048	24.13347776	22.43525839	25.13184789	27.98609627	26.18875388	23.91166621	23.62051979	27.93644267	23.46472776	32.32584879
5	14.31895101	17.92455129	10.18101111	15.52458482	23.54628649	12.01852619	13.11453846	17.87447258	20.26084092	14.50561373	19.23275484	18.55493718	21.55105414	26.10365103	14.71210859	25.41020758
6	32.34249722	28.81542603	21.1804543	27.61511218	35.30162374	28.4651459	29.02426235	27.36771921	33.77976919	30.26950588	29.13258592	38.79531798	43.79376187	52.55950855	41.35333848	46.478879
7	44.14849272	34.52964452	36.63007833	29.35540421	41.1976125	36.52150337	31.70915982	37.86217056	45.72476196	39.3118825	37.23120066	6.844468636	4.16150694	9.881760185	7.38328824	6.274706122
8	2.342405183	3.89177035	3.019247436	2.307501136	5.026836034	1.325942788	2.946639474	5.905751124	4.72533373	3.900318529	3.79531798	6.844468636	4.16150694	9.881760185	7.38328824	6.274706122
9	19.12376328	26.37867679	24.61413417	24.11059063	24.74717161	21.43616928	26.41940699	25.81854294	21.6739161	29.38566777	30.25075914	26.57851267	24.03982992	28.87085476	30.74877931	29.44176966
10	15.54393792	12.3829064	13.5050208	11.05973092	16.07862149	18.97062781	14.70411026	18.26547866	19.55450549	17.68583451	21.56328272	19.38712436	17.50317258	24.14289147	23.15961908	24.67805239
n	19.84859235	19.39287441	18.01088192	17.81821111	22.3571592	18.87325078	19.02917556	21.81635312	23.48823439	21.49891679	22.61254674	23.16014317	22.71557019	27.20219128	23.67401401	27.04620629
Ecart type	11.63321983	9.625336615	9.531387124	8.251132394	10.49242532	9.626647874	8.933664122	8.291799788	10.65924377	10.31751203	8.998437935	8.416505671	11.02398612	10.90604588	9.225266718	9.837946257
Erreur type	3.678747117	3.043798695	3.014089257	2.609237164	3.317995653	3.044213351	2.828072648	2.622097323	3.370748846	3.266683781	2.84555926	2.661532786	3.486990505	3.448794525	2.917282323	3.11031925
Coef d'asy.	0.840567374	-0.124040226	0.398083734	-0.33077316	0.279382426	0.080558574	-0.248376252	0.021596686	0.56144614	0.066764422	-0.460559906	-0.152912387	0.385570179	1.15093435	0.169914317	-0.219296648
Kurtosis	1.386291783	-0.705896456	0.483374648	-0.116160787	0.281572227	0.857873324	-0.544453043	1.792673701	2.254856813	0.154775501	0.903706584	1.470375635	0.906730961	3.517741079	1.071198203	3.344269117

Temps de retour moyen pour chaque condition (T1=47.5, T2=48.0, T3=48.5 et T4=49.0°C et D1=simultané, D2=6, D3=10, D4=14s post-stimulus)

Condition	T1D1	T1D2	T1D3	T1D4	T2D1	T2D2	T2D3	T2D4	T3D1	T3D2	T3D3	T3D4	T4D1	T4D2	T4D3	T4D4
1	10.6	6.8	7.2	7.1	9.5	12	10.9	7.7	9	8.6	12	7.4	9.5	8.8	12	8.6
2	6.9	5.9	6.5	7.2	7.1	7.1	7	5.9	6.8	6.9	6.4	6.7	7	6.8	8.1	5.9
3	6.6	8.5	6.2	7.1	6.7	6.2	7.7	7.1	7.6	7.7	7.2	6.5	7.4	7.2	7.6	8
4	10.7	10.9	9.7	7.9	9.7	7.3	8.5	9.7	9.6	9.3	7.9	6.3	10.9	8.8	9.4	7.5
5	9.7	4.2	3.9	6.4	9.7	3.1	4.6	4.9	9.3	4.8	4.8	8.9	7.3	5.3	4.9	7.5
6	7.9	4.9	6.1	5.2	7.4	6.4	6.4	7.3	7.4	4.9	6.6	6.6	7.9	4.2	7.5	7.7
7	6.4	5.1	4.9	6.7	6.7	5.9	5.4	4.9	6.8	5.5	5.1	7.2	6.5	6.2	6.5	5.7
8	4.8	6.2	5.8	4.7	5.1	5.1	5.1	5.9	4.4	4.4	4.6	7.2	4.8	5.3	5.8	7
9	9	4.6	6.4	6	9.9	6.1	6.7	6	10.1	5.8	6.3	7.2	10.4	5.7	6.2	6.8
10	7.4	6.1	7.2	5.1	6.8	5.4	6	5.7	7.2	4.6	7.3	5	7.4	6.1	7.6	7.5
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Moyenne	8	6.32	6.39	6.34	7.86	6.06	6.83	6.51	7.08	6.43	6.78	7.05	8.11	6.41	7.56	7.22
Ecart type	1.951637489	2.031857388	1.533659386	1.059559657	1.69456648	2.559166531	1.857148352	1.468521554	1.70818292	2.193956345	2.125924635	1.304053509	2.037834094	1.447181168	2.015064452	0.897898782
Erreur type	0.617161963	0.642292723	0.484985681	0.335062183	0.535868972	0.809279515	0.587281874	0.46438729	0.540174869	0.693789914	0.672276398	0.412377928	0.641257445	0.457638868	0.637216168	0.283940526
Coef d'asy.	0.03766696	1.443137953	0.706356647	-0.2896991687	-0.014673117	1.275568428	1.146954183	1.113090473	-0.580066137	0.518650325	1.74541604	-0.400580042	-0.196162163	0.431095954	1.119255442	-0.502183098
Kurtosis	0.953760659	2.03666997	2.146161839	-1.143703801	-1.407449264	2.881046689	1.552548351	1.305423589	0.370971833	-0.985568845	4.103047414	0.074901056	-0.249127012	-0.394556997	1.809874003	-0.150189846

Temps de montée moyen pour chaque condition (T1=47.5, T2=48.0, T3=48.5 et T4=49.0°C et D1=simultané, D2=6, D3=10, D4=14s post-stimulus)

Condition	T1D1	T1D2	T1D3	T1D4	T2D1	T2D2	T2D3	T2D4	T3D1	T3D2	T3D3	T3D4	T4D1	T4D2	T4D3	T4D4
1	5.5	4.2	4.3	3.3	5.1	3.8	4.7	3.3	4.9	4.1	4.3	4.2	4.8	4.8	4.8	4.1
2	5.8	4	3.4	4.2	5.1	5.9	4.1	4.1	5.4	5.8	3.5	3.1	5.8	3.1	3.5	3.7
3	4.2	4.2	2.9	2.9	5.7	3.8	4.5	3.5	5.4	5.4	4.1	2.2	5.9	4.3	3.3	3.6
4	6.2	3.9	3.9	5	4.1	4.2	4.2	4.9	5.8	4.1	5.1	5.2	5.9	4.5	4.2	4.6
5	5.1	1.6	1.5	2	5.1	1.1	1.9	1.3	6.4	1.7	1.4	3	6.4	2	1.5	2.4
6	4.7	2.4	2.1	2.6	4.5	2.2	1.7	2.2	5.4	1.9	2.1	2.4	4.7	1.8	2.2	2.7
7	2.9	2.2	1.1	2.2	2.9	3.2	1.3	1.3	3.2	3.2	1.7	1.7	3.4	1.4	2.4	1.8
8	3.4	2.4	2.2	1.9	3.6	2.2	2.6	2.6	3.2	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8
9	5.5	2.4	2.6	2	5.6	2.2	2.5	2.5	5.7	2.5	2.5	1.8	6.3	2.7	2.5	2.1
10	4.4	2.5	3.6	2.5	4.6	2.6	3.5	3.7	5.1	2.5	4.3	2.8	5	2.4	3.8	4
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Moyenne	4.77	2.98	2.74	2.86	4.79	3.09	3.27	2.98	4.84	3.44	3.32	2.91	5.1	2.98	3.09	3.18
Ecart type	1.060450638	0.978434123	1.063746001	1.031010702	0.925502866	1.354375625	1.086329191	1.169803302	1.479639596	1.396980872	1.147751425	1.078527803	1.217465491	1.186779021	1.009345222	0.944927981
Erreur type	0.335343936	0.309408037	0.336386022	0.326666667	0.292669704	0.428291178	0.343527453	0.369924917	0.467903124	0.44176414	0.362950869	0.341060438	0.384996392	0.375292479	0.319182985	0.298872464
Coef d'asy.	-0.52938153	0.248027248	-0.081084155	1.232623437	-1.110719193	0.727621801	-0.13196486	-0.090141665	-1.461041504	0.542031706	-0.142330752	1.164956675	-0.914333147	0.422990202	0.200719931	-0.019714382
Kurtosis	-0.583456263	-1.810465801	-1.179617532	0.718538649	0.599789358	0.94882519	-1.541453537	-0.624814473	1.023538111	-0.756695556	-0.748189158	1.86350813	-0.131232654	-1.197075466	-0.60835994	-1.390927348



Rétrospectif 14 - simultané : Effet de mémoire MAXIMUM

Condition	47.5	48	48.5	49
1	-9.68	2.08	1.03	13.35
2	-16.43	4.72	8.22	-1.27
3	8.97	0.93	-14.22	13.26
4	1.17	4.73	6.68	19.29
5	6.25	-11.83	-3.92	0.6
6	-14.26	-10.66	-12.43	-7.67
7	-16.8	-9.57	-5.2	-3.02
8	-0.68	0.49	4.91	0.22
9	8.8	-6.75	3.46	7.18
10	-9.7	10.98	-6.62	7.6
n	10	10	10	10
Moyenne	-4.236	-1.488	-1.809	4.954
Ecart type	10.34237583	7.740467686	7.884941274	8.563592445
Erreur type	3.270536404	2.447750804	2.493437364	2.708045708
Coef d'asy	0.093686271	-0.019833964	-0.333351879	0.263661977
Kurtosis	-1.83480398	-1.244223595	-1.215583612	-0.936698706

Sujets

Rétrospectif 14 - simultané : Effet de mémoire MOYENNE

Condition	47.5	48	48.5	49
1	-1.587259775	3.948975744	1.369764002	5.558607573
2	-7.851624477	-0.190398775	4.953919074	2.035817122
3	6.096482093	4.236447816	-1.687727009	11.58019837
4	0.62281273	-0.604614175	-1.220181683	8.705330002
5	1.205633808	-5.671813906	-1.705903739	3.859153436
6	-4.727388043	-7.933904529	-5.974433363	-5.807363801
7	-14.79308799	-3.335441935	-6.929443979	2.685117131
8	-0.035004047	0.878895089	2.469354906	2.113155428
9	5.195827349	1.071371328	5.411121053	5.401939838
10	-4.484207003	2.18685537	0.032618871	7.174879811
n	10	10	10	10
Moyenne	-2.035781236	-0.541362797	-0.328091213	4.330683491
Ecart type	6.236286928	3.999403972	4.105261695	4.694345453
Erreur type	1.972087083	1.264722584	1.298197735	1.484482375
Coef d'asy	-0.76172788	-0.724804552	-0.221387723	-0.776994234
Kurtosis	0.711787015	-0.300670636	-0.607836772	1.8720005941

Sujets

Niveau 4-1

Condition	Niveau 4-1			
	Simultané	6s	10s	14s
1	7.84	21.26	26.02	30.86
2	8.19	17.71	2.71	23.36
3	15.94	27.51	31.91	20.33
4	-4.89	5.93	15.94	23.02
5	34.59	21.98	9.86	18.95
6	9.62	-4.69	16.52	16.22
7	4.07	17.5	12.61	17.85
8	8.27	13.78	9.6	9.17
9	18.49	11.13	14.61	16.87
10	11.44	25.64	18.97	28.75
n	10	10	10	10
Moyenne	11.334	16.713	15.875	20.528
Ecart type	6.471010912	7.795257889	8.374399149	6.318195593
Erreur type	2.046313325	2.465076983	2.648217535	1.997988878
Coef d'asy	1.043136015	-0.287142064	0.570815043	0.043865943
Kurtosis	0.490561398	-0.993859124	0.533658066	0.220295396

Sujets

## Expérience 2

Maximum moyen pour chaque condition (I=intensité; D=désagrément; S=limitat; R=rétrospécif; 47.0, 47.5, 48.0, 48.5 représentent les différents niveaux de 48.0°, l'essai prolongé).

Condition	IS7.0	IS7.5	IS8.0	IS8.5	IS8.0*	IS8.0*	IR47.0	IR47.5	IR48.0	IR48.5	IR48.0*	IR48.0*	DS47.0	DS47.5	DS48.0	DS48.0*	DS48.0*	DR47.0	DR47.5	DR48.0	DR48.0*	DR48.0*	
1	21.005445	30.968419	37.1594285	47.7023735	38.1594285	47.7023735	26.3635235	32.4521235	37.1594285	47.7023735	37.1594285	37.1594285	37.1594285	37.1594285	37.1594285	37.1594285	37.1594285	37.1594285	37.1594285	37.1594285	37.1594285	37.1594285	37.1594285
2	52.4273825	47.6832375	38.1594285	47.7023735	45.9328235	47.7023735	29.6496735	35.7382735	40.4847735	45.9328235	47.7023735	47.7023735	47.7023735	47.7023735	47.7023735	47.7023735	47.7023735	47.7023735	47.7023735	47.7023735	47.7023735	47.7023735	47.7023735
3	12.4301625	12.9201625	12.9201625	12.9201625	12.9201625	12.9201625	15.6700775	20.8223125	26.1434225	31.4645325	36.7856425	42.1067525	47.4278625	52.7489725	58.0700825	63.3911925	68.7123025	74.0334125	79.3545225	84.6756325	89.9967425	95.3178525	100.6389625
4	25.2501725	24.3800025	24.3800025	24.3800025	24.3800025	24.3800025	30.6735925	35.9871925	41.3007925	46.6143925	51.9279925	57.2415925	62.5551925	67.8687925	73.1823925	78.4959925	83.8095925	89.1231925	94.4367925	99.7503925	105.0639925	110.3775925	115.6911925
5	26.2314125	31.10644	30.8429875	30.8429875	30.8429875	30.8429875	35.9239925	41.2375925	46.5511925	51.8647925	57.1783925	62.4919925	67.8055925	73.1191925	78.4327925	83.7463925	89.0599925	94.3735925	99.6871925	105.0007925	110.3143925	115.6279925	120.9415925
6	5.1766825	6.94895	7.0259875	9.28939	6.836545	6.836545	15.24981	19.39793	23.54605	27.69417	31.84229	35.98941	40.13653	44.28365	48.43077	52.57789	56.72501	60.87213	65.01925	69.16637	73.31349	77.46061	81.60773
7	26.3561175	36.35842	46.67175	58.16146	76.221315	76.221315	31.155225	41.624075	52.092925	62.561775	73.030625	83.499475	93.968325	104.437175	114.906025	125.374875	135.843725	146.312575	156.781425	167.250275	177.719125	188.187975	198.656825
8	35.4268625	46.3961325	46.1938825	46.1938825	46.1938825	46.1938825	37.433175	43.764045	50.094915	56.425785	62.756655	69.087525	75.418395	81.749265	88.080135	94.411005	100.741875	107.072745	113.403615	119.734485	126.065355	132.396225	138.727095
9	25.5492825	49.2231375	46.28373	49.558805	38.134545	38.134545	26.35304	32.6840925	39.015145	45.3461975	51.67725	58.0083025	64.339355	70.6704075	77.00146	83.3325125	89.663565	95.9946175	102.32567	108.6567225	114.987775	121.3188275	127.64988
10	44.84897	54.1996475	21.124005	37.96593	66.90577	66.90577	38.0675525	42.3901275	46.7125925	51.0350575	55.3575225	59.6800075	63.9994925	68.3189775	72.6384625	76.9579475	81.2774325	85.5969175	89.9164025	94.2358875	98.5553725	102.8748575	107.1943425
Moyenne	27.471523	33.2185325	30.44126425	39.590381	40.870205	40.870205	30.10267025	30.92089975	33.86508125	42.8138735	44.2988985	24.88949575	28.3938415	31.5906635	33.2805865	36.194896	39.9616215	43.7283465	47.4950715	51.2617965	55.0285215	58.7952465	62.5619715
Erreur type	14.00996363	16.39578065	14.32813844	19.68862664	23.11946579	23.11946579	13.86271023	12.40449451	14.87226333	19.20282516	20.09527255	7.05703429	21.30740645	25.7680272	27.3794197	31.0499197	34.7204197	38.3909197	42.0614197	45.7319197	49.4024197	53.0729197	56.7434197
Erreur max	4.427493451	5.184801088	4.530952309	6.22690419	7.311017019	7.311017019	4.83773887	3.92264586	4.70027607	6.25465916	6.54768916	2.65746931	6.737992531	6.693878761	7.993227806	7.455999918	8.759329918	10.058659918	11.357989918	12.657299918	13.956609918	15.255919918	16.555229918
Coeff. d'asy.	0.329453233	-0.258033351	-0.40097338	-0.40097338	-0.258033351	-0.258033351	0.43407834	0.362670657	-0.20201684	0.484139463	0.09198425	0.65178366	0.320710937	0.42725038	0.310663269	0.4086062	0.21577539	0.751037474	0.195858234	0.630725015	-0.03900349	-0.03900349	-0.03900349
Kurtosis	0.076238654	-1.294839113	-0.932416279	-1.247048292	-1.170547238	-1.170547238	-1.170547238	-0.532523826	-0.252091307	-1.29040208	-1.15767916	-1.742149619	-1.21087873	-1.566633321	-0.82767604	-0.82767604	-1.107814673	-1.545037522	-1.572187464	-0.82187464	-0.82187464	-0.82187464	-0.82187464

Durée totale moyenne pour chaque condition (I=intensité; D=désagrément; S=limitat; R=rétrospécif; 47.0, 47.5, 48.0, 48.5 représentent les différents niveaux de 48.0°, l'essai prolongé).

Condition	IS7.0	IS7.5	IS8.0	IS8.5	IS8.0*	IS8.0*	IR47.0	IR47.5	IR48.0	IR48.5	IR48.0*	IR48.0*	DS47.0	DS47.5	DS48.0	DS48.0*	DS48.0*	DR47.0	DR47.5	DR48.0	DR48.0*	DR48.0*	
1	8.9	8.5	8.1	10	10	10	7.1	7.5	6.2	8.2	7.5	7.5	12	7.3	8.1	9.2	9.6	8.9	6.9	7.5	10	10	10
2	8.16	8.71	9.08	9.27	10.21	10.21	5.69	5.9	6.18	6.8	7.8	7.98	8.25	7.8	8.25	7.96	7.96	4.65	4.9	5.15	5.45	6.07	
3	1.753852901	1.58496072	1.74725181	1.76449521	1.031126676	1.031126676	1.413971965	1.778888542	1.108001203	1.595688636	1.37490392	2.448242	2.195953879	2.031857388	1.477385077	1.379650665	1.379650665	2.22720468	2.494883653	1.53857987	2.30180881	2.826087771	
4	0.554016985	0.501309648	0.52529337	0.557982477	0.326070885	0.326070885	0.478759972	0.56253395	0.350380745	0.504601053	0.402713022	0.774202098	0.694422322	0.467190183	0.436548485	0.436548485	0.436548485	0.704311513	0.788951484	0.48654108	0.72786613	0.893168771	
5	0.872536552	1.305402942	0.43353421	0.404232727	-0.306843614	-0.306843614	0.272970224	-0.08989828	0.443592924	-0.23873865	0.54859983	0.56617525	0.278423413	0.22534709	-0.492478875	-0.598620124	-0.598620124	0.414531883	0.433428978	-0.869448389	0.617235135	-0.121475566	
Kurtosis	2.140822087	1.292894703	-1.324633346	-0.365212417	-0.397993846	-0.397993846	-0.397993846	-0.568787519	-1.076809031	-1.310020064	-1.71588038	-1.102526865	-0.576748551	-1.168876613	-1.696720807	-0.439183522	-0.439183522	0.000516627	-0.290156315	1.888361931	-0.82187464	-0.215966587	

Autre sous la courbe moyenne pour chaque condition (I=intensité; D=désagrément; S=limitat; R=rétrospécif; 47.0, 47.5, 48.0, 48.5 représentent les différents niveaux de 48.0°, l'essai prolongé).

Condition	IS7.0	IS7.5	IS8.0	IS8.5	IS8.0*	IS8.0*	IR47.0	IR47.5	IR48.0	IR48.5	IR48.0*	IR48.0*	DS47.0	DS47.5	DS48.0	DS48.0*	DS48.0*	DR47.0	DR47.5	DR48.0	DR48.0*	DR48.0*
1	115.896095	95.8466125	119.34139	139.3934875	181.58391	181.58391	81.98659	119.39328	84.833845	173.0331175	131.55271	67.7932875	100.89035	104.2992925	145.13134	174.85908	174.85908	81.5174275	78.063045	92.14841	107.52394	113.61415
2	233.52172	232.071275	178.6117875	208.032225	369.256515	369.256515	81.15943	74.5628575	135.66326	129.91194	125.772606	280.0972075	249.032685	365.619125	337.285495	378.975655	378.975655	61.494715	58.3774875	110.641925	106.358645	147.55321
3	59.63855	57.20703	52.62401	68.980525	119.20304	119.20304	34.5822225	25.056405	52.5280333	44.50153	60.77012	30.3992075	50.981775	57.034775	51.217665	68.03149	68.03149	13.52389	19.479205	42.781305	33.782425	53.0086
4	119.73888	115.6437275	143.418275	146.4452975	161.15172	161.15172	32.394375	44.787155	45.188725	50.9512835	59.236985	16.721725	39.0761075	27.063635	23.92768	39.462115	39.462115	7.276375	17.18321	8.913225	14.812075	18.1211
5	125.1720125	141.331275	178.8069625	157.850725	195.747575	195.747575	146.80899	169.81928	160.361675	153.90314	174.15313	22.8281675	18.681725	29.415625	30.3320925	45.514465	45.514465	8.823665	6.7738025	12.054925	10.97281	6.47171
6	15.521115	35.49965	19.3105475	33.1999	29.451655	29.451655	49.43978	60.323825	27.838445	77.174225	51.46826	276.9054375	295.8440125	277.66511	316.59401	461.929755	461.929755	94.104835	156.1140825	28.668875	153.3400475	244.92098
7	118.9231975	189.7515075	180.0080425	258.5776225	400.416545	400.416545	149.9692725	121.912025	133.2268175	254.918225	229.128865	2.76454375	316.544325	257.279345	294.154205	312.59971	312.59971	125.1167325	244.667685	100.986925	171.76315	278.939565
8	214.55139	248.364575	241.6221125	372.262925	468.19012	468.19012	139.18031	134.46055	142.0632075	212.0632075	263.468	97.7159225	82.3626075	142.019375	194.190075	214.48031	214.48031	82.566475	63.521825	101.99496	104.70375	219.6545
9	217.2956325	300.07228	97.93988	192.9059425	372.967955	372.967955	85.649455	127.8120875	116.518775	199.4830475	276.05714	166.4320828	176.7127975	188.881325	203.106191	285.24003	285.24003	89.649455	127.8120875	116.518775	199.4830475	276.05714
10	133.973664	161.4458568	135.5084915	185.972728	244.8524265	244.8524265	87.050405	95.1879565	99.7536283	142.2072305	153.53564	122.0308238	134.0836608	148.462314	156.078425	206.697599						



Effet de mémoire sur la réponse maximale pour l'intensité

Condition	47.0	47.5	48.0	48.5	48.0*
1	3.590135	2.481635	5.6925	-3.152065	-16.918165
2	-24.982625	-1.74609	6.590185	-22.7053475	-2.900915
3	0.138975	6.2176625	7.484785	9.7282225	-13.4698425
4	-4.2381625	-1.76626	-6.072825	-2.642235	-21.6814
5	26.725885	21.54282	23.592785	20.9376925	-23.981805
6	14.221475	3.405925	15.24519	7.549455	-1.6460075
7	15.26829	11.4080975	32.436645	18.540285	-17.9613325
8	1.031825	2.5236725	3.44291	0.3233475	-21.509095
9	3.05181	-17.9089825	-4.7008975	-3.18115	-4.9924475
10	-1.9108425	-12.6275925	-40.013815	21.89697	-32.7153325
n					
Moyenne	3.44937675	0.648547	12.37260925	4.7095175	-15.98073475
Ecart type	13.81226739	11.30510653	15.32680125	13.8861173	10.23897674
Erreur type	3.767822461	3.574988582	4.846760216	4.391175852	3.234686463
Coef. D'assy.	-0.23025272	0.163869293	0.69665859	-0.516386251	0.091644156
Kurtosis	1.565362391	0.406892721	-0.492394159	0.181612815	-0.892408923

Effet de mémoire sur la réponse maximale pour le désarçonnement

Condition	47.0	47.5	48.0	48.5	48.0*
1	4.888745	-5.147595	-1.3703875	-4.5392175	-4.56386
2	-31.344925	-30.80886	-27.0213975	-30.2086075	-15.086595
3	0.12164	-0.4111375	1.198935	4.7440125	7.018235
4	-0.234045	-1.938225	-2.865515	1.083995	0.64163
5	4.42374	4.0357175	4.785585	3.6030475	-3.144195
6	5.9342475	6.369995	-1.1871575	1.0234	-18.49563
7	-20.8639025	-15.45614	-20.6928725	-28.2407925	-8.13611
8	-5.52929	-5.7694925	-14.972675	-6.69489	1.074755
9	-0.552775	-15.4761575	-23.1872675	-14.974195	-1.499725
10	3.87712	3.422895	2.0525625	14.9233775	14.32288
n					
Moyenne	-4.9278575	-5.72669525	-8.02801525	-5.928087	0.9124635
Ecart type	14.20820583	11.61400158	12.16573112	14.56307311	10.09123867
Erreur type	4.492029188	3.672669459	3.847141975	4.605248076	3.191129862
Coef. D'assy.	-1.541617954	-1.151769503	-0.539515478	-0.64454773	0.404697034
Kurtosis	0.897458671	0.892767726	-1.594481465	-0.374274823	-0.072167326

Effet de mémoire sur la réponse moyenne pour l'intensité

Condition	47.0	47.5	48.0	48.5	48.0*
1	0.89787411	-2.139731478	-2.322701932	-0.19211087	-3.03507167
2	39.1854202	-39.5416834	-7.4907967	-10.88725424	-6.753250729
3	-2.781492361	-4.869765321	11.75844086	6.25771598	5.499803795
4	-0.901306386	-1.413411585	-1.18271714	0.143996099	-0.876724885
5	2.49469097	2.770501186	2.783871488	3.822588296	-3.092147727
6	5.330321191	3.035638646	0.257140239	1.024333993	13.48114436
7	-33.41504296	-35.21056787	-15.65265084	-17.78845143	-6.913708125
8	9.703061107	-20.12158032	-8.57626823	-13.80445337	18.33177987
9	2.731742986	11.70425975	6.369946077	15.98234433	18.52089322
10	-5.863896969	-14.76165497	2.537000979	11.42906606	16.9088661
n					
Moyenne	-8.040366923	-10.0549303	-11.77973807	-9.40124123	5.208126871
Ecart type	15.5832218	16.99472028	7.900643765	10.87740843	10.6406989
Erreur type	4.927910663	5.374202429	2.498402928	3.439785367	3.364938515
Coef. D'assy.	-1.486815738	-0.756886638	-0.278940382	-0.257945205	0.224261617
Kurtosis	0.927145886	-0.524167804	0.1532448301	-0.7583219321	-2.000346547

Effet de mémoire sur la réponse moyenne pour le désarçonnement

Condition	47.0	47.5	48.0	48.5	48.0*
1	-1.474626104	-6.642561353	-2.784794375	9.211713583	3.413834915
2	-11.90394647	-11.73185111	9.850597077	-6.847218372	-9.167140691
3	1.657580146	-4.181796915	7.314579926	10.14500753	2.151800635
4	-6.66111	-5.20936995	-3.50807962	-6.388159661	-1.1437800251
5	4.28311119	-0.877915689	3.071530557	-4.558077692	0.230951046
6	4.973303571	7.12072385	2.324205996	9.261143546	8.410294155
7	9.789915304	-2.972579384	1.389497813	7.754018098	-4.587006984
8	-6.946649143	-12.80956884	-3.237049571	-6.880881151	-1.0917603897
9	-2.547792527	-11.75448618	-3.801788264	2.244881552	15.41127759
10	-1.586218449	-5.616063012	13.44933593	16.60372081	12.7392464
n					
Moyenne	-1.0326436	-3.2511471967	2.76652132	3.042916884	2.555387292
Ecart type	6.46571582	7.26900998	6.096769405	8.683690414	7.68551649
Erreur type	2.144638763	2.298659769	2.746024021	2.430327371	2.30327371
Coef. D'assy.	-0.095346736	0.102422677	0.094444747	0.037770884	0.383923154
Kurtosis	-0.3125260178	-1.412492417	-0.6962327271	-1.652847493	-0.501698878

### Expérience 3

Minimum moyen pour chaque condition (Minimum): D=desagregatS=multinat; R=retrosectif; 4,5 et 6 représentent les différentes durées de plateau.

Condition	RS	RS6	RS4	RS5	RS3	RS2	RS1	RS0	DR3	DR2	DR1	DR0
1	30.38125	6.658	33.913887	10.569	18.344325	20.7188125	16.7379	18.344325	15.4246972	10.6196467	14.552725	15.6623
2	15.11195	14.3691	15.0087	9.7038235	13.7244325	20.7188125	16.7379	18.344325	15.4246972	10.6196467	14.552725	15.6623
3	24.88445	31.442575	24.9082075	18.72325	28.968825	28.71425	11.2326725	15.989975	11.38895	20.606325	13.3465775	19.3569975
4	19.82015	18.65295	26.94185	14.7297	15.3991	17.80735	25.072125	53.860375	47.088225	22.1673233	22.6238667	13.514015
5	17.104225	23.391775	31.824575	30.7403767	29.0479833	8.04348	11.853175	53.860375	47.088225	3.109964862	8.920289662	11.61816336
6	36.651625	30.4984	35.339225	30.5538	32.48165	33.603475	18.7568	21.3420375	22.6639	18.1567	26.79229838	28.3483225
7	71.96345	70.21525	60.42991125	78.18375	72.426625	63.629125	63.37215	72.477425	63.295175	53.186625	69.098675	75.531975
8	53.843725	50.679825	56.31666	57.3584	57.7154	68.03325	27.8662	27.916175	26.9034	28.43915	44.165975	50.256675
9	15.882275	19.478525	17.177975	25.5869	30.391925	27.4912	9.69235	6.201477525	9.2568275	17.02235	24.082675	28.3837
10	34.391225	50.8999	51.039925	72.025	81.307225	80.365825	16.3100739	46.209375	64.627925	51.21845	65.318775	68.381025
Moyenne	31.176646	33.029708	34.2899108	34.2899108	37.11899692	38.45840958	39.91917999	28.24308825	28.12839221	23.32965654	30.38857574	33.45582124
Ecart type	18.72546856	18.3458155	16.17072364	25.381001	21.41699666	21.41699666	21.41699666	17.9524788	17.9524788	17.9524788	21.75877127	23.11997217
Erreur type	5.924625368	5.782092384	5.136344974	7.995158957	7.525381397	7.361088354	5.12348953	6.927171808	7.043035617	5.992935647	6.927171808	7.361088354
Coeff. d'asy.	1.412333139	1.084612317	0.61838729	0.960158827	0.975007975	0.937818196	3.333330627	1.205310338	0.995109334	0.051152327	0.978654448	0.61838729
Kurtosis	1.35456495	0.232969663	1.108806018	-0.720591443	-0.54223843	-0.726491553	6.109243317	0.44653213	0.788463292	0.181542722	-0.257466574	-0.239189393

Durée totale moyenne pour chaque condition (Minimum): D=desagregatS=multinat; R=retrosectif; 4,5 et 6 représentent les différentes durées de plateau.

Condition	RS4	RS5	RS6	RS3	RS2	RS1	RS0	DR3	DR2	DR1	DR0
1	6.372	7.488	8.832	6.336	6.976	7.744	5.632	4.736	6.128	6.592	5.76
2	6.912	7.36	6.656	5.914	7.04	6.912	9.856	11.776	5.696	12	9.792
3	7.168	8.704	9.408	3.2	3.968	4.224	5.184	7.488	9.6	5.248	3.904
4	10.168	10.368	12	7.424	5.44	6.784	11.264	12	12	6.016	7.168
5	6.528	7.872	8.96	7.552	7.872	9.6	5.696	6.72	8.64	7.872	9.792
6	7.552	8.192	9.664	5.888	7.808	8.064	6.08	7.232	8.256	5.376	5.248
7	7.136	9.152	10.56	6.784	7.44	9.024	7.872	8.848	7.936	4.16	3.136
8	6.848	8.144	9.328	6.848	7.44	8.064	8.064	7.424	8.964	3.904	3.904
9	6.912	7.332	9.024	9.024	10.944	9.336	5.056	8.064	6.592	6.208	5.912
10	7.296	6.208	7.488	7.236	8.256	10.304	4.8	4.8	6.188	6.788	7.1232
Moyenne	7.4432	8.224	9.3728	6.7648	7.4752	8.1344	6.7338	7.9392	8.6144	6.1888	6.7488
Ecart type	1.151239372	1.257129004	1.599463021	1.688111611	1.867074803	1.807790745	2.209993303	2.243271262	2.185172823	1.674646284	2.851671042
Erreur type	0.364036092	0.397339097	0.505794618	0.527503066	0.590420957	0.571673639	0.698861245	0.709384666	0.69101233	0.529269653	0.901777563
Coeff. d'asy.	2.061233757	0.344267369	-0.057917761	-0.885703968	-0.161924696	-1.081778159	1.363919488	1.170040628	0.30489783	0.301501205	0.888212626
Kurtosis	3.722979791	0.443861086	-0.11988901	1.38896663	1.326768793	1.213495609	0.686969033	0.403258598	0.4104752561	-0.970913298	-0.494701354

Autre sous le cours moyen pour chaque condition (Minimum): D=desagregatS=multinat; R=retrosectif; 4,5 et 6 représentent les différentes durées de plateau.

Condition	RS4	RS5	RS6	RS3	RS2	RS1	RS0	DR3	DR2	DR1	DR0
1	91.4413275	114.164665	130.1837025	91.32139	91.633135	91.633135	91.633135	91.633135	91.633135	91.633135	91.633135
2	59.4013525	58.5557925	67.4697925	83.0773025	67.5651025	106.2037125	63.9697025	40.78605	71.9172475	65.0557625	35.0454375
3	102.98301	158.9445	146.763725	63.3302425	67.5651025	63.9697025	40.78605	71.9172475	65.0557625	35.0454375	35.0454375
4	113.2271	113.63269	223.6526075	63.4318025	46.21844	66.8399215	138.44502	272.43257	265.9207625	66.7353025	64.99149
5	71.1860215	102.87671	141.764835	57.208965	78.1910475	115.6953125	29.1899575	48.472615	27.951625	19.2919575	46.695855
6	188.9580525	183.3402225	223.040665	125.961975	148.46026	176.607025	78.706195	111.183705	131.01301	70.93983	103.2306775
7	337.7261425	348.333575	554.798825	334.95911	361.298795	348.32778	266.0725425	316.59907	348.2768625	114.5273175	140.950535
8	285.35785	230.94916	416.94146	277.2491175	340.72439	420.193375	100.20545	98.3228	134.894095	74.0405125	136.745625
9	62.3410075	83.0702475	84.62369	149.5368725	187.8061225	170.3836125	27.97488	24.690315	49.710975	125.1859425	137.32745
10	154.37915	206.10448	225.9497675	326.8617825	425.493275	314.8463175	54.014325	153.18177	249.3474975	186.21633	278.94567
Moyenne	145.7094893	161.636135	233.1141671	153.3340865	184.295523	208.828422	80.3223925	123.109793	141.7535558	77.07848525	113.339915
Ecart type	96.6413956	88.4658466	150.1491074	134.860636	149.1491074	164.860636	59.7041614	74.4748453	81.8762694	59.6959177	79.4996844
Erreur type	30.5669362	27.84950315	47.25625492	35.88195749	44.18705588	50.7041614	23.47248453	31.05339545	34.445231	14.40764694	22.147248453
Coeff. d'asy.	1.18831644	1.08333766	1.293986666	0.789412817	0.843418803	1.07215206	1.29924843	0.923957248	1.027446955	1.131122776	1.642450795
Kurtosis	0.311234402	0.966697349	1.342210944	-1.189784567	-1.020267358	-0.2709145349	4.46930428	0.529310963	-0.439483706	0.822331887	-2.5604872

Temps de montée moyen pour chaque condition (I=Intensité; D=Éclaircissement; S=Simultané; R=retroscopie; 4,5 et 6 représentent les différentes durées de plateau).

Condition	IS4	IS5	IS6	IR4	IR5	IR6	DS4	DS5	DS6	DR4	DR5	DR6
1	3,776	5,184	3,84	3,584	3,072	2,816	3,072	2,816	3,072	4,544	2,816	2,048
2	4,544	5,504	5,12	1,792	2,816	3,52	3,2	5,12	6,848	1,792	3,456	3,52
3	5,184	5,568	6,72	1,472	1,6	1,664	3,264	5,504	6,528	1,792	1,6	2,048
4	4,8	6,272	7,808	1,856	2,368	3,072	5,888	6,848	8,448	2,496	3,008	2,048
5	5,44	6,272	7,808	4,032	5,056	7,168	4,352	4,48	6,784	4,352	6,016	3,072
6	5,44	6,056	6,512	2,496	2,816	3,84	3,84	5,12	6,208	3,008	3,648	4,008
7	6,304	6,056	6,512	1,856	1,856	4,224	4,224	4,736	6,144	1,088	1,664	4,008
8	5,888	6,336	7,136	3,136	4,224	4,928	3,136	4,224	5,504	1,536	2,304	4,008
9	4,288	5,504	7,104	5,696	7,136	5,568	3,136	3,072	2,56	2,56	6,448	4,416
10	2,624	3,392	3,968	3,136	5,44	5,76	3,136	3,072	6,208	3,584	4,48	4,416
Moyenne	4,6336	5,6896	6,1312	2,8544	3,8912	4,32	3,9808	4,64	5,888	2,634	3,5456	3,5264
Écart type	0,979248305	0,97791485	1,565413993	1,58047225	1,745635115	1,569196823	0,910511065	1,200841187	1,808180915	1,202640059	1,618699973	2,076567424
I pour type	0,297016393	0,296594718	0,476653704	0,429445234	0,552018293	0,496223606	0,379739236	0,571970111	0,380208179	0,518202431	0,656668777	0,656668777
I ref. day	0,973931506	-1,728596393	-0,489746631	0,92513125	0,765179518	0,236773497	1,066496268	0,049109333	1,07993176	0,55271286	0,483909447	1,154998236
Kurtosis	1,288705726	3,920085749	1,350294163	0,701523808	0,111425799	0,179827814	0,668192386	0,191540892	0,990865482	-1,061894596	-0,483278423	0,105998236

Suite

Temps de retour moyen pour chaque condition (I=Intensité; D=Éclaircissement; S=Simultané; R=retroscopie; 4,5 et 6 représentent les différentes durées de plateau).

Condition	IS4	IS5	IS6	IR4	IR5	IR6	DS4	DS5	DS6	DR4	DR5	DR6
1	3,106	3,704	2,92	2,752	2,896	3,192	2,84	2,84	2,84	3,084	3,076	3,712
2	2,188	1,856	2,688	1,536	1,728	2,368	1,92	1,92	1,656	1,92	2,304	3,072
3	1,984	3,136	2,688	1,728	2,368	3,072	1,92	1,92	1,656	1,92	2,304	3,072
4	5,568	4,096	4,064	5,568	3,072	3,712	5,376	5,152	3,552	3,52	3,776	4,388
5	1,088	1,6	1,344	3,32	2,432	1,344	2,24	2,112	2,448	2,368	1,6	2,944
6	3,072	1,536	4,544	3,392	4,416	4,416	2,24	2,112	2,448	2,368	1,6	2,944
7	1,984	2,944	4,032	5,44	4,224	4,928	2,944	3,264	1,792	3,072	1,472	1,664
8	2,24	3,328	3,776	3,84	4,224	3,968	1,144	5,056	5,12	6,848	2,88	4,352
9	2,624	2,72	3,2	3,136	3,84	4,224	1,144	5,056	5,12	6,848	2,88	4,352
10	2,816	2,10	3,2	4,616	4,224	1,8	1,728	0,96	3,008	1,728	2,496	4,008
Moyenne	2,8096	2,5344	3,2416	3,9104	3,884	3,8144	3,252	3,3992	3,7264	3,664	3,2032	3,4908
Écart type	1,33854046	0,86351262	1,390420671	1,266239149	0,808960703	0,818043638	1,823468708	1,723282449	1,461123099	1,367254405	2,137686553	1,341665928
I pour type	0,423287956	0,27306667	0,408076333	0,400413653	0,255823216	0,238688109	0,546631752	0,544949759	0,462047694	0,398001777	0,672816728	0,392649258
I ref. day	1,212020315	0,422099542	-0,35394144	-0,041748549	0,138225763	0,667007107	1,546527565	1,018839053	0,800646797	2,10234437	1,982468788	0,7930491956
Kurtosis	1,08577372	-0,844775236	-1,366343885	-0,671021013	-0,654324988	-0,371428421	1,426238692	-0,256743359	-0,473543477	6,034359774	4,602590698	1,854368995

Suite

Réponse moyenne monvone pour chaque condition (I=Intensité; D=Éclaircissement; S=Simultané; R=retroscopie; 4,5 et 6 représentent les différentes durées de plateau).

Condition	IS4	IS5	IS6	IR4	IR5	IR6	DS4	DS5	DS6	DR4	DR5	DR6
1	14,57984016	15,24594885	23,68475911	14,31866951	13,1347667	13,87032412	6,73109336	12,1256146	16,54140836	3,251832247	8,957135543	17,50284403
2	8,59345674	7,95590608	10,13667405	14,91241052	14,00139702	15,765642	3,349177151	4,623648947	5,984571458	5,461045909	11,12038563	11,32819853
3	14,36704939	18,26120175	15,89484774	13,5330078	17,02749559	15,144344545	7,86960841	9,604332267	6,776661927	10,75992569	8,240843766	10,15199591
4	10,32042352	10,6620594	18,6371729	8,490456156	8,4903125	9,825242723	17,02509339	22,7071417	21,16006354	11,02928917	9,66893136	8,42044796
5	16,302322	16,302322	16,302322	16,302322	16,302322	16,302322	16,302322	16,302322	16,302322	16,302322	16,302322	16,302322
6	26,302322	26,302322	26,302322	26,302322	26,302322	26,302322	26,302322	26,302322	26,302322	26,302322	26,302322	26,302322
7	46,302322	46,302322	46,302322	46,302322	46,302322	46,302322	46,302322	46,302322	46,302322	46,302322	46,302322	46,302322
8	38,302322	38,302322	38,302322	38,302322	38,302322	38,302322	38,302322	38,302322	38,302322	38,302322	38,302322	38,302322
9	18,302322	18,302322	18,302322	18,302322	18,302322	18,302322	18,302322	18,302322	18,302322	18,302322	18,302322	18,302322
10	21,1592537	32,2333474	33,78068476	44,41056827	51,5745488	49,96567522	11,25298438	27,83208031	24,7862022	28,24883647	44,9323287	43,8944145
Moyenne	19,59639965	19,48063731	24,00924468	21,91729627	23,5744107	24,02473723	11,56486326	15,64700423	17,16905311	13,49990295	19,89763328	21,40746803
Écart type	1,526678947	1,446022098	1,32972082	1,42456842	1,59327883	1,49587028	8,873993502	11,41382044	13,3039414	9,12974328	15,23488733	14,95781906
I pour type	3,973967259	3,144605745	4,298812156	4,6258946	5,048442537	4,720356889	2,806203141	3,609276425	3,215440761	2,86651893	4,84615486	4,730077766
I ref. day	1,173132914	0,443222294	0,731228238	0,924028154	0,936532549	1,20225584	1,089198	1,061744983	0,572967335	0,96137119	0,98843938	0,98843938
Kurtosis	0,8672734	-0,443222294	0,731228238	0,924028154	0,936532549	1,20225584	1,089198	1,061744983	0,572967335	0,96137119	0,98843938	0,98843938

Suite

Effet de mémoire sur la réponse maximale pour l'intensité

Date (t)	4	5	6
1	0,0930875	-2,161315	3,199616071
2	-5,4120925	-0,9925675	-0,292325
3	-6,113235	-2,58675	1,7732175
4	-5,09045	-3,26385	-9,1345
5	10,6760167	-2,65198333	-2,776591667
6	-0,326125	1,99125	-1,23575
7	1,18485	1,18485	3,17166
8	1,514625	7,074515	11,21166
9	9,674625	10,9134	10,31325
10	37,633625	30,403325	29,23255
n	10	10	10
Moyenne	3,11332583	4,090290917	4,118957351
Ecart type	13,33818329	10,35367778	10,86749251
Erreur type	4,232228459	3,274120396	3,436603828
Coeff. day	2,236721228	2,149422442	1,445318131
Kurtosis	5,510512408	4,988409987	2,640061478

Suivants

Effet de mémoire sur la réponse moyenne pour l'intensité

Date (t)	4	5	6
1	0,261170625	-2,111451	10,0727309
2	6,31844825	6,045546949	5,238967346
3	0,193848605	-1,233206157	-0,250265888
4	-5,10944114	-2,462045789	-8,78518302
5	3,29382705	-3,16979484	-3,70320223
6	6,37920991	-3,610710224	-1,178865958
7	1,610222499	8,161630816	-13,92805786
8	2,779514084	13,1783036	8,471869991
9	7,551761222	5,674138931	8,409783607
10	22,23131457	19,30411014	16,184990466
n	10	10	10
Moyenne	2,308972229	3,983803761	0,015492557
Ecart type	2,665457514	2,410929217	3,022809317
Erreur type	0,845155736	0,766976386	0,962280937
Coeff. day	2,0152562455	0,829691126	0,1731917707
Kurtosis	4,3441915329	-0,324688212	-0,8327910893

Suivants

Effet de mémoire sur la réponse maximale pour le déplacement

Date (t)	4	5	6
1	-6,1384353	-3,79475	0,2385328
2	-2,0297125	-1,00947	4,2625775
3	7,7926525	-1,0109875	12,036185
4	-9,04801667	-30,23750833	-33,57421
5	-4,91515138	-2,91585138	6,204354862
6	-0,86001	5,455170075	5,6844325
7	10,48235	3,74775	23,16378
8	8,88235	21,324575	23,16378
9	7,343285	17,88119248	19,0368725
10	34,90837262	19,1092	3,7532
n	10	10	10
Moyenne	2,410476551	2,145487488	5,32722016
Ecart type	12,7128151	15,1886609	15,45558745
Erreur type	4,020156633	4,803076304	4,887483892
Coeff. day	2,116467041	-0,73752681	-1,878301252
Kurtosis	5,282502391	1,35511888	4,979103863

Suivants

Effet de mémoire sur la réponse moyenne pour le déplacement

Date (t)	4	5	6
1	1,479217089	3,148323915	0,923752666
2	2,111848788	6,498232678	5,742627071
3	2,860317225	-1,363489901	3,724951988
4	-0,931654239	-13,63582103	-13,72979715
5	2,673935432	-2,444410714	-4,02138379
6	0,250555604	-4,294721204	0,5016448189
7	-6,269260495	5,371077666	1,778616536
8	1,946706555	18,01566525	21,14153091
9	8,539154473	11,83921898	9,484879462
10	16,99585399	17,01117839	9,104212728
n	10	10	10
Moyenne	1,032078695	4,250629502	4,2384146714
Ecart type	6,646238	9,20852376	8,238466209
Erreur type	2,108853142	3,10878876	2,725282897
Coeff. day	1,342031622	-0,20871831	-0,166273165
Kurtosis	3,201338341	-0,252487570	-2,553416254

Suivants

## **ANNEXE E : ANALYSES STATISTIQUES**



# EXPÉRIENCE 1

**Tableau A 1 : Résultats statistiques pour la réponse maximale**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
*Température	0,013			74,215	<0,001
Délai	0,051	1,110	0,362		
*Temp X Délai	0,432	2,887	0,005		

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

**Tableau A 2 : Détails de l'interaction température X délai pour la réponse maximale**  
Effet de la température sur chaque niveau de délai  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées

Niveau	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p <sup>Δ</sup>
*Simultané	0,148	10,352	<0,001
*6 secondes	0,478	18,154	<0,001
*10 secondes	0,687	24,480	<0,001
*14 secondes	0,271	29,502	<0,001

<sup>Δ</sup>  $\alpha$  a été corrigé selon la correction de Bonferroni et divisé par 4; pour être significatif, le contraste doit être  $\leq 0,0125$ .

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

**Tableau A 3 : Résultats statistiques pour l'aire sous la courbe**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
*Température	0,036			51,593	<0,001
Délai	0,025			8,835	0,004
Temp X Délai	0,143	1,804	0,080		

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

**Tableau A 4 : Résultats statistiques pour le temps de montée**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
*Température	0,334	3,361	0,033
*Délai	0,110	17,059	<0,001
Temp X Délai	0,193	1,125	0,355

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

**Tableau A 5 : Résultats statistiques pour le temps de retour**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq$ 0,05)	
		F	p	F	p
*Température	0,123	3,762	0,022		
*Délai	0,178	4,048	0,017		
Temp X Délai	<0,001			0,736	0,620

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

**Tableau A 6 : Résultats statistiques pour la durée totale**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
*Température	0,643	5,406	0,005
*Délai	0,079	8,668	<0,001
Temp X Délai	0,234	0,759	0,665

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

**Tableau A 7 : Résultats statistiques pour la réponse moyenne**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq$ 0,05)	
		F	p	F	p
Température	0,044			53,543	<0,001
Délai	0,119	1,069	0,379		
*Temp X Délai	<0,001			4,618	<0,001

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

**Tableau A 8 : Détails de l'interaction température X délai pour la réponse moyenne**  
**Effet de la température sur chaque niveau de délai**

Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Niveau	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p <sup>Δ</sup>	F	p <sup>Δ</sup>
*Simultané	0,012			6,635	0,005
*6 secondes	0,184	20,036	<0,001		
*10 secondes	0,454	11,926	<0,001		
*14 secondes	0,001			21,502	<0,001

<sup>Δ</sup>  $\alpha$  a été corrigé selon la correction de Bonferroni et divisé par 4; pour être significatif, le contraste doit être  $\leq 0,0125$ .

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

**Tableau A 9 : Effet de la température sur les effets de mémoire des réponses maximale et moyenne**

Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées

Réponse	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p <sup>Δ</sup>
Maximale	0,313	2,649	0,069
*Moyenne	0,184	5,882	0,003

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

**Tableau A 10 : Comparaison de l'effet de mémoire entre les niveaux minimal et maximal**

Test-T

Mesure	Différences appariées			Tests-T	
	Moyenne	Ecart-type	Erreur-type	t	p
*Réponse maximale	-9,1922	9,60408	3,03708	-3,027	0,014
*Réponse moyenne	-6,3665	5,70761	1,80490	-3,527	0,006

Le degré de liberté est 9, \* Indique que le résultat est significatif.

## EXPÉRIENCE 2

**Tableau A 11 : Résultats statistiques pour la réponse maximale**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
<b>Dimension</b>	---	4,011	0,076
<b>Délai</b>	---	0,475	0,508
<b>*Température</b>	0,054	14,623	<0,001
<b>Dim X Délai</b>	---	4,101	0,074
<b>Dim X Temp</b>	0,665	2,196	0,112
<b>Délai X Temp</b>	0,499	0,498	0,686
<b>Dim X Dél X Temp</b>	0,609	1,242	0,314

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 12 : Résultats statistiques pour l'aire sous la courbe**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
<b>Dimension</b>	---	1,905	0,201		
<b>*Délai</b>	---	8,679	0,016		
<b>*Température</b>	0,015			10,286	0,001
<b>Dim X Délai</b>	---	0,545	0,479		
<b>Dim X Temp</b>	0,030			2,098	0,159
<b>Délai X Temp</b>	0,053	0,143	0,934		
<b>Dim X Dél X Temp</b>	0,697	1,731	0,184		

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 13 : Résultats statistiques pour le temps de montée**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
Dimension	---	4,983	0,053
*Délai	---	131,166	<0,001
*Température	0,137	7,544	0,001
*Dim X Délai	---	9,871	0,012
Dim X Temp	0,377	0,097	0,961
Délai X Temp	0,323	1,047	0,388
Dim X Dél X Temp	0,947	1,412	0,261

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 14 : Détails de l'interaction dimension X délai pour le temps de montée**  
Effet du délai pour chaque dimension  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées

Dimension	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p <sup>Δ</sup>
*Intensité	---	164,292	<0,001
*Désagrément	---	47,227	<0,001

<sup>Δ</sup> pour être significatif, le contraste doit être  $\leq 0,025$ , selon la correction de Bonferroni.

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 15 : Résultats statistiques pour le temps de retour**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
Dimension	---	1,741	0,220
Délai	---	1,048	0,333
Température	0,182	0,239	0,868
Dim X Délai	---	2,124	0,179
Dim X Temp	0,888	1,338	0,283
Délai X Temp	0,313	0,640	0,596
Dim X Dél X Temp	0,577	2,885	0,054

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 16 : Résultats statistiques pour la durée totale**  
 Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
<b>Dimension</b>	---	4,066	0,075		
<b>*Délai</b>	---	28,438	<0,001		
<b>Température</b>	0,533	2,077	0,127		
<b>Dim X Délai</b>	---	<0,001	0,994		
<b>Dim X Temp</b>	0,383	0,849	0,479		
<b>Délai X Temp</b>	0,019			0,269	0,763
<b>Dim X Dél X Temp</b>	0,662	2,585	0,074		

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 17 : Résultats statistiques pour la réponse moyenne**  
 Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
<b>Dimension</b>	---	0,016	0,901		
<b>Délai</b>	---	1,123	0,317		
<b>*Température</b>	0,079	7,462	0,001		
<b>Dim X Délai</b>	---	1,840	0,208		
<b>Dim X Temp</b>	0,002			3,091	0,089
<b>*Délai X Temp</b>	0,052	5,322	0,005		
<b>Dim X Dél X Temp</b>	0,887	0,844	0,482		

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 18 : Détails de l'interaction délai X température pour la réponse moyenne**  
(Afin de conserver la signification des variables, il est nécessaire de décortiquer l'interaction indépendamment pour chaque dimension de la douleur)

**Effet de la température sur chaque niveau de délai pour l'intensité et le désagrément**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées

Variable et niveau	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p <sup>Δ</sup>	F	p <sup>Δ</sup>
		*Intensité - Simultané	0,918	3,676	0,024
*Intensité- rétrospectif	0,490	10,293	<0,001		
Désagrément- Simultané	0,001			2,856	0,099
Désagrément- rétrospectif	0,044			4,330	0,026

<sup>Δ</sup> pour être significatif, le contraste doit être  $\leq 0,025$  selon la correction de Bonferroni.

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

**Tableau A 19 : Effet de la température sur les effets de mémoire des réponses maximale et moyenne**

(en incluant (+) ou non (-) l'essai de 9 secondes pour l'intensité et le désagrément)

Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Condition	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )		
		F	p	F	p	
		Maximale	-	Intensité	0,157	2,849
Désagrément	0,624			0,690	0,566	
+	*Intensité		0,140	8,345	<0,001	
	*Désagrément		0,617	3,525	0,016	
Moyenne	-	Intensité	0,846	2,934	0,051	
		*Désagrément	0,019		4,908	0,027
	+	Intensité	0,946	2,274	0,080	
		*Désagrément	0,030		6,056	0,004

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

**Tableau A 20 : Comparaison de la réponse maximale de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes**

(Test-t comparant la réponse maximale de la stimulation de 9 secondes dans les évaluations d'intensité (I) et de désagrément (D) en simultané (S) et en rétrospective (R) avec les stimulations de 8 secondes appariées pour la température)

Condition	Différences appariées			Tests-T		
	Moyenne	Ecart-type	Erreur-type	t	p <sup>Δ</sup>	
<b>I</b>	S   Température	-10,4290	18,27575	5,77930	-1,805	0,105
	R   Température	-10,4328	9,18450	2,90439	-3,592	0,006
<b>D</b>	S   Température	-4,6442	5,33716	1,68776	-2,752	0,022
	R   Température	-13,5847	12,06469	3,81519	-3,561	0,006

Le degré de liberté est 9. <sup>Δ</sup>Pour être significatif, p doit être  $\leq 0,002$  afin de respecter la correction de Bonferroni.

**Tableau A 21 : Comparaison de l'aire sous la courbe de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes**

(Test-t comparant l'aire sous la courbe des évaluations de la stimulation de 9 secondes pour l'intensité (I) et le désagrément (D) en simultané (S) et en rétrospective (R) avec les stimulations de 8 secondes appariées pour la température)

Condition	Différences appariées			Tests-T		
	Moyenne	Ecart-type	Erreur-type	t	p <sup>Δ</sup>	
<b>I</b>	S   Température	-109,3439	108,43975	34,29166	-3,189	0,011
	R   Température	-53,7800	55,51349	17,55491	-3,064	0,013
<b>D</b>	S   Température	-57,2353	53,90328	17,04571	-3,358	0,008
	R   Température	-73,9057	67,36262	21,30193	-3,469	0,007

Le degré de liberté est 9. <sup>Δ</sup>Pour être significatif, p doit être  $\leq 0,002$  afin de respecter la correction de Bonferroni.



**Tableau A 22 : Comparaison du temps de montée de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes**

(Test-t comparant le temps de montée de la stimulation de 9 secondes dans les évaluations d'intensité (I) et de désagrément (D) en simultané (S) et en rétrospective (R) avec les stimulations de 8 secondes appariées pour la température)

Condition	Différences appariées			Tests-T		
	Moyenne	Ecart-type	Erreur-type	t	p <sup>Δ</sup>	
I	S   *Température	-2,1400	0,80719	0,25526	-8,384	<0,001
	R   Température	-0,9600	1,36642	0,43210	-2,222	0,053
D	S   *Température	-2,3000	0,97753	0,30912	-7,440	<0,001
	R   Température	-1,1100	1,25206	0,39594	-2,803	0,021

Le degré de liberté est 9. <sup>Δ</sup>Pour être significatif, p doit être  $\leq 0,002$  afin de respecter la correction de Bonferroni.

**Tableau A 23 : Comparaison du temps de retour de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes**

(Test-t comparant le temps de retour de la stimulation de 9 secondes dans les évaluations d'intensité (I) et de désagrément (D) en simultané (S) et en rétrospective (R) avec les stimulations de 8 secondes appariées pour la température)

Condition	Différences appariées			Tests-T		
	Moyenne	Ecart-type	Erreur-type	t	p <sup>Δ</sup>	
I	S   Température	1,0100	1,09286	0,34559	2,923	0,017
	R   Température	0,8700	0,99337	0,31413	2,770	0,022
D	S   *Température	1,1000	0,74833	0,23664	4,648	0,001
	R   Température	0,1900	0,68223	0,21574	0,881	0,401

Le degré de liberté est 9. <sup>Δ</sup>Pour être significatif, p doit être  $\leq 0,002$  afin de respecter la correction de Bonferroni.

**Tableau A 24 : Comparaison de la durée totale de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes**

(Test-t comparant la durée totale de la stimulation de 9 secondes dans les évaluations d'intensité (I) et de désagrément (D) en simultané (S) et en rétrospective (R) avec les stimulations de 8 secondes appariées pour la température)

Condition	Différences appariées			Tests-T		
	Moyenne	Ecart-type	Erreur-type	t	p <sup>Δ</sup>	
I	S   Température	-1,1300	1,03070	0,32593	-3,467	0,007
	R   Température	-0,0900	1,07025	0,33844	-0,266	0,796
D	S   Température	-1,2000	1,24454	0,39356	-3,049	0,014
	R   Température	-0,9200	1,59847	0,50548	-1,820	0,102

Le degré de liberté est 9. <sup>Δ</sup>Pour être significatif, p doit être  $\leq 0,002$  afin de respecter la correction de Bonferroni.

**Tableau A 25 : Comparaison de la réponse moyenne de la stimulation de 9 secondes avec celle de 8 secondes**

(Test-t comparant la réponse moyenne de la stimulation de 9 secondes dans les évaluations d'intensité (I) et de désagrément (D) en simultané (S) et en rétrospective (R) avec les stimulations de 8 secondes appariées pour la température)

Condition	Différences appariées			Tests-T		
	Moyenne	Ecart-type	Erreur-type	t	p <sup>Δ</sup>	
I	S   Température	-8,3991	11,03391	3,48923	-2,407	0,039
	R   Température	-8,5779	9,46407	2,99280	-2,866	0,019
D	S   Température	-4,6406	4,18797	1,32435	-3,504	0,007
	R   Température	-11,0207	12,17786	3,85098	-2,862	0,019

Le degré de liberté est 9. <sup>Δ</sup>Pour être significatif, p doit être  $\leq 0,002$  afin de respecter la correction de Bonferroni.

## EXPÉRIENCE 3

**Tableau A 26 : Résultats statistiques pour la réponse maximale**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	P	F	p
*Dimension	---	6,077	0,036		
Délai	---	1,077	0,327		
*Durée	0,075	8,152	0,003		
Dim X Délai	---	0,032	0,862		
Dim X Temp	0,459	2,148	0,146		
Délai X Temp	0,016			0,297	0,656
Dim X Dél X Temp	0,052	0,300	0,744		

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 27 : Résultats statistiques pour l'aire sous la courbe**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
*Dimension	---	9,551	0,013		
Délai	---	0,007	0,937		
*Durée	0,029			21,928	<0,001
Dim X Délai	---	0,171	0,689		
Dim X Temp	0,778	3,090	0,070		
Délai X Temp	0,237	1,075	0,362		
Dim X Dél X Temp	0,171	1,714	0,208		

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 28 : Résultats statistiques pour le temps de montée**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
<b>Dimension</b>	---	4,544	0,062		
<b>*Délai</b>	---	7,735	0,021		
<b>*Durée</b>	0,143	24,551	<0,001		
<b>Dim X Délai</b>	---	0,278	0,611		
<b>Dim X Temp</b>	0,072	0,595	0,562		
<b>Délai X Temp</b>	0,170	1,732	0,205		
<b>Dim X Dél X Temp</b>	0,021			1,151	0,325

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 29 : Résultats statistiques pour le temps de retour**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
<b>Dimension</b>	---	0,058	0,815		
<b>*Délai</b>	---	11,673	0,008		
<b>Durée</b>	0,996	0,445	0,648		
<b>Dim X Délai</b>	---	1,000	0,343		
<b>Dim X Temp</b>	0,904	1,188	0,328		
<b>Délai X Temp</b>	0,024			0,639	0,485
<b>Dim X Dél X Temp</b>	0,123	1,171	0,333		

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 30 : Résultats statistiques pour la durée totale**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
<b>Dimension</b>	---	1,254	0,292		
<b>Délai</b>	---	1,657	0,230		
<b>*Durée</b>	0,930	20,276	<0,001		
<b>Dim X Délai</b>	---	0,101	0,758		
<b>Dim X Temp</b>	0,254	0,297	0,746		
<b>Délai X Temp</b>	0,004			2,422	0,147
<b>Dim X Dél X Temp</b>	0,828	0,304	0,742		

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 31 : Résultats statistiques pour la réponse moyenne**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées

Effet ou interaction	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)	
		F	p
*Dimension	---	19,633	0,002
Délai	---	1,474	0,256
*Durée	0,145	10,408	0,001
Dim X Délai	---	1,179	0,306
*Dim X Temp	0,153	3,859	0,040
Délai X Temp	0,477	0,735	0,493
Dim X Dél X Temp	0,369	2,051	0,158

\* Indique que l'effet simple ou l'interaction est significatif.

--- Indique que les données satisfont parfaitement au critère de sphéricité.

**Tableau A 32 : Effet de la durée sur les effets de mémoire des réponses maximale (MAX) et moyenne (MOY) pour l'intensité et le désagrément**  
Tests de Mauchly et ANOVA à mesures répétées (avec corrections H.-F. s'il y a lieu)

Condition	Mauchly	Sphéricité supposée (Mauchly ns)		Huynh-Feldt (Mauchly $\leq 0,05$ )	
		F	p	F	p
MAX	Intensité	0,220	0,292	0,750	
	Désagrément	0,021			0,299 0,659
MOY	Intensité	0,659	1,628	0,224	
	Désagrément	0,139	0,667	0,526	

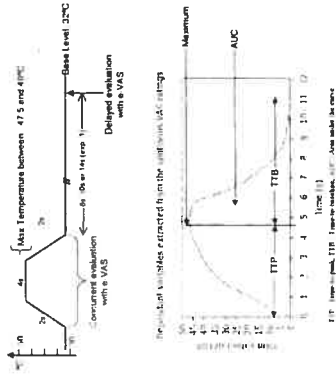
**ANNEXE F : PRÉSENTATION AFFICHÉE AU  
CONGRÈS DE LA SOCIÉTÉ CANADIENNE DE LA  
DOULEUR (TORONTO, MAI 2003)**

**INTRODUCTION**

Memory for pain is of great importance in clinical context. However, the validity and reliability of retrospective evaluations are still source of debate. The present study aims at evaluating the properties of the memory for pain within seconds following a noxious stimulus.

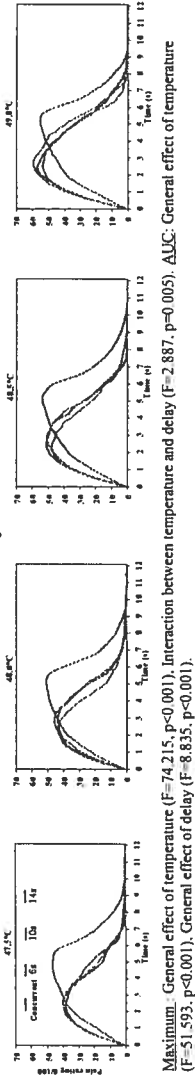
**METHODS**

**Subjects** 10 subjects took part in each experiment (7M, 3F, mean age = 26.5 ± 9.1 y).  
**Stimuli** 30x30 mm Med-oc contact thermode (USA 2001) applied on the volar surface of the forearm.  
**Experimental conditions** 4 Temperatures: 47.5, 48.0, 48.5, 49.0°C, and 4 delays: Concurrent, 6, 10, 14s, 4 mask condition for each subject.  
**Instructions** Reproduce the evaluation of the intensity of the painful sensation either concurrently with the stimulus or after the indicated delay. (note the VAS was hidden during the delay)



**RESULTS**

**1. Sensation duration is underestimated for all delayed evaluation**



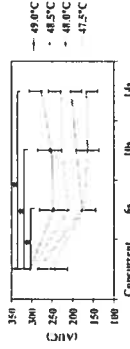
**Maximum:** General effect of temperature ( $F=74.215$ ,  $p<0.001$ ), Interaction between temperature and delay ( $F=2.887$ ,  $p=0.005$ ), AUC: General effect of temperature ( $F=51.593$ ,  $p<0.001$ ), General effect of delay ( $F=8.835$ ,  $p<0.001$ ).

**2. Higher temperatures produce higher maximal pain ratings**



Effect of the temperature on the maximal pain rating ( $F=74.215$ ,  $p<0.001$ ) for each delay

**3. All delays cause a decrease in the global pain ratings (AUC)**



Effect of the delay on the AUC ( $F=8.835$ ,  $p<0.000$ ). Post-Hoc were significant for all delays compared with the concurrent condition ( $F=9.740$ ,  $p<0.012$ ).

**4. The delay affects maximum pain in a temperature dependant manner**



Difference between the maximal pain rating at 14s minus the concurrent. Maximum pain decreases for lower temperatures and increases for higher temperatures. Interaction between Temperature and Delay ( $F=2.887$ ,  $p=0.005$ ). Effect of temperature on this difference n.s. ( $F=2.649$ ,  $p=0.069$ ).

**CONCLUSION**

Results suggest some alteration of pain sensory information in short-term memory. Retrospective reports appear to enhance the contrast between the highest and lowest levels of stimulation. This may reflect an influence of the contextual sensory landscape affecting pain memory.

Funded by NSERC and FRSQ

**DISCUSSION**

- Subjects are able to discriminate between the different levels of stimulation in both concurrent and retrospective conditions
- In retrospective ratings, the maximum pain of the more painful stimuli is overestimated while the maximum of the least painful stimuli is underestimated. This may reflect an amplification of the contrasts depending on pain sensory context.
- The temporal pattern of the sensation is not reproduced reliably in retrospective ratings. The time-to-peak and the AUC are systematically diminished.

**ANNEXE G : PRÉSENTATION AFFICHÉE AU  
CONGRÈS DE LA *SOCIETY FOR NEUROSCIENCE*  
(NEW ORLEANS, NOVEMBRE 2003)**





\*Marie C. Fortin<sup>1,2</sup>, B.Sc., Pierre Rainville<sup>1,2,3</sup>, Ph.D., Gary H. Duncan, D.D.S., Ph.D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculté de médecine, <sup>2</sup>Groupe de recherche en neuropsychologie et cognition, <sup>3</sup>Département de stomatologie, Faculté de médecine dentaire, Université de Montréal, Québec, Canada.

### Introduction

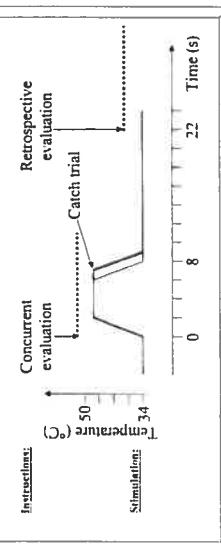
The memory of pain is frequently the only source of information regarding the progression of a treatment or a disease and should therefore receive greater attention from researchers and clinicians.

Previous results from our laboratory showed that the memory of a painful sensation is not accurate despite a reasonably reliable memory of the relative intensities. Furthermore, the temporal pattern of the painful sensation is not reproduced properly in retrospective evaluations when compared to concurrent evaluations. Also, retrospective reports appeared to enhance the contrast between the highest and lowest levels of stimulation.

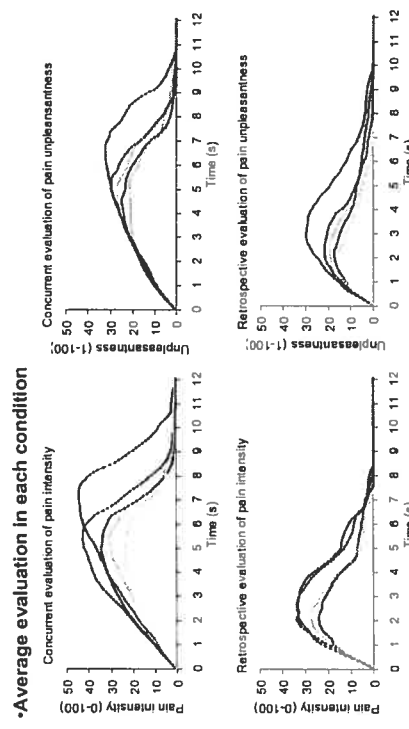
Here we investigated the memory for different dimensions of pain (intensity and unpleasantness) and the ability to memorize the dynamic aspects of pain sensation.

### Material and Methods

Subjects (n=10)	5 M, 5 F; age: 19-48; mean ± std age = 24.4 ± 8.5 y. o.
Stimulus description	Target trials 47.0; 47.5; 48.0; 48.5 Catch trial 48.0
Duration (s)	8
Stimulus sites	Volar surface of the forearms (4 and 5 on each arm)
# per block	2 for each temperature
Experimental conditions	Retrospective vs concurrent continuous e-VAS ratings of pain intensity or unpleasantness.
Experimental procedure	Each subject participated in two separate sessions of four blocks each (1 block per experimental condition; 72 stimuli in total).
Instructions	"Reproduce the evaluation of the intensity or the unpleasantness of the pain produced by the stimulus either concurrently or after a short delay".
Measures	The maximum, the area under the curve (A.U.C.), the time-to-peak (TTP) and the total duration (TD) were extracted from the continuous ratings.

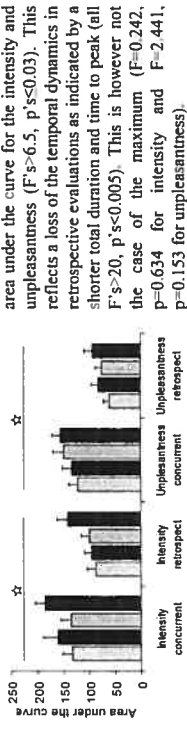


## Results

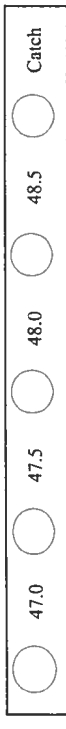
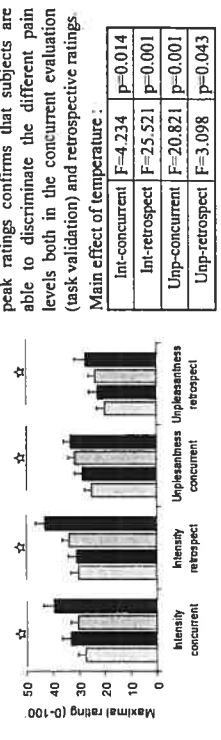


**The magnitude of retrospective evaluations is smaller than that of concurrent evaluations**

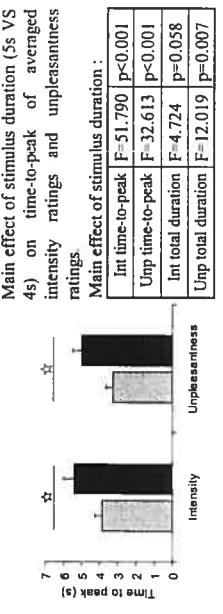
There was a main effect of delay on the area under the curve for the intensity and unpleasantness ( $F_{(3,6)}=6.5, p \leq 0.03$ ). This reflects a loss of the temporal dynamics in retrospective evaluations as indicated by a shorter total duration and time to peak (all  $F$ 's  $> 20, p \leq 0.005$ ). This is however not the case of the maximum ( $F=0.242, p=0.634$  for intensity and  $F=2.441, p=0.133$  for unpleasantness).



**Higher temperatures generally produced higher maximum ratings in all four conditions**



**The 5s catch trial was adequately discriminated from the 4s temperature-matched stimulus.**



Main effect of stimulus duration (5s VS 4s) on time-to-peak of averaged intensity ratings and unpleasantness ratings

Int time-to-peak	$F=51.790, p<0.001$
Unp time-to-peak	$F=32.613, p<0.001$
Int total duration	$F=4.724, p=0.058$
Unp total duration	$F=12.019, p=0.007$

Main effect of stimulus duration:

Int time-to-peak	$F=51.790, p<0.001$
Unp time-to-peak	$F=32.613, p<0.001$
Int total duration	$F=4.724, p=0.058$
Unp total duration	$F=12.019, p=0.007$

**The catch trial was differentially affected by the delay in the evaluation of pain unpleasantness but not pain intensity.**



The y axis represents the difference between the maximum rating in the retrospective and concurrent conditions (memory effect). The memory effect was similar across stimulation levels for the intensity ( $F=0.629, p=0.645$ ) but not unpleasantness ( $F=3.525, p=0.016$ ).

### Conclusion

The temporal dynamics of the retrospective evaluation was systematically distorted leading to lower overall magnitude (area under the curve), time to peak, and total time for both pain intensity and unpleasantness.

However, the different levels of temperatures were adequately discriminated in the concurrent and retrospective ratings of pain intensity and unpleasantness.

The effect of delay was similar across stimulation levels, including the catch trial, in intensity but not unpleasantness ratings. This could reflect a higher susceptibility of the memory of unpleasantness to contextual effects emphasizing the contrast between painful experiences.

Acknowledgements : Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC) and Fond de la recherche en Québec (FRSQ)

**ANNEXE H : ARTICLE SUR LA MÉMOIRE DE LA  
DOULEUR PUBLIÉ DANS LA REVUE *PAIN***



Pain 110 (2004) 605–615

---



---

**PAIN**


---



---

www.elsevier.com/locate/pain

## Rapid deterioration of pain sensory-discriminative information in short-term memory

Pierre Rainville<sup>a,b,c,d,\*</sup>, Jean-Charles Doucet<sup>a</sup>, Marie-Chantale Fortin<sup>b,d</sup>, Gary H. Duncan<sup>a,b,d</sup>

<sup>a</sup>Département de Stomatologie, Faculté de Médecine Dentaire, Université de Montréal, CP 6128, Succursale Centre-ville, Montréal, Que. H3C 3J7, Canada

<sup>b</sup>Centre de recherche en sciences neurologique (CRSN), Université de Montréal, CP 6128, Succursale Centre-ville, Montréal, Que. H3C 3J7, Canada

<sup>c</sup>Groupe de recherche en neuropsychologie et cognition (GRENEC), Université de Montréal, CP 6128, Succursale Centre-ville, Montréal, Que. H3C 3J7, Canada

<sup>d</sup>Groupe de recherche sur le système nerveux central (GRSNC), Université de Montréal, CP 6128, Succursale Centre-ville, Montréal, Que. H3C 3J7, Canada

Received 24 October 2003; received in revised form 23 March 2004; accepted 19 April 2004

### Abstract

The assessment of pain and analgesic efficacy sometimes relies on the retrospective evaluation of pain felt in the immediate, recent or distant past, yet we have a very limited understanding of the processes involved in the encoding, maintenance and intentional retrieval of pain. We examine the properties of the short-term memory of thermal and pain sensation intensity with a delayed-discrimination task using pairs of heat pain, warm and cool stimulation in healthy volunteers. Performance decreased as a function of the inter-stimulus interval (ISI), indicating a robust deterioration of sensory information over the test period of 4–14 s. As expected, performance also decreased with smaller temperature differences ( $\Delta T$ ) and shorter stimulus durations (6–2 s). The relation between performance and  $\Delta T$  was adequately described by a power function, the exponent of which increased linearly with longer ISI. Importantly, performance declined steadily with increasing ISI (from 6 to 14 s)—but only for pairs of heat pain stimuli that were relatively difficult to discriminate ( $\Delta T \leq 1.0$  °C; perceptual difference  $\leq 32/100$  pain rating units) while no deterioration in performance was observed for the largest temperature difference tested ( $\Delta T = 1.5$  °C; perceptual difference of 50 units). These results are consistent with the possibility that short-term memory for pain and temperature sensation intensity relies on a transient analog representation that is quickly degraded and transformed into a more resistant but less precise categorical format. This implies that retrospective pain ratings obtained even after very short delays may be rather inaccurate but relatively reliable.

© 2004 International Association for the Study of Pain. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

**Keywords:** Pain; Temperature; Memory; Psychophysics

### 1. Introduction

‘How much pain did you feel last week, yesterday, . . . , a few minutes ago? What are the usual and maximum levels of pain you felt over the last week?’ These simple questions exemplify how the assessment of clinical pain and analgesic efficacy often depend on the patient’s report of the pain experienced in the preceding seconds, minutes, hours, days, or even weeks. Some studies have suggested that a patient’s memory of pain is reasonably accurate, but conflicting results are abundant (Babul and Darke, 1994;

Babul et al., 1993; Beese and Morley, 1993; Eich, 1985; Eich et al., 1985, 1990; Erskine et al., 1990; Hunter et al., 1979; Kent, 1985; Linton, 1991; Linton and Gotestam, 1983; Linton and Melin, 1982; Norvell et al., 1987; Rode et al., 2001). For example, Feine et al. (1998) have reported that the retrospective evaluation of the pain experienced before a treatment and the overall evaluation of relief do not match with the changes in pain assessed by daily pain ratings. Retrospective evaluations of pain also amplify significantly the estimate of placebo effects, possibly due to important distortions in pain memory (Price et al., 1999).

Numerous factors influence the retrospective evaluation of pain (e.g. current pain, emotional state, catastrophizing, e.g. Eich et al., 1985; Jamison et al., 1989; Lefebvre and Keefe, 2002). However, little is known about the *nature*

\* Corresponding author. Address: Département de Stomatologie, Faculté de Médecine Dentaire, Université de Montréal, CP 6128, Succursale Centre-ville, Montréal, Que. H3C 3J7, Canada. Tel.: +1-514-343-6111x3935; fax: +1-514-343-2111.

of the information available in memory about past painful experiences (sensory, affective, symbolic, contextual, etc.), and the properties of the specific *processes* involved in the encoding, maintenance and retrieval of this information. These properties have not yet been examined systematically along the lines of current neuro-cognitive theories about the organization of memory systems (i.e. episodic vs. semantic, declarative vs. non-declarative, short vs. long term memory, working memory; Baddeley, 1998; Squire and Knowlton, 1995; Tulving, 1995).

This study specifically investigated the explicit, episodic, short-term memory of pain sensation using a delayed-discrimination task inspired by delayed matching-to-sample paradigms used in cognitive neuroscience (e.g. Henson et al., 2000; Postle et al., 2000; Rama et al., 2000). Based on previous psychophysical experiments and on cognitive models of magnitude comparison and short-term memory of sensory information, we hypothesized that (1) larger differences in temperature between the stimulus pairs would improve discrimination performance (effect of  $\Delta T$ ; task validation), (2) longer ISIs between the stimuli would impair performance gradually as the information decays from short-term memory, and (3) longer stimulus duration would facilitate the encoding process and improve performance. We also examined performance in different ranges of temperature (cool, warm and heat pain) in order to explore pain-specific aspects of memory. At the end of some experiments, we included a thermal evaluation task using an analog pain rating procedure to quantify the perceptual

differences between the stimuli used in the delayed-discrimination task.

## 2. Methods

### 2.1. Subjects

We tested 48 normal volunteers (31 males and 17 females) in five experiments. The Human Ethics Committee of the Université de Montréal approved the experimental procedure and all subjects gave informed consent.

### 2.2. Stimulation

In all experiments the subject was comfortably seated in a soundproof room and thermal stimuli were delivered to the volar surface of the subject's forearm using a computer-controlled Peltier device. A pair of stimuli was applied in each trial using a single  $3 \times 3 \text{ cm}^2$  contact thermode (Medoc TSA-2001) that was moved to a different spot of skin between trials in experiments 1, 2 and 3.

In experiments 4 and 5, stimuli were delivered using two  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  contact thermodes (custom made peltier device with feedback control using a thermocouple at the skin-thermode interface). A fully computerized experimental setup using the custom thermal stimulator allowed us to synchronize the stimulation with visual cues, and to record automatically the subjects' responses (Fig. 1). Pairs of stimuli within each trial were always given using the same thermode and on the same spot of skin. Trials

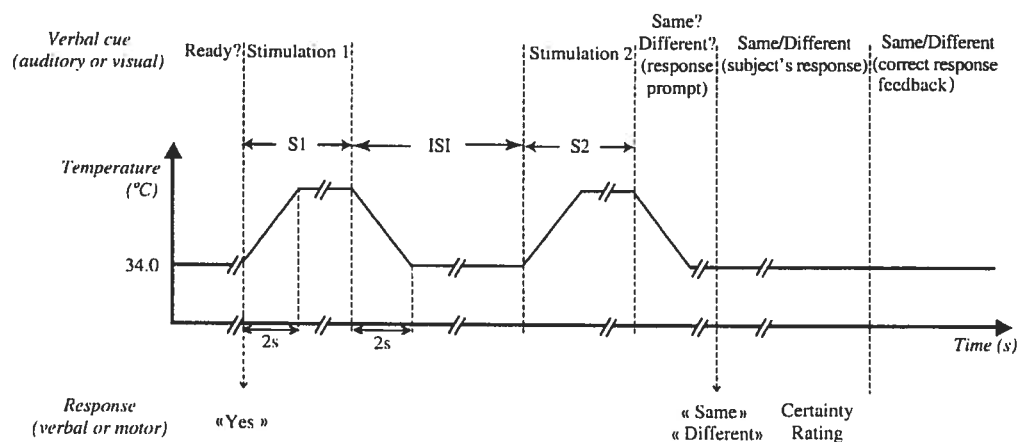


Fig. 1. Experimental paradigm. Pairs of thermal stimuli (S1 and S2) were presented separated by an inter-stimulus-interval (ISI) in each trial. Subjects indicated whether the intensity of the stimuli was the same or different, and rated the certainty of their responses. The slope of temperature changes was adjusted to have a constant duration of 2 s. Verbal cues were given by the experimenter (experiments 1–3) or displayed on the computer screen (experiments 4 and 5) to initiate trials (Ready?), (2) at the onset (1–3) or during (experiments 4 and 5) S1 and S2, to prompt the subject's discrimination response at the end of S2 (response prompt), and to obtain certainty ratings after the subject's response (subject's response). Feedback on the performance was provided by the experimenter after each block of 12 trials (experiments 1–3), or the correct response was displayed the computer screen after each trial (experiments 4 and 5). Subject's initiated the trial and indicated their discrimination response with a verbal response (spoken) in experiments 1–3 and by a mouse click in experiments 4 and 5. Certainty ratings were always given immediately after the discrimination response and before the feedback.

within each experimental block alternated between stimulation sites occupied by the two thermodes. The thermodes were moved to different spots of skin between blocks.

### 2.3. Experimental paradigm

Experimental trials, shown in Fig. 1, consisted in a pair of thermal stimuli ( $S1$  and  $S2$ ), separated by an ISI. Baseline temperature was set to 32 °C for warm and cool temperature ranges and 34 °C for the heat pain range, and the slope of temperature changes was adjusted to have a constant duration of 2 s. Experimental parameters for each experiment are listed in Table 1. The experimental task was designed to optimize attention to  $S1$  and  $S2$  (1) by requesting subjects to indicate when they were ready for the next trial, (2) by including verbal cues to attend  $S1$  and  $S2$ , (3) by using a constant ISI within experimental blocks to facilitate the temporal regulation of attention to  $S2$ , and (4) by avoiding distracting stimuli or competing tasks. Subjects indicated verbally (experiments 1–3) or manually using the mouse buttons (experiments 4 and 5) whether the intensity of the two stimuli was the same or different, and they rated verbally the certainty of their response. Feedback on the performance was provided by the experimenter after each block of 12 trials (experiments 1–3) or displayed the computer screen after each trial (experiments 4 and 5). A few practice trials were administered before the experiment to familiarize subjects with the task.

In experiments 3 and 5, a pain and warm intensity-rating task was explained and administered after the end of the delayed discrimination task (see below). In order to discourage verbal, numerical, or cross-modal encoding of thermal sensation in the delayed-discrimination task, rating procedures and scales were described only when the delayed-discrimination tasks had been completed.

#### 2.3.1. Experiment 1: temperature separation ( $\Delta T$ ) and temperature range

The first experiment examined the effect of magnitude differences between  $S1$  and  $S2$  ( $\Delta T$ ) on performance in the heat pain, warm and cool temperature ranges in 10 subjects. The stimulus duration of both  $S1$  and  $S2$  was set to 4 s with a constant ISI of 8 s. Temperatures of  $S1$  and  $S2$  (listed in Table 1) were chosen based on pilot data to achieve comparable levels of performance. Four levels of  $S2$  were administered in a pseudorandom order with an equal probability. Four blocks of 12 trials (three repetitions of each  $S2$ ) were performed in each temperature range.

#### 2.3.2. Experiment 2: inter-stimulus interval

Ten subjects were tested in experiment 2 in which we examined the effect of the interval between  $S1$  and  $S2$  (ISI) on the subjects' ability to discriminate pairs of heat pain and warm stimuli. Stimulus duration was set to 4 s with a variable ISI of 4, 8 or 12 s. Temperatures of  $S1$  and  $S2$  (listed in Table 1) were chosen based on the results of experiment 1 to approximate 80% correct responses ( $S1 <> S2$  in 50% of trials). Two blocks of 12 trials were performed for each temperature range and each ISI.

#### 2.3.3. Experiment 3: stimulus duration

The third experiment examined the effect of stimulus duration on the delayed-discrimination of pain and warmth in another sample of 10 subjects. The rationale for this experiment was that a longer stimulus duration would allow a more reliable encoding of temperature sensation and improve delayed-discrimination performance. The duration of  $S1$  and  $S2$  varied together at 2, 4 and 6 s, with a constant ISI of 8 s.  $S1$  and  $S2$  temperatures are listed in Table 1 ( $S1 <> S2$  in 50% of trials). Two blocks of 12 trials were performed for each temperature range and each of the three durations tested. After the end of the delayed-discrimination task, subjects performed a perceptual task in which they rated 12 single stimuli identical to those used in the delayed-discrimination task. Subjects were allowed to look

Table 1  
Experimental parameters

Exp.	Effect of interest	Surface (cm <sup>2</sup> )	Duration (s)	ISI (s)	Temp. range	$S1 - S2$ (°C)
1	$\Delta T \times$ range	9	4	8	Heat pain Warm Cool	47.5–47.5, 48.0, 48.5, 49.0 36.0–36.0, 37.0, 39.0, 41.0 24.0–24.0, 23.0, 21.0, 19.0
2	ISI	9	4	4, 8, 12	Heat pain Warm	47.5, 48.3–47.5, 48.3 36.0, 38.0–36.0, 38.0
3	Duration	9	2, 4, 6	8	Heat pain Warm	47.5, 48.5–47.5, 48.5 36.0, 38.0–36.0, 38.0
4	$\Delta T$ w/1 cm <sup>2</sup> surface	1	6	6	Heat pain Cool	47.5–47.5, 48.0, 48.5, 49.0 22.0–22.0, 21.0, 19.0, 17.0
5	$\Delta T \times$ ISI	1	6	6, 10, 14	Heat pain	47.5–47.5, 48.0, 48.5, 49.0

continuously at the 0–100 numerical/visual analog rating scale (Rainville et al., 1992), to avoid imposing a memory load in this perceptual task.

#### 2.3.4. Experiment 4: effects of Delta-T using a smaller stimulus surface

Experiment 4 was conducted in 10 new subjects and was designed to confirm and extend some of the findings observed in experiment 1 for the cool and heat pain ranges but using instead a smaller ( $1 \text{ cm}^2$ ) thermal stimulator. The duration of S1 and S2 and the ISI were set to 6 s. Based on pilot data and data from experiment 1, a longer stimulus duration was used for all stimuli and lower temperatures were selected in the cool temperature range (see Table 1) to insure that similar sensations were produced and comparable performance levels were achieved with this smaller stimulus surface. Warm discrimination was not tested because of the poor reliability and high inter-individual variability in warm sensation produced using this small thermal probe. Four blocks of 12 trials (three repetitions of each S2) were performed in each temperature range.

#### 2.3.5. Experiment 5: interaction between Delta-T and ISI

Experiment 5 examined the interaction between the ISI and the magnitude difference (delta-T) between S1 and S2 in the painful temperature range in eight subjects. The stimulus duration was set to 6 s with an ISI of 6, 10, or 14 s. S1 was set to  $47.5^\circ\text{C}$ , and S2 to four equally probable levels between  $47.5$  and  $49.0^\circ\text{C}$  administered in a pseudorandom order (see Table 1). Three blocks of 12 trials were performed for each ISI. At the end of the experiment, subjects were administered a pain rating task (two stimuli for each of the four temperatures), as in experiment 3.

#### 2.4. Data analysis

Performance was examined using the 'different' response rate or the correct response rate (Hit and correct rejection), and the mean level of certainty. In experiments 1, 4 and 5, discrimination thresholds were interpolated from the performance curves (75% discrimination level). Because important differences were observed in the false alarm rate between the ISI conditions in experiment 5, non-parametric indices of sensitivity were computed based on signal detection theory (Brown Grier, 1971). Performance was compared across conditions using repeated-measures analyses of variance (ANOVA) and follow-up repeated contrasts of successive levels. The subjective ratings of the different stimuli used in the delayed-discrimination task obtained at the end of experiments 3 and 5 were used to compute a *perceptual discrimination index* (difference in ratings between the different stimuli). This was done to estimate the significance of the effects observed in the pain memory task using a measure commonly utilized to evaluate clinical and experimental pain. This index was also used as a non-constant covariate in repeated measures

covariance analyses (ANCOVA; SPSS) to disentangle the effects of duration on the perceptual (temporal summation) and memory (improved encoding) components of the delayed-discrimination performance in experiment 3 (see Section 3.3).

### 3. Results

#### 3.1. Experiment 1: effects of Delta-T and temperature range

In experiment 1 performance improved consistently with larger delta-T's in the pain ( $F = 47.79$ ,  $P < 0.001$ ), warm ( $F = 63.02$ ,  $P < 0.001$ ), and cool ( $F = 36.33$ ,  $P < 0.001$ ) temperature ranges (Fig. 2). Repeated contrasts between increasing levels of delta-T confirmed the stepwise increases in performance ( $P$ 's  $< 0.01$ ) with few exceptions (see Fig. 2). Similar highly significant effects were obtained with certainty ratings (all  $P$ 's  $< 0.001$ ). This effect of delta-T provided the necessary validation of the delayed-discrimination task by showing that subjects were able to encode the sensation produced by S1 in memory, maintain this information during the ISI, and compare it to the sensation produced by S2.

Observation of the performance curves, shown in Fig. 2, further suggested that the ability to discriminate thermal stimuli varied considerably between the different temperature ranges tested. Comparison of the discrimination thresholds confirmed this effect, as shown in Fig. 3 (ANOVA:  $F = 28.69$ ,  $P < 0.001$ ; All paired contrasts,  $P$ 's  $< 0.05$ ). These results indicated a superior ability to discriminate pain and a relatively poor ability to discriminate cool temperatures compared to warm temperatures.

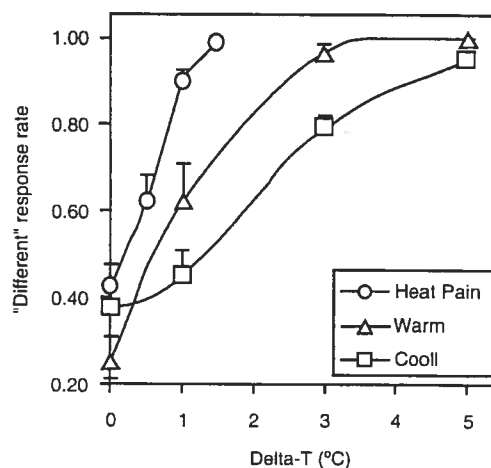


Fig. 2. Delayed-discrimination performance (mean  $\pm$  SEM) for pain, warm and cool temperatures in experiment 1. Note that the false alarm rate is displayed for  $\Delta T^0 = 0^\circ\text{C}$ . All pair-wise contrasts between increasing levels of delta-T are significant at  $P < 0.01$  except for the following pairs: Warm  $\Delta T^0 = 3$  vs.  $5^\circ\text{C}$ ,  $P = 0.11$ ; Cool  $\Delta T^0 = 0$  vs.  $1^\circ\text{C}$ ,  $P = 0.34$ .

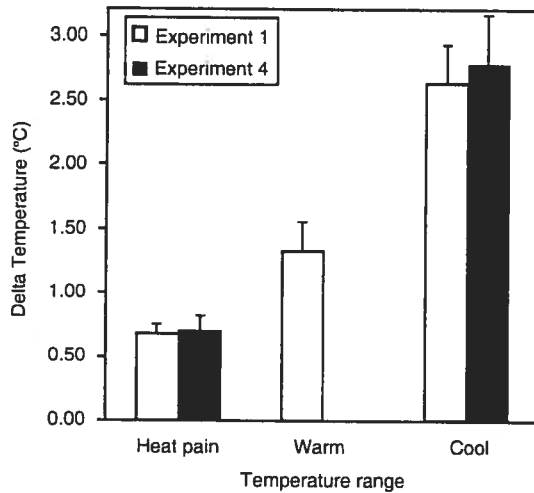


Fig. 3. Mean (+SEM) delayed-discrimination threshold (75% correct response) for pain, warm and cool temperatures in experiments 1 and 4. Note that warm discrimination was not tested in experiment 4.

3.2. Experiment 2: effects of the ISI

In experiment 2, longer intervals (from 4 to 12 s) between S1 and S2 produced a significant and gradual decrease in the overall percentage of correct responses (Fig. 4) in the painfully hot ( $F = 5.91, P < 0.05$ ) and warm temperature ranges ( $F = 13.09, P < 0.001$ ). In all conditions, repeated contrasts analyses confirmed the significant decrease in performance associated with the increased interval between stimuli (all  $P$ 's  $< 0.05$ ); similar effects were obtained on certainty ratings (all  $P$ 's  $< 0.05$ ). In both temperature ranges, the decrease in performance with longer ISIs reflected a decrease in the rate of correct detection—Hit

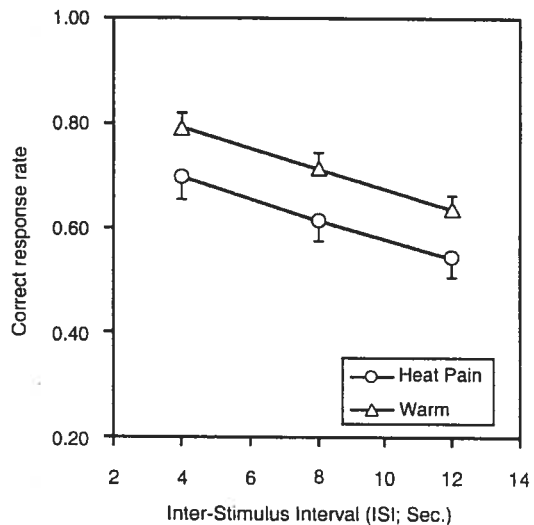


Fig. 4. Effect of the ISI on delayed-discrimination performance (mean ± SEM) for pain and warm temperatures in experiment 2.

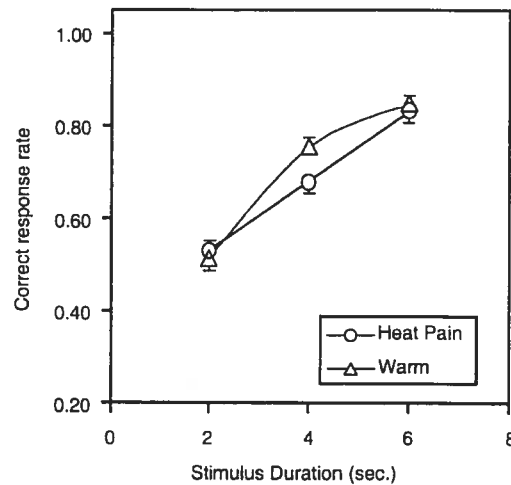


Fig. 5. Effect of the stimulus duration on delayed-discrimination performance (mean ± SEM) for pain and warm temperatures in experiment 3.

rate (pain:  $F = 15.95, P < 0.001$ ; warm:  $F = 14.63, P < 0.001$ ) and not a change in the false alarm rate (false alarm rates increased non-significantly with longer ISIs;  $p$ 's  $> 0.05$ ). These results confirmed the hypothesized effect of ISI on delayed discrimination suggesting a time-dependent degradation of S1 sensory information in memory during the ISI.

3.3. Experiment 3: effects of stimulus duration

Consistent with the hypothesis that longer encoding duration facilitates memory processes, results of experiment 3 showed that longer stimuli significantly improved performance (Fig. 5) in both the painfully hot ( $F = 74.14, P < 0.001$ ; all contrasts  $P$ 's  $< 0.05$ ) and warm temperature ranges ( $F = 144.82, P < 0.001$ ; all contrasts  $P$ 's  $< 0.05$ ). Increases in performance were the result of a reduction in the false alarm rate and an increase in the hit rate (all  $P$ 's  $< 0.01$ ). Certainty ratings increased significantly only for the longer duration tested (6 s) in both temperature ranges ( $P$ 's  $< 0.01$ ; contrast between the 2 and 4 s durations:  $p$ 's  $> 0.20$  ns).

Analyses of the perceptual ratings obtained after the delayed-discrimination task (Fig. 6) indicated that pain and warmth sensation increased both with higher temperatures (pain:  $F = 27.32, P < 0.001$ ; warm:  $F = 20.55, P < 0.001$ ) and longer stimulus duration (pain:  $F = 14.00, P < 0.001$ ; warm:  $F = 3.96, P < 0.05$ ). The main effect of duration is consistent with the perceptual phenomena of temporal summation (Price et al., 1992). However, this perceptual effect of temporal summation was larger with the more intense stimuli (interaction between Temperature and Duration) both in the warm ( $F = 10.07, P < 0.01$ ) and pain temperature ranges ( $F = 8.20, P < 0.01$ ; Fig. 6A: see the steeper slope observed for

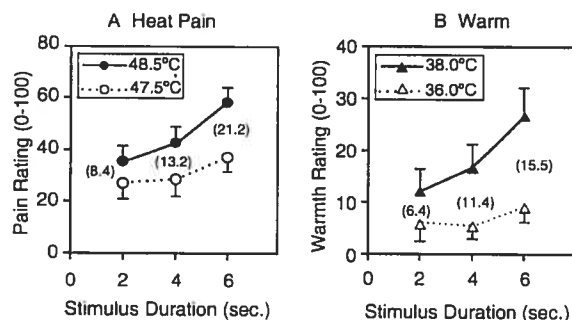


Fig. 6. Pain ratings (mean  $\pm$  SEM) obtained in a separate perceptual task performed after the delayed discrimination task in experiment 3. The two levels of temperature used for S1 and S2 in the delayed discrimination task were rated for the three stimulus durations tested in experiment 3. Results confirmed that the perceptual 'discriminability index' (difference between the two stimuli for each duration indicated in the parentheses) increased with stimulus duration (temporal summation).

48.5 °C compared to 47.5 and 38.0 °C compared to 36.0 °C. Therefore, the perceptual difference between S1 and S2 was larger for longer stimulus duration.

This potential confounding effect was addressed a posteriori using a covariance analysis procedure using a perceptual discrimination index (see Section 2.4) as a covariate. The mean perceptual discrimination index increased with longer stimulus durations for both noxious and innocuous temperatures (Fig. 6; Table 2, see Dependent measure: perceptual discrimination index) but effects of duration on memory performance remained significant, although to a lesser degree, even after the variance associated with this perceptual difference was accounted for (see Table 2). This suggested that the perceptual temporal summation could only account for part of the improvement in delayed-discrimination performance with longer stimuli and that the extended encoding times further

Table 2  
Results of the repeated measures analyses of variance (ANOVA) and covariance (ANCOVA) performed on data from experiment 3

Dependent measure	Covariate	Main effect of duration	
		F	P
<i>Pain discrimination</i>			
Perceptual discrim. index	–	8.20	0.003
% Correct responses	–	74.14	<0.001
% Correct responses	Perceptual discrim. index	34.37	<0.001
<i>Warm discrimination</i>			
Perceptual discrim. index	–	10.07	0.001
% Correct responses	–	141.46	<0.001
% Correct responses	Perceptual discrim. index	66.05	<0.001

Note. The effect of stimulus duration is tested on the perceptual discrimination (discrim.) index and on delayed-discrimination performance in the pain and warm temperature ranges, before and after accounting for changes in the perceptual discrimination index entered as a non-constant covariate.

facilitated memory processes. This possibility should be further confirmed in a study where stimuli with different durations will be equated a priori for their perceptual intensity.

#### 3.4. Experiment 4: effects of Delta-T in the heat pain and cool ranges using a smaller stimulus surface

Experiment 4 extended the results of experiment 1 in the cool and heat pain temperature ranges using a smaller stimulation surface. Increases in delta-T produced the expected significant increases in the percentage of correct responses for both painfully hot ( $F = 16.30$ ,  $P < 0.001$ ; all contrasts  $P$ 's  $< 0.05$ ) and cool temperatures ( $F = 38.04$ ,  $P < 0.001$ ; all contrasts  $P$ 's  $< 0.05$ ). Similar effects were observed with self-reported levels of certainty of responses (all  $P$ 's  $< 0.05$ ). An analysis of discrimination thresholds (delta-temperature for a 75% correct performance) was performed using the same method as in experiment 1. As shown in Fig. 3, the delayed discrimination thresholds obtained in experiment 4 in the heat pain and cool temperature ranges were extremely close to those observed in experiment 1. This provided very compelling evidence that the experimental task developed here produces highly reliable results and further confirmed the superior ability of subjects to discriminate noxious heat, compared to cool temperatures, in a task relying on memory processes. This difference between the heat pain and cool ranges appears to be independent of the surface stimulated.

#### 3.5. Experiment 5: interaction between Delta-T and ISI

In experiment 5, we observed that the detrimental effects associated with longer ISIs interacted with the magnitude of the temperature differences between the stimuli (Delta-T). In addition to replicating the main effects of delta-T ( $F = 172.20$ ,  $P < 0.001$ ) and ISI ( $F = 7.61$ ,  $P = 0.004$ ) on the 'different' response rate in the heat pain range, we found a highly significant interaction between those factors ( $F = 11.37$ ,  $P < 0.001$ ). For each ISI, repeated contrasts between increasing levels of delta-T (see Fig. 7) confirmed the increases in performance ( $P$ 's  $< 0.001$ ) except for the comparison between  $\Delta T^0 = 0$  and 0.5 using a ISI of 14 s. ( $P > 0.05$ , ns). The stimulus-response function for delta-T's between 0.5 and 1.5 could be described precisely using power functions with an increasing exponent as the ISI increased. Furthermore, as the relations between both the ISI and the slope, and the ISI and the power of the function, were linear ( $R^2$ 's = 1.00), all three functions could be adequately summarized by the following equation with a precision of 5% relative to the observed mean performance:

$$\text{hit rate} = (1 - 0.022 \times \text{ISI}) \times \Delta T^{(0.056 \times \text{ISI} + 0.035)} \quad (1)$$

Evaluation of simple effects for each Delta-T (Fig. 8A) confirmed the significant decreases in performance with



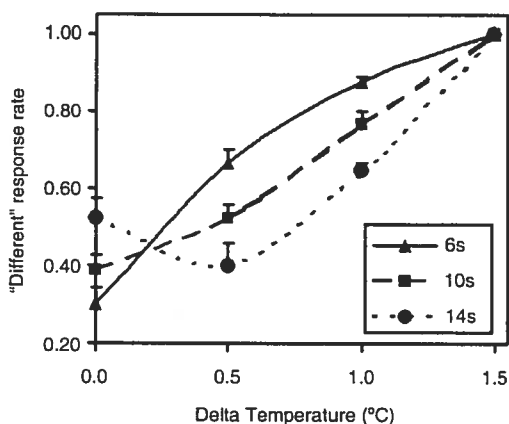


Fig. 7. Effect of the Delta- $T^0$  and ISI (6–14 s) on the 'different' response rate (mean  $\pm$  SEM) in experiment 5. Note that the false alarm rate is displayed for  $\Delta T^0 = 0^\circ\text{C}$ .

longer ISIs ( $P$ 's  $< 0.05$ ), except for ceiling effect observed at the larger delta- $T$  ( $\Delta T^0 = 1.5^\circ\text{C}$   $P > 0.05$ , ns). Similar main effects were observed with the ratings of certainty, with the exception that no ceiling effect was observed with the larger delta- $T$  (Fig. 8B; main effect of ISI:  $F = 14.27$ ,  $P < 0.001$ ; main effect of delta- $T$ :  $F = 314.14$ ,  $P < 0.001$ ; interaction:

$F = 2.52$ ,  $P = 0.058$  ns). These findings replicated and extended the effects of delta- $T$  and ISI observed in experiments 1 and 2.

The analysis of performance at  $\Delta T^0 = 0$  ( $S1 = S2$ ) across the different ISIs tested indicated an increase in the false alarm rate with increasing ISIs ( $P < 0.05$ ; see Figs. 7 and 8A). Changes in false alarm rates may reflect a more lenient response criterion to respond 'different', which might have inflated the correct detection rate (correct response to  $S1 \neq S2$ ). To control for changes in the false alarm rate across the different ISIs, we calculated a non-parametric index of sensitivity  $A'$ , based on signal detection theory (Brown Grier, 1971). As shown in Fig. 8C, this analysis confirmed the decrease in discriminative ability with longer ISIs ( $F = 17.57$ ,  $P < 0.001$ ), and smaller delta- $T$ 's ( $F = 44.58$ ,  $P < 0.001$ ), as well as the ceiling effect with the larger delta- $T$  of  $1.5^\circ\text{C}$  (interaction ISI  $\times$  delta- $T$ :  $F = 5.36$ ,  $P < 0.01$ ). All repeated contrasts were significant at  $P < 0.05$  except for the larger delta- $T$  for which the decrease in performance between the ISIs of 6 and 10 s did not reach significance ( $P = 0.08$ ).

The 75% discrimination threshold was found to increase significantly with longer ISIs (Fig. 8D;  $F = 18.65$ ,  $P < 0.001$ ; all repeated contrasts  $P$ 's  $< 0.05$ ). This observation provided complementary evidence that

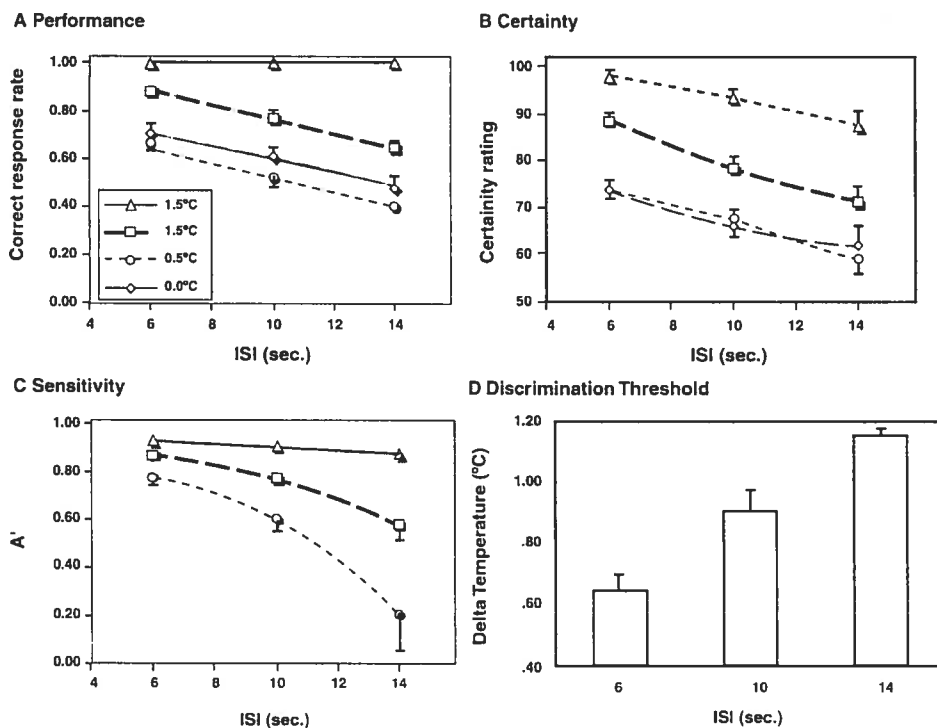


Fig. 8. Performance as a function of the inter-stimulus interval (ISI) in experiment 5. The mean ( $\pm$  SEM) correct response rate (A), response certainty (B), and the signal detection index of sensitivity  $A'$  (C) generally decreased as a function of the duration of the ISI for all Delta- $T^0$  tested (0– $1.5^\circ\text{C}$ ; the only exception is the stable correct response rate for  $\Delta T^0 = 1.5^\circ\text{C}$ ; see text). Consistent with this, the discrimination threshold (75% correct response) increased with longer ISIs (D).

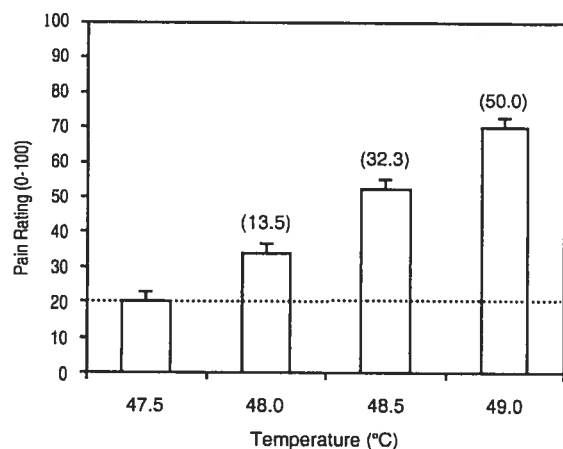


Fig. 9. Pain ratings (mean  $\pm$  SEM) obtained in a separate perceptual task performed after the delayed discrimination task in experiment 5. The four different levels of temperature used for  $S1$  and  $S2$  were rated. The perceptual 'discriminability index' is indicated in parentheses for each  $S2 > S1$  ( $S1$  was constant at 47.5 °C in this experiment).

the subject's discriminative ability decreased consistently as the time-interval between the two stimuli increased from 6 to 14 s.

In order to assess the implications of this degradation in memory performance relative to perceptual criteria, the subjects' perceptual evaluations of the different stimuli used in this experiment were obtained in a rating task performed subsequently. Ratings produced the expected stimulus-response function (Fig. 9) showing a monotonic relationship between perceived pain intensity and stimulus temperature ( $F = 54.33$ ,  $P < 0.001$ ; all repeated contrasts,  $P$ 's  $< 0.05$ ). A discrimination index was calculated again as the difference in mean rating between each level of stimulation and the  $S1$  temperature (47.5 °C) as shown in Fig. 9. Sensations that differed by a mean of 13.5 units on the 0–100 pain scale (Fig. 9; 48.0 vs. 47.5 °C) were hardly discriminated above chance level in the delayed-discrimination task after an interval of 10 s or more (Figs. 7–8A;  $\Delta T = 0.5$  °C). Similarly, the discrimination performance for sensations that differed by 32.3 units on the pain scale (Fig. 9; 48.5 vs. 47.5 °C) showed a steady decline from 6 to 14 s (Figs. 7–8;  $\Delta T = 1.0$  °C). In contrast, sensations that differed by as much as 50 units on the pain rating scale (Fig. 9; 49.0 vs. 47.5 °C) were discriminated consistently even with the longer ISIs tested (Figs. 7–8A and C;  $\Delta T = 1.5$  °C), although the subjective level of certainty of the discrimination judgment did decrease significantly from 6 to 14 s.

Taken together, results of experiment 5 indicated that pairs of sensations consistently differentiated using a perceptual pain-rating task with no memory component, may not be discriminated consistently after an ISI of 6 s or more in the context of a memory task. This implies that pain sensory information is extremely labile and may not be sustained more than a few seconds, even in highly

controlled experimental conditions devoid of extrinsic distracting sources.

#### 4. Discussion

This study examined basic properties of the short-term memory of thermal and pain sensation intensity. The robust stimulus-response functions observed in various conditions validated the delayed-discrimination task. Critically, performance declined rapidly with longer ISI's consistent with the hypothesized gradual deterioration of thermal and pain sensory information in short-term memory. There was some evidence that longer stimulus duration facilitates stimulus encoding and improves delayed-discrimination performance. However, we relied on covariance analyses to control for the confounding contribution of temporal summation associated with longer stimuli. Effects were comparable with painful and non-painful stimuli, suggesting similar mechanisms across temperature ranges.

Processes involved in the memory of sensory information can be precisely quantified using standard psychophysical methods (Algom, 1998). The delayed discrimination task used here produced highly reliable stimulus-response functions and provided a precise estimate of the effect of the memory interval (ISI; see Eq. (1)). There was no indiscriminant floor or ceiling effects indicating that the parameters used were adequate, if not ideal, to test the effects of interest, and all effects reported were highly significant confirming that the phenomena under study are robust. The power function governing the stimulus-response relation is consistent with previous reports on thermal and pain discrimination (e.g. Bushnell et al., 1983; Chen et al., 1996; Kenshalo et al., 1989; Price et al., 1992; Rainville et al., 1998). The exponent of this function increased with the memory interval (ISI; Eq. (1)), similar to that found in studies investigating the delayed magnitude-estimation of area (Algom, 1991; Algom et al., 1985) and similarity judgments from memorized compared to perceived stimuli (Petrušić et al., 1998). Taken together, results confirm the ability to encode reliably the intensity of pain or thermal sensation, maintain this information in memory for at least a few seconds, and compare it with a second sensation. We interpret the decrease in performance with longer ISI as a time-related gradual degradation of thermal and pain sensory information in short-term memory.

Several other processes involved in the task may have affected performance. We were concerned that a possible sensitization and/or temporal summation may have altered the sensation produced by  $S2$  after short ISIs. This could have been a confounding factor in the effect of ISI on memory; however, sensitization would have produced an increase in the perceived intensity of  $S2$ , which would be expected to increase the false alarm rate ('different' response when  $S1 = S2$ ). On the contrary, we found

a decrease in false alarms with shorter ISIs in experiments 2 and 5 (see Figs. 7 and 8A: higher correct response rate with shorter ISI at  $\Delta T = 0.0^\circ\text{C}$ ). Furthermore, the effect of the ISI on performance was consistently observed from 4 to 14 s. This is beyond the usual temporal interval required to produce a robust summation of pain sensation (Price et al., 1992). Therefore, changes in performance are not likely to be the consequence of sensitization produced by shorter ISIs.

Another important process required to perform the delayed discrimination task is attention. The tasks used in the present experiments were designed to standardize and optimize attention to *S1* and *S2* by cueing the beginning of each trial and each stimulus and by using a constant ISI duration within experimental blocks (see Section 2.3). In spite of those considerations, one may nevertheless consider the alternative interpretation that deterioration of performance with longer ISIs may result from a reduction of attention to *S2*, rather than a deterioration of the memory trace of *S1*. However, results involving innocuous stimuli argue strongly against such a predominant effect of attention. Since painful stimuli spontaneously engage attention more effectively than do non-painful stimuli (Miron et al., 1989), one would expect non-painful stimuli to be more susceptible to a possible reduction of attention to *S2* with longer ISI's. This was not the case as parallel effects of the ISI were observed in the non-painful and the painful ranges (see Fig. 4). We therefore suggest that the most parsimonious explanation for the degradation of performance observed with longer ISI's involves a failure to maintain an accurate representation of *S1*, as part of the short-term (working) memory processes.

#### 4.1. Nature of the information represented in memory

We further propose that in most or all experimental conditions tested here, the information was held in memory in the form of an analog, rather than categorical, memory trace. The time-dependent decrease in performance is interpreted as a gradual degradation of this analog memory trace. The parameters used adequately controlled for the potentially confounding effects of a conversion into a more resistant, but less precise, categorical ordinal format (e.g. verbal rating). Indeed, the encoding of a single 'chunk' of information, in the form of a symbolic categorical representation (e.g. verbal encoding), would be expected to persist much longer in short-term memory. This interpretation is consistent with the possibility that thermal and pain sensory information can be temporarily stored into a memory 'buffer' with properties similar to those of the systems involved in the manipulation of visual and auditory sensory information in working memory (Baddeley, 1992, 2000). However, the specificity of this representational memory code remains to be clarified. One possibility is that the short-term memory of sensory information depends upon the sustained activation or

reactivation of a perceptual representation and the corresponding neural populations (Harris et al., 2001a,b). However, some investigators have recently suggested a modality non-specific (abstract) analog coding system, involving the intraparietal sulcus of the left hemisphere, which is available to compare magnitude-related information (Fias et al., 2003). These distinct possibilities may not be exclusive but this remains to be examined in the thermal and pain modalities.

It is likely that in most situations, categorical processes do contribute to pain memory and we suspect that analog and categorical codes may overlap in time following sensory stimulation, with the latter representation potentially preserved for a longer time. Here, it is possible that categorization has provided some protection against the time-related degradation of thermal information in memory during experiment 5, where no significant effect of the ISI was observed for the largest temperature interval tested. The observed increase in the exponent of the stimulus–response function (steeper slope) when the ISI increased may reflect the contribution of the categorical representation when the  $\Delta T$  was  $1.5^\circ\text{C}$ . Consistent with this possibility, there might be an absolute difference magnitude over which categorization is sufficient to reach maximum performance independent of the duration of the ISI. As the difference between compared stimuli increases, the higher precision of the analog code is no longer necessary to perform at an adequate level, and categorization may be sufficiently precise. However, the resulting loss of information should not be underestimated.

#### 4.2. Implications for the interpretation of retrospective pain evaluation

The fast and dramatic time-related decrease in the ability to discriminate pain stimuli that are easily distinguished perceptually was unexpected (experiment 5). The implication of this finding is that retrospective evaluations obtained after more than a few seconds may only reflect the indirect assessment of the sensory magnitude of the pain, possibly based on a less precise categorical representation (e.g. 'strong pain'), or on the recollection of secondary information related to pain (motor response, pain rating, contextual cues), rather than an accurate memory-trace of the pain sensation felt. This interpretation is consistent with a previous suggestion that pain memory is inaccurate but reliable (Beese and Morley, 1993). Practically, this further reinforces the necessity to obtain concurrent pain ratings whenever it is possible.

Retrospective ratings may adequately reflect the pain felt when subjects have the possibility to convert pain sensory information into a more stable memory representation (e.g. a number or a word) *during* the experience, or when they can rely on additional cues to encode the pain felt (e.g. a visual-analog scale as in Koyama et al. (2004)) or reconstruct the experience from the remembered context. However, such

retrospective rating may correspond to a *delayed report* of the concurrent pain evaluation, or an inference of the pain felt based on indirect indices of pain, rather than an evaluation of the remembered pain sensation. Clinical and experimental studies of pain memory typically compare retrospective pain ratings with concurrent pain ratings to assess accuracy (e.g. Koyama et al., 2004; Lefebvre and Keefe, 2002). In those studies, the concurrent pain evaluation may strengthen the encoding of the pain sensation in memory, provide additional cross-modal cues based on the pain scale used, and promote a more elaborate analysis of the sensation and/or context. Without those favorable conditions, the memory for pain sensation intensity may be even less accurate than is generally concluded from clinical studies (e.g. see Feine et al., 1998). Future studies are faced with a challenge of assessing pain memory without the potential confounding effects of concurrent pain ratings.

Cognitive paradigms and interpretative models will likely contribute to a better understanding of the nature of the information encoded, maintained, and retrieved in declarative forms of pain memory, and the limitations of the processes involved. Those advances may provide the basis for the development of more valid retrospective assessment methods and/or better-informed interpretative caveats of retrospective evaluation.

### Acknowledgements

We thank Leo TenBokum for his technical assistance. This study was supported by an operating grant from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada. PR and MCF received additional support from the Quebec FRSQ and JCD from the CIHR.

### References

- Algom D. Memory psychophysics for area: effect of length of delay. *Percept Mot Skills* 1991;72:296.
- Algom D. Memory psychophysics: introductory remarks on current status of research. In: Grondin S, Lacouture Y, editors. *Fechner Day 98. Proceedings of the Fourteen Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*. Québec, Canada: The International Society for Psychophysics; 1998. p. 29–31.
- Algom D, Wolf Y, Bergman B. Integration of stimulus dimensions in perception and memory: composition rules and psychophysical relations. *J Exp Psychol Gen* 1985;114:451–71.
- Babul N, Darke AC. Reliability and accuracy of memory for acute pain. *Pain* 1994;57:131–2.
- Babul N, Darke AC, Johnson DH, Charron-Vincent K. Using memory for pain in analgesic research. *Ann Pharmacother* 1993;27:9–12.
- Baddeley A. Working memory. *Science* 1992;255:556–9.
- Baddeley A. Human memory: theory and practice. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon; 1998.
- Baddeley A. Short-term and working memory. In: Tulving E, Craik FIM, editors. *The Oxford handbook of memory*. New York NY: Oxford University Press; 2000. p. 77–92.
- Beese A, Morley S. Memory for acute pain experience is specifically inaccurate but generally reliable. *Pain* 1993;53:183–9.
- Brown Grier J. Nonparametric indexes for sensitivity and bias: computing formulas. *Psychol Bull* 1971;75:424–9.
- Bushnell MC, Taylor MB, Duncan GH, Dubner R. Discrimination of innocuous and noxious thermal stimuli applied to the face in human and monkey. *Somatosens Res* 1983;1:119–29.
- Chen C-C, Rainville P, Bushnell MC. Noxious and innocuous cold discrimination in humans: evidence for separate afferent channels. *Pain* 1996;68:33–43.
- Eich E. Memory for pain: relation between past and present pain intensity. *Pain* 1985;23:375–80.
- Eich E, Reeves JL, Jaeger B, Graff-Radford SB. Memory for pain: relation between past and present pain intensity. *Pain* 1985;23:375–80.
- Eich E, Rachman S, Lopatka C. Affect, pain, and autobiographical memory. *J Abnorm Psychol* 1990;99:174–8.
- Erskine A, Morley S, Pearce S. Memory for pain: a review. *Pain* 1990;41:255–65.
- Feine JS, Lavigne GJ, Dao TTT, Morin C, Lund JP. Memories of chronic pain and perception of relief. *Pain* 1998;77:137–41.
- Fias W, Lammertyn J, Reynvoet B, Dupont P, Orban GA. Parietal representation of symbolic and nonsymbolic magnitude. *J Cogn Neurosci* 2003;15:47–56.
- Harris JA, Harris IM, Diamond ME. The topography of tactile working memory. *J Neurosci* 2001a;21:8262–9.
- Harris JA, Petersen RS, Diamond ME. The cortical distribution of sensory memories. *Neuron* 2001b;30:315–8.
- Henson RN, Burgess N, Frith CD. Recoding, storage, rehearsal and grouping in verbal short-term memory: an fMRI study. *Neuropsychologia* 2000;38:426–40.
- Hunter M, Phillips C, Rachman S. Memory for pain. *Pain* 1979;6:35–46.
- Jamison RN, Sbrocco T, Parris WC. The influence of physical and psychosocial factors on accuracy of memory for pain in chronic pain patients. *Pain* 1989;37:289–94.
- Kenshalo DRJ, Anton F, Dubner R. The detection and perceived intensity of noxious thermal stimuli in monkey and in human. *J Neurophysiol* 1989;62:429–36.
- Kent G. Memory of dental pain. *Pain* 1985;21:187–94.
- Koyama Y, Koyama T, Kroncke AP, Coghill RC. Effects of stimulus duration on heat induced pain: the relationship between real-time and post-stimulus pain ratings. *Pain* 2004;107:256–66.
- Lefebvre JC, Keefe FJ. Memory for pain: the relationship of pain catastrophizing to the recall of daily rheumatoid arthritis pain. *Clin J Pain* 2002;18:56–63.
- Linton SJ. Memory for chronic pain intensity: correlates of accuracy. *Percept Mot Skills* 1991;72:1091–5.
- Linton SJ, Gotestam KG. A clinical comparison of two pain scales: correlation, remembering chronic pain, and a measure of compliance. *Pain* 1983;17:57–65.
- Linton SJ, Melin L. The accuracy of remembering chronic pain. *Pain* 1982;13:281–5.
- Miron D, Duncan GH, Bushnell MC. Effects of attention on the intensity and unpleasantness of thermal pain. *Pain* 1989;39:345–52.
- Norvell KT, Gaston-Johansson F, Fridh G. Remembrance of labor pain: how valid are retrospective pain measurements? *Pain* 1987;31:77–86.
- Petrusic WM, Baranski JV, Aubin PH. Comparing perceived and remembered magnitudes. In: Grondin S, Lacouture Y, editors. *Fechner Day 98. Proceedings of the Fourteen Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*, Québec, Canada. 1998. p. 44–9.
- Postle BR, Zarahn E, D'Esposito M. Using event-related fMRI to assess delay-period activity during performance of spatial and nonspatial working memory tasks. *Brain Res Brain Res Protoc* 2000;5:57–66.
- Price DD, McHaffie JG, Stein BE. The psychophysical attributes of heat-induced pain and their relationships to neural mechanisms. *J Cogn Neurosci* 1992;4:1–14.

- Price DD, Milling LS, Kirsch I, Duff A, Montgomery GH, Nicholls SS. An analysis of factors that contribute to the magnitude of placebo analgesia in an experimental paradigm. *Pain* 1999;83:147–56.
- Rainville P, Feine JS, Bushnell MC, Duncan GH. A psychophysical comparison of sensory and affective responses to four modalities of experimental pain. *Somatosens Motor Res* 1992;9:265–77.
- Rainville P, Chen C-C, Bushnell MC. Psychophysical study of noxious and innocuous cold discrimination in monkey. *Exp Brain Res* 1998;125:28–34.
- Rama P, Paavilainen L, Anourova I, Alho K, Reinikainen K, Sipila S, Carlson S. Modulation of slow brain potentials by working memory load in spatial and nonspatial auditory tasks. *Neuropsychologia* 2000;38:913–22.
- Rode S, Salkovskis PM, Jack T. An experimental study of attention, labelling and memory in people suffering from chronic pain. *Pain* 2001;94:193–203.
- Squire LR, Knowlton BJ. Memory, hippocampus, and brain systems. In: Gazzaniga MS, editor. *The cognitive neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press; 1995. p. 825–37.
- Tulving E. Organization of memory: quo vadis? In: Gazzaniga MI, editor. *The cognitive neuroscience*. Cambridge, MA: MIT Press; 1995. p. 839–47.

