



**HAL**  
open science

## Contribution à l'étude du lien entre odeurs et couleurs

Léa Nehmé

► **To cite this version:**

Léa Nehmé. Contribution à l'étude du lien entre odeurs et couleurs. Alimentation et Nutrition. Université de Lorraine, 2017. Français. NNT : 2017LORR0066 . tel-01759021

**HAL Id: tel-01759021**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01759021v1>**

Submitted on 16 Jul 2019

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

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



## AVERTISSEMENT

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

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

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

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

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

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

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



## UNIVERSITE DE LORRAINE

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires  
Ecole doctorale Ressources Procédés Produits Environnement (RP2E)  
Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules – LIBio

### THESE

Présentée en vue de l'obtention du grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LORRAINE**

Spécialité : Procédés Biotechnologiques et Alimentaires

Par

**Léa NEHME**

---

## **Contribution à l'étude du lien entre odeurs et couleurs**

### **Effet du lieu de résidence des répondants, des affects associés**

### **à l'odeur et de la méthodologie de test employée**

---

Soutenance prévue le 11 juillet 2017 à Nancy devant le jury composé de :

M. Dominique SAPPEY-MARINIER	Maître de conférences HDR, Université de Lyon 1	Rapporteur
Mme. Dominique VALENTIN	Maître de conférences HDR, Agrosup Dijon	Rapporteur
Mme. Muriel JACQUOT	Maître de conférences HDR, Université de Lorraine	Directrice de thèse
Mme. Reine BARBAR	Professeur associé, Université Saint- Esprit de Kaslik	Directrice de thèse
M. Jacques FELBLINGER	Professeur des Universités, IADI- CIT INSERM	Examineur
M. Chadi HOSRI	Professeur, Université Libanaise	Examineur
M. Walid HLEIHEL	Professeur associé, Université Saint- Esprit de Kaslik	Invité
Mme. Gabriela HOSSU	IADI - CIT INSERM	Invitée





## REMERCIEMENTS

---

*" Il n'y a guère au monde un plus bel excès que celui de la reconnaissance "*

Cette thèse a été réalisée au Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules (LIBio) à l'Université de Lorraine, et au laboratoire de la Faculté des Sciences Agronomiques et Alimentaires (FSAA) à l'Université Saint Esprit de Kaslik (USEK) au Liban, dans le cadre d'une co-direction entre les deux établissements.

A *Madame Muriel JACQUOT*, ma directrice de thèse. Je souhaite vous remercier pour la confiance que vous m'avez accordée en acceptant d'encadrer ce travail, pour votre soutien scientifique durant ces trois années, et pour vos conseils qui ont permis de mener à bien ce travail de recherche. *Merci...*

A *Madame Reine BARBAR*, ma directrice de thèse. Je vous remercie pour votre précieux encadrement, votre écoute. Merci de m'avoir encouragée tout au long de mes études, et d'avoir joué un rôle fondamental dans ma décision de faire de la recherche en France. *Merci...*

Je tiens à remercier, le laboratoire IADI-CIT INSERM, représenté par *Monsieur Jacques FELBLINGER* et *Madame Gabriela HOSSU* qui ont été toujours disponible durant mon séjour au laboratoire. *Merci...*

Je tiens aussi à remercier les membre du jury de me faire l'honneur d'accepter de venir juger ce manuscrit et d'assister à la soutenance de ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude. *Madame Dominique VALENTIN* et *Monsieur Dominique SAPPEY- MARINEIR* pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'analyser ce travail en tant que rapporteur. *Madame Gabriela HOSSU*, *Monsieur Jacques FELBLINGER*, *Monsieur Chadi HOSRI* et *Monsieur Walid HLEIHEL* pour m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury de thèse et d'examiner le travail. *Merci...*

A *Madame Lara WAKIM* doyen de la FSAA et *Monsieur Michel LINDER*, directeur du LIBio, pour m'avoir accueillie dans leurs laboratoires durant mon travail de recherche. Merci aussi aux équipes du LIBio et de la FSAA, pour leur accueil et leur disponibilité. *Merci...*

A mes amis en France et au Liban, *Dimitry, Jean, Ahmad, Remy, Faustine, Nicolas, Dominique, Christelle, Marie-Céleste, Julie, Mathieu* et *Anthony* grâce à vous j'ai passé des moments inoubliables de joie et d'échange. *Merci...*

Finalement, un grand merci à *Mes parents, Ma sœur, Mon frère, Mes nièces* et *Mon neveu* pour leur soutien quotidien dans les bons comme dans les mauvais moments. Merci pour votre encouragement sans limites, votre présence et votre amour inconditionné. Ces quelques lignes ne sont qu'un très bref résumé de tout ce que je pense et que je vous dois. *Merci...*



## DEDICACE

---

*Merci mon Dieu de m'avoir donné la capacité de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de prier...*

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma Mère ...*

*A mon Père, école de mon enfance qui a été mon ombre durant toutes les années d'études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à m'aider et me protéger...*

*A mon adorable Sœur, qui a toujours été un exemple précieux à suivre ...*

*A mon beau-frère que j'ai toujours considéré comme un Frère et un model ...*

*A mon adorable Neveu et mes deux Nièces, mes anges...*

*A tous ceux qui me sont Chers ...*

*A mon très cher Liban ...*

*Avec toute mon affection...*

*Je dédie mon travail*

*Léa*





**SOMMAIRE GENERAL**

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>5</b>
<b>1. LA NOTION DE CULTURE.....</b>	<b>7</b>
1.1. LA CULTURE DANS L'ANTHROPOLOGIE ET LA SOCIOLOGIE.....	7
1.2. LA CULTURE ALIMENTAIRE ET LA PERCEPTION : .....	7
<b>2. COULEURS ET VISION.....</b>	<b>9</b>
2.1. PHYSIOLOGIE DE L'ŒIL .....	9
2.2. TRAITEMENT CEREBRAL DE L'INFORMATION VISUELLE.....	11
<b>3. ODEURS ET OLFACTION .....</b>	<b>13</b>
3.1. PHYSIOLOGIE OLFACTIVE .....	14
3.2. TRAITEMENT CEREBRAL DE L'INFORMATION OLFACTIVE .....	16
3.2.1. Le cortex primaire.....	17
3.2.1.1. Le cortex piriforme .....	17
3.2.1.2. L'amygdale.....	18
3.2.1.3. Le cortex entorhinal .....	18
3.2.2. Le cortex olfactif secondaire.....	19
3.2.2.1. Le cortex orbitofrontal .....	19
3.2.2.2. Le cortex insulaire.....	19
3.2.2.3. Le cortex cingulaire .....	20
3.2.2.4. L'hippocampe.....	20
3.2.2.5. Le thalamus.....	21
3.2.2.6. L'hypothalamus .....	21
3.2.2.7. Striatum Ventral.....	22
<b>4. NOTION D'AFECT .....</b>	<b>22</b>
<b>5. CORRESPONDANCES INTERMODALES ODEURS ET COULEURS.....</b>	<b>25</b>
5.1. LE LIEN ODEURS – COULEURS.....	27
5.2. CORRESPONDANCES INTERMODALES ODEUR-COULEUR ET EMOTIONS.....	30
5.3. CORRESPONDANCES INTERMODALES ODEUR-COULEUR ET COGNITION.....	34
5.3.1. Correspondances intermodales odeur-couleur et culture.....	35
5.3.2. Effet de la culture sur la perception des odeurs .....	35
5.3.3. Effet de la culture sur l'interprétation des couleurs .....	37
5.3.4. Effet de la culture sur les liens odeurs-couleurs .....	38
<b>REFERENCES.....</b>	<b>40</b>

<b>CHAPITRE II : LE LIEN ODEUR-COULEUR ET LA CULTURE.....</b>	<b>53</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>55</b>
<b>A B S T R A C T.....</b>	<b>57</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>57</b>
<b>2. MATERIALS AND METHODS .....</b>	<b>59</b>
2.1. PARTICIPANTS .....	59
2.2. OLFACTORY STIMULI.....	59
2.3. COLOR SAMPLES.....	59
2.4. TASK LOCATION AND PROCEDURE .....	59
2.5. DATA ANALYSIS .....	59
<b>3. RESULTS .....</b>	<b>59</b>
3.1. ODOR–COLOR ASSOCIATIONS .....	59
3.1.1. Intracultural analysis .....	59
3.1.2. Intercultural analysis .....	59
3.1.2.1. Odor–color associations for pineapple.....	60
3.1.2.2. Odor–color associations for wild strawberry.....	61
3.1.3. Odor–color associations for shallot .....	61
3.1.4. Odor–color associations for orange-blossom.....	61
3.2. CORRELATIONS BETWEEN DESCRIPTORS .....	61
<b>4. DISCUSSION .....</b>	<b>63</b>
<b>5. CONCLUSIONS .....</b>	<b>64</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>65</b>

<b>CHAPITRE III : LE LIEN ODEUR-COULEUR ET LA METHODOLOGIE .....</b>	<b>67</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>69</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>71</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>72</b>
<b>2. MATERIAL AND METHODS .....</b>	<b>75</b>
2.1. PARTICIPANTS .....	75
2.2. OLFACTORY STIMULI.....	75
2.3. TASK LOCATION AND PROCEDURE.....	75
2.4. DATA ANALYSIS .....	76
<b>3. RESULTS .....</b>	<b>77</b>
3.1. ODOR -COLOR ASSOCIATIONS WITHOUT THE PRESENCE OF COLOR CUES .....	77
3.1.1. Analysis of color terms .....	77
3.1.2. Differences in colors quoted in both countries .....	79
3.2. COMPARISON BETWEEN BOTH STUDIES .....	84
<b>4. DISCUSSION .....</b>	<b>87</b>
<b>5. CONCLUSION .....</b>	<b>92</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>93</b>

<b>CHAPITRE IV : LE LIEN ODEUR-COULEUR ET IRMF .....</b>	<b>97</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>99</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>102</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>103</b>
<b>2. MATERIALS AND METHODS .....</b>	<b>105</b>
2.1. POPULATION.....	105
2.2. OLFACTORY EVOCATION FMRI PARADIGM .....	105
2.3. MRI DATA ACQUISITION.....	106
2.4. FMRI DATA PRE-PROCESSING.....	107
2.5. FMRI STATISTICAL ANALYSES .....	107
<b>3. RESULTS .....</b>	<b>109</b>
3.1. VOLUNTEERS FEELING.....	109
3.2. WHOLE-BRAIN ACTIVATION .....	109
3.3. ORBITOFRONTAL CORTEXACTIVATION .....	113
<b>4. DISCUSSION .....</b>	<b>115</b>
4.1. OLFACTORY PROCESSES .....	115
4.2. EMOTIONAL PROCESSES .....	116
4.3. VISUOSPATIAL AND LANGUAGE PROCESSES .....	117
4.4. MEMORY PROCESSES.....	118
4.5. TASTE PROCESSES .....	119
4.6. COMPLEXITY OF COLOR ARRANGEMENT .....	120
4.7. LIMITATIONS .....	121
<b>5. CONCLUSION .....</b>	<b>123</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>124</b>

<b>CHAPITRE V : LE LIEN ODEUR-COULEUR ET LES AFFECTS .....</b>	<b>133</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>135</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>138</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>140</b>
<b>2. MATERIAL AND METHODS .....</b>	<b>142</b>
2.1. PARTICIPANTS .....	142
2.2. OLFATORY STIMULI.....	142
2.3. TASK LOCATION AND PROCEDURE.....	143
2.4. DATA ANALYSIS .....	145
<b>3. RESULTS .....</b>	<b>145</b>
3.1. DIFFERENCES OR SIMILARITIES OBTAINED INTER- AND INTRA- CULTURALLY IN THE CHARACTERIZATION OF ODORS (QUANTITATIVELY, QUALITATIVELY, HEDONICALLY AND AFFECTIVELY).....	145
3.2. THE CHOICE OF AFFECT TERMS IN EACH COUNTRY AND REGION .....	149
<b>3. DISCUSSION .....</b>	<b>150</b>
<b>4. CONCLUSION .....</b>	<b>156</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>157</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>161</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>169</b>
<b>1. LE ROLE DE L'INTUITION.....</b>	<b>171</b>
<b>2. LES COULEURS DANS LES PROCESSES DE DECISION.....</b>	<b>172</b>
<b>3. LE TRANSFERT DE SENSATIONS .....</b>	<b>173</b>
<b>4. LE LIEN ODEURS-COULEURS .....</b>	<b>174</b>
<b>5. CONCLUSION .....</b>	<b>175</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>176</b>

## LISTE DE FIGURES

---

<b>Fig.I. 1.</b> Le spectre de la lumière visible par l'homme (Caumon et al., 2010). .....	9
<b>Fig. I. 2.</b> Structure de l'œil (Scadding, 1981). .....	10
<b>Fig. I. 3.</b> Projections des champs visuels gauche et droit sur les deux rétines et croisement partiel des fibres ganglionnaires dans le chiasma optique (D'Hondt, 2012). .....	11
<b>Fig. I. 4.</b> Les 4 lobes du cerveau (Moreau, 2014). .....	12
<b>Fig. I. 5.</b> Schéma d'une vue postéro-latérale gauche du cerveau présentant V1 et les autres sous-divisions fonctionnelles du cortex visuel (D'Hondt, 2012). .....	13
<b>Fig. I. 6.</b> Schéma du premier relais de l'information olfactive chez les êtres humains de la muqueuse olfactive au bulbe olfactif (Plailly, 2005). .....	15
<b>Fig. I. 7.</b> Schéma des structures anatomiques codant l'information olfactive et les connexions entre-elles (Source: Plailly, 2005). .....	16
<b>Fig. I. 8.</b> Le cortex piriforme, le cortex entorhinal et l'amygdale (Kumar, 2011). .....	17
<b>Fig. I. 9.</b> Le cortex insulaire (Ventura, 2014). .....	20
<b>Fig. I. 10.</b> Le cortex cingulaire (Lefebvre, 2007). .....	21
<b>Fig. I. 11.</b> La forme anguleuse à gauche (Kiki) et arrondie à droite (Bouba) Ramachadran et al., (2001). .....	26
<b>Fig.II. 1.</b> Frequency of main colors chosen for pineapple as a function of populations. ....	61
<b>Fig.II. 2.</b> Frequency of choice of main colors for wild strawberry according to the 3 populations..	62
<b>Fig.II. 3.</b> Frequency of choice of main colors for shallot according to the 3 populations. ....	63
<b>Fig.II. 4.</b> Frequency of choice of main colors for orange blossom according to the 3 groups.....	64
<b>Fig.II. 5.</b> Edibility ratings (%) for orange blossom odor. ....	64
<b>Fig.III. 1.</b> Principal components analysis combined with scatter plot visualizing the distribution of odors (represented as bands on the plot) according to the distribution of colors in the first two principal component's space. ....	82
<b>Fig.III. 2.</b> PCAs combined with scatter plots to visualize the ten odors realizing significant differences between both countries. The first plot discriminating the differences for RL, RF, LiL and LiF in the PC1 and PC3 space. The second plot discriminating the differences for LL, LF, SL, SF, SHL, SHF, CaL, CaF, CL, CF, OL, OF in the PC1 and PC4 space. The third plot discriminating WL, WF, PiL and PiF in the PC2 and PC 3 space. (L: Lebanon, F: France)(respectively R:rose, Li:lime, L:lavender, S:smoked, SH: shallot, Ca: caramel, C:cucumber, O:orange blossom, W: wild starwberry, Pi:pineapple). ....	83
<b>Fig.III. 3.</b> PCA combined with scatter plot visualizing the preference in terms of colors of both countries in both methods (L1: Lebanon with color cues, F1:France with color cues, L2: Lebanon without color cues, F2: France without color cues). .....	85
<b>Fig.III. 4.</b> PCAs combined with scatter plots to visualize the six odors realizing significant differences between both method. The first plot discriminating the differences for LL1, LL2, LF1, LF2, OL1, OL2, OF1 and OF2 in the PC1 and PC4 space. The second plot discriminating the differences for PiL1, PiL2, PiF1, PiF2,SHL1, SHL2, SHF1, SHF2, MhL1, MhL2, MhF1, MhF2, MIL1, MIL2, MIF1 and MIF2 in the PC4 and PC3 space. (L1: Lebanon with color cues; F1:France with color cues, L2:Lebanon without color cues, F2: France without color cues) (respectively: L:lavender, O:orange blossom, Pi: pineapple, SH: shallot, Mh: mirabelle plum high intensity, MI: mirabelle plum low intensity). ....	86
<b>Fig. IV. 1.</b> Paradigme et visuels utilisés lors des tests d'IRMf .....	100

## LISTE DE FIGURES

---

<b>Fig. IV. 2.</b> Brain areas activated by color arrangement or picture presentation.....	109
<b>Fig. IV. 3.</b> Mean activation within the five regions of orbitofrontal cortex.....	113
<b>Fig.V. 1.</b> PCAs combined with a scatter plot to visualize similarities in the associations of some odors to same valences and/or descriptors between both countries or within the same country. The odors are Caramel, MiH, MiL, Shallot, Smoked and Ws. (F: France, K:Kaslik, Z:Zahle) (respectively: MiH: mirabelle plum high intensity, MiL: mirabelle plum low intensity, Ws: wild strawberry). The descriptors are: Edibility, Familiarity, Intensity and the valences are: NegAffects, NeutAffects, PosiAffects (respectively: NegAffects: Negative affects, NeutAffects: Neutral affects, PosiAffects: Positive affects).....	146
<b>Fig.V. 2.</b> PCAs combined with a scatter plot graph to visualize intercultural differences in the association of some odors to valences and/or descriptors. The odors are: Cucumber, Jellab, Lavender, Mint, Ob, Peppermint, Pineapple, Rose and Violet. (F: France, K: Kaslik, Z: Zahle) (Ob: orange blossom). The descriptors are: Edibility, Familiarity, Intensity and the valences are: NegAffects, NeutAffects, PosiAffects (respectively: NegAffects: Negative affects, NeutAffects: Neutral affects, PosiAffects: Positive affects). .....	147
<b>Fig.V. 3.</b> PCAs combined with scatter plots to visualizethe inter- or intra- cultural differences for Lemon, Lime and Pomegranate molasses. (F: France, K: Kaslik, Z: Zahle). The descriptors are: Edibility, Familiarity, Intensity and the valences are: NegAffects, NeutAffects, PosiAffects (respectively: NegAffects: Negative affects, NeutAffects: Neutral affects, PosiAffects: Positive affects).....	148
<b>Fig.V. 4.</b> The combination of the 3 main affect terms used for each odor in each country and area. ....	150



## LISTE DE TABLEAUX

---

<b>Tableau. I. 1.</b> Les 36 émotions et les 6 dimensions de GEOS (adapté selon Chrea et al., 2009). ....	31
<b>Tableau. I. 2.</b> Les 6 dimensions de ScentMove <sup>TM</sup> chacune avec 3 émotions (Porcherot et al., 2010). .....	32
<b>Tableau. I. 3.</b> EsSence <sup>TM</sup> profile (King & Meiselman, 2010) .....	33
<b>Table. II. 1 .</b> Significance of differences in odor–color associations found between the 3 groups (NS: non-significant difference; S: significant difference with $p < 0.001$ ). .....	60
<b>Table. II. 2.</b> Examples of main color associated to odors in each population for olfactory stimuli exhibiting differences between countries in terms of odor–color associations ( $p < 0.001$ ). (Colors are quantified with R*V*B method). .....	60
<b>Table. II 3.</b> Significant statistical correlations ( $r$ ; $R^2$ ) between L*C*H mean values and intensity, familiarity, pleasantness and edibility ratings for all odors in all 3 countries; $p \leq 0.05$ . .....	64
<b>Table. III. 1.</b> Percentages of the main categories and sub-categories of colors selected in France. ....	77
<b>Table. III. 2.</b> Percentages of the main categories and sub-categories of colors selected in Lebanon. .....	78
<b>Table. III. 3.</b> Significance of differences in odor-color associations between Lebanon and France using $\chi^2$ tests and Cramer values (NS: non-significant difference; S: significant difference with $p <$ $0.05$ , Vc: Cramer Value). .....	80
<b>Table. IV. 1.</b> Brain areas activated by color arrangement or picture presentation.....	110
<b>Table. V. 1.</b> Categorizing the affects into emotions and other affective phenomena .....	143
<b>Table. V. 2.</b> Valence of the 39 affects .....	144
<b>Table. V. 3.</b> The three main affects selected in France, Kaslik and Zahle and the number of odors they have been linked to. ....	149



Les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse ont fait l'objet de plusieurs publications et communications.

### **Publications acceptées:**

Publiée dans un journal international à comité de lecture:

**Nehmé, L.**, Barbar, R., Maric, Y. & Jacquot, M. (2016). Influence of odor function and color symbolism in odor-color associations: A French- Lebanese- Taiwanese cross-cultural study. *Food Quality and Preference*, 49, 31-41

### **Chapitre dans un ouvrage:**

Jacquot, M & **Nehmé, L.** Zoom sur: le lien odeur- couleur. *Les 7 fonctions de l'emballage*. Edition Lavoisier . Collection: Sciences et techniques agroalimentaire.

### **Publication soumise à des journaux internationaux à comité de lecture:**

**Nehmé, L.**, Barbar, R. & Jacquot, M. (2017). Do color cues affect color-odor associations? A Comparative study between two methods in Lebanon and France. Soumis en Fevrier 2017 au Journal of Sensory Studies.

Charroud, C., Jacquot, M., Tonnelet, R., Boyer, J., **Nehmé, L.**, Noël, F., Felblinger, J., Braun, M. & Hossu, G. (2017) . Human olfactory cortex stimulation by color arrangements visualization: a functional MRI study. Soumis en Janvier 2017 au Journal of Neuroscience.

### **Communication par affiche**

**Nehmé, L.**, Barbar, R., Maric, Y. & Jacquot, M. (2015). Influence of odors function and colors symbolism in odor-color associations: comparative study between rural and urban regions in Lebanon. AIC 2015 Congress, March 19- March 22, Tokyo, Japan.

Charroud, C., Jacquot, M., Tonnelet, R., Boyer, J., **Nehmé, L.**, Noël, F., Felblinger, J., Braun, M. & Hossu, G. (2016). Human olfactory cortex stimulation by color arrangements visualization: a functional MRI study. ESMRMB 2016 Congress, September 29 - October 1, Vienna/AT



# INTRODUCTION GENERALE



L'analyse et la métrologie sensorielles connaissent, depuis une vingtaine d'années, un développement indiscutable (Robert-Ouvray, 2010). Ce développement est le fruit d'une part de la réflexion des industriels de l'agroalimentaire qui cherchent à mieux connaître les produits qu'ils mettent sur le marché, d'autre part, à la demande des entreprises de la grande distribution qui veulent s'assurer que les produits de leur propre marque ont des caractéristiques qui les distinguent, ou non, des produits leaders (Depledt & Sauvageot, 2002). L'homme vise toujours à apprécier sa nourriture selon ses propres critères subjectifs. C'est cette faculté de vouloir choisir quotidiennement ce qu'il voudrait consommer parmi les denrées alimentaires selon, son acceptation, son désir et sa préférence, qui nous apprend que nous pouvons nous fier à nos sens. C'est cette constatation qui a permis à l'évaluation sensorielle de prendre place, peu à peu, dans la panoplie des techniques conduisant à mieux connaître le produit alimentaire et à mieux comprendre les réactions des sujets vis à vis de ce même produit (Depledt & Sauvageot, 2002).

Dans toutes nos situations quotidiennes, nos sens sont bombardés par de nombreux signaux (Spence, 2011). Tandis qu'on parle généralement des sens comme des entités distinctes, les informations des diverses modalités sensorielles se combinent constamment afin de pouvoir comprendre et mieux appréhender le monde qui nous entoure (Calvert *et al.*, 2004). De tous les systèmes sensoriels, les capteurs chimiques (olfaction et goût), sont les plus répandus dans le règne du vivant, et les plus anciens sur le plan de l'évolution (Ferrier *et al.*, 2009). Mais, selon Gibson (1996) et Marks (1991), en matière d'influence intersensorielle, c'est généralement la modalité visuelle qui prédomine dans nos interactions quotidiennes.

De ce fait, les effets de la perception visuelle sur la perception olfactive sont aujourd'hui bien établis. La littérature souligne notamment la présence de fortes associations entre certaines odeurs et couleurs, et que ces associations d'odeurs et de couleurs sont probablement acquises et peuvent faire l'objet d'une variation entre les cultures (Demattè *et al.*, 2006; Gilbert *et al.*, 1996; Kemp et Gilbert, 1997; Maric *et al.*, 2012; Schifferstein et Tanudjaja 2004; Spector et Maurer, 2012). En effet, les études de cultures croisées concernant cette interaction entre vision et olfaction ont été réalisées à divers niveaux. Certaines études traitent de l'effet de la culture sur les multiples dimensions des correspondances comme le plaisir, la familiarité, l'intensité et la comestibilité des arômes quotidiens (Ayabe-Kanamura *et al.*, 1998; Shankar *et al.*, 2010; Jacquot *et al.*, 2016). D'autres discutent le rôle de l'apprentissage et de l'expérience sur la modification de la perception d'une odeur, au niveau neuronal et comportemental (Gottfried, 2007). Cependant, peu d'études n'ont examiné les différences d'associations odeurs- couleurs au sein d'un même pays.

De plus, plusieurs études expliquent qu'il existerait des liens étroits entre l'olfaction et les émotions et que ces émotions vont avoir un effet sur les liens odeurs-couleurs (Zellner *et al.*, 1990; Maric &

Jacquot, 2012; Levitan *et al.*, 2014). Si on élargit les émotions aux affects en général, plusieurs études ont exploré l'importance de ces affects sur le lien odeur-couleur, au fil des ans, (Schutz, 1957; Peryam & Pilgrim, 1957; Pilgrim, 1961; Porcherot *et al.*, 2010). Mais, peu ont étudié l'influence du lieu de résidence sur les affects que ce soit au sein d'un même pays ou dans des pays différents (Sosa *et al.*, 2015)

Il apparait donc que plusieurs études ont été menées pour comprendre ces associations couleur-odeur. Cependant, leur comparaison fait rapidement apparaître des différences nettes dans les méthodologies utilisées. Ces différences rendent la comparaison des résultats difficile.

Fort de ces constats, ce doctorat est une contribution à une meilleure compréhension du lien, plusieurs fois démontré, entre odeurs et couleurs. Dans une approche transdisciplinaire volontaire, les objectifs de cette thèse sont:

- d'étudier en quoi le lieu de résidence des participants a une influence sur le lien entre l'odeur et la couleur afin de mieux définir les contours du terme « culture » ;
- de déterminer si le changement de méthodologie utilisée lors des tests peut affecter ces associations en permettant la dominance d'un type d'association odeurs/couleurs particulier (sémantique ou perceptive) ;
- d'étudier l'impact de la culture sur les affects véhiculées par la valence hédonique des odeurs et sur la description de ces odeurs dans deux pays ;
- d'étudier le pouvoir de suggestion olfactive des couleurs.

Le manuscrit s'organise en 4 parties correspondant aux 4 grandes études réalisées dans différents pays, la France, le Liban et Taiwan, ainsi que dans différentes régions au sein d'un même pays (Liban urbain, Liban rural). Une discussion globale des résultats obtenus sera présentée en conclusion avec une ouverture applicative de ces connaissances dans le domaine du marketing sensoriel et du packaging.



# **CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

<b>1. LA NOTION DE CULTURE.....</b>	<b>7</b>
1.1. LA CULTURE DANS L'ANTHROPOLOGIE ET LA SOCIOLOGIE.....	7
1.2. LA CULTURE ALIMENTAIRE ET LA PERCEPTION :.....	7
<b>2. COULEURS ET VISION.....</b>	<b>9</b>
2.1. PHYSIOLOGIE DE L'ŒIL .....	9
2.2. TRAITEMENT CEREBRAL DE L'INFORMATION VISUELLE.....	11
<b>3. ODEURS ET OLFACTION .....</b>	<b>13</b>
3.1. PHYSIOLOGIE OLFACTIVE .....	14
3.2. TRAITEMENT CEREBRAL DE L'INFORMATION OLFACTIVE .....	16
3.2.1. Le cortex primaire.....	17
3.2.1.1. Le cortex piriforme .....	17
3.2.1.2. L'amygdale.....	18
3.2.1.3. Le cortex entorhinal .....	18
3.2.2. Le cortex olfactif secondaire.....	19
3.2.2.1. Le cortex orbitofrontal .....	19
3.2.2.2. Le cortex insulaire.....	19
3.2.2.3. Le cortex cingulaire .....	20
3.2.2.4. L'hippocampe.....	20
3.2.2.5. Le thalamus .....	21
3.2.2.6. L'hypothalamus .....	21
3.2.2.7. Striatum Ventral.....	22
<b>4. NOTION D'AFFECT .....</b>	<b>22</b>
<b>5. CORRESPONDANCES INTERMODALES ODEURS ET COULEURS.....</b>	<b>25</b>
5.1. LE LIEN ODEURS – COULEURS.....	27
5.2. CORRESPONDANCES INTERMODALES ODEUR-COULEUR ET EMOTIONS.....	30
5.3. CORRESPONDANCES INTERMODALES ODEUR-COULEUR ET COGNITION.....	34
5.3.1. Correspondances intermodales odeur-couleur et culture.....	35
5.3.2. Effet de la culture sur la perception des odeurs .....	35
5.3.3. Effet de la culture sur l'interprétation des couleurs .....	37
5.3.4. Effet de la culture sur les liens odeurs-couleurs .....	38
<b>REFERENCES.....</b>	<b>40</b>

## 1. LA NOTION DE CULTURE

### 1.1. La culture dans l'anthropologie et la sociologie

Depuis son apparition au XIII<sup>ème</sup> siècle, le terme "culture" a été le sujet de débats intenses car cette notion rend possible l'unité des hommes dans leurs diversités. En effet, peu d'autres termes ont donné autant de définitions, sinon de controverses, ainsi selon Kroeber et Kluckhohn (1952), on peut dénombrer plus de 150 définitions différentes.

Le mot "culture" doit son apparition à l'anthropologue anglais Edward Burnett Tylor, qui dans son volume *Primitive Culture* (1871), inspiré du travail de Gustav Klemm, a créé pour la première fois le concept du terme "culture" (Rocher, 1992). Pour Tylor, la définition du terme culture était: "*ensemble complexe qui inclut les connaissances, les croyances, les arts, les mœurs, les lois, les coutumes et toutes autres capacités et habitudes acquises par l'homme en tant que membre de la société*". Par cette définition la notion anthropologique de culture était née. Cette notion a été reprise et complétée par d'autres anthropologues anglais et américains, tels que Sumner, Keller, Lowie, Wissler, Sapir, ainsi, pour Malinowski (1931) par exemple, " le concept clé de l'anthropologie culturelle comprend des techniques, des objets fabriqués, des procédés de fabrication, des idées, des mœurs et des valeurs hérités".

En sociologie aussi, le terme "culture" fut rapidement adopté par les premiers sociologues américains, comme Ogburn, Small, Parke ou Burgess, mais plus lentement qu'en anthropologie. De grands précurseurs de la sociologie comme Marx, Weber et d'autres ne l'ont pas immédiatement employé, toutefois, il fait maintenant partie du vocabulaire de la sociologie aussi bien que celui de l'anthropologie (Rocher, 1992).

En France, l'adoption de ce terme fut aussi plus lente. Ainsi, ce n'est qu'après la dernière guerre que ce terme devient populaire sous l'influence de la sociologie américaine (Rocher, 1992).

La définition actuelle du terme "culture" est la suivante: "ensemble de phénomènes qui caractérisent un groupe ethnique, une nation, une civilisation par opposition à une autre" (Dictionnaire Larousse consulté le 20 Avril 2017).

### 1.2. La culture alimentaire et la perception :

Selon le sociologue et philosophe français Edgar Morin, "l'homme est le fruit de sa civilisation, de sa nation, de sa famille...il peut quand même faire preuve d'autonomie et d'initiative." Ainsi l'homme étant le fruit de sa culture, si sa culture évolue il va évoluer aussi. Les évolutions de

l'alimentation vont elles aussi accompagner les transformations de la société. Cette évolution ne peut se comprendre qu'à la lumière de facteurs technologiques, économiques, sociologiques, culturels et même politiques qui ont modulé l'évolution de la société au cours des dernières décennies: développement socio-économique, modifications de modes de vies, progrès technologiques, changement des goûts des consommateurs et des modes de consommation (site gouvernement français consulté le 20 Avril 2017).

Ainsi, Selon Borzakian *et al.*, (2016), la notion de culture alimentaire prend appui sur la définition classique de la culture proposée il y a plus d'un siècle par Tylor (1871), donc une culture alimentaire est le pendant culinaire de la formulation de Tylor, intégrant un certain nombre d'aliments, de plats, d'interdits communs à un groupe s'identifiant le cas échéant à un espace plus ou moins bien délimité. De même selon Fumey (2010), les profonds renouvellements de l'alimentation dans le monde actuel ont conduit les géographes à comprendre les raisons pour lesquelles l'alimentation était redevenue "géographique", au sens où le local retrouvait tout son sens sur une planète fortement mondialisée. Les travaux de ces géographes ont été portés par un courant culturaliste de la géographie postulant que l'alimentation était définie par des cultures et non des marchandises, fussent-elles "mondialisées" par des systèmes industriels ou migratoires. Ainsi, l'anthropologie alimentaire est la science qui va étudier ces phénomènes d'interférences et d'interactions des cultures sur l'alimentation.

La perception des aliments ou des boissons, comme l'a déjà montré un grand nombre de scientifiques (Spence, 2002; Stillman, 2002; Delwiche, 2004 etc..) est une expérience multisensorielle, qui fonctionne donc sur différents modes de perception. Ainsi des signaux gustatifs, olfactifs, visuels, oraux, somatosensoriels, auditifs et même nociceptifs vont jouer un rôle pour déterminer la perception de ce que l'on va déguster ou boire (Zampini *et al.*, 2007). La couleur est peut-être le signe sensoriel intrinsèque le plus important lorsqu'il s'agit de déterminer nos attentes vis à vis du goût et de la saveur attendus d'un produit alimentaire ou d'une boisson (Spence, 2016). Ainsi de façon quotidienne, les consommateurs ont la possibilité d'inspecter les aliments et les boissons visuellement avant de décider de les acquérir ou de les goûter (Spence and Piqueras-Fiszman, 2014). La couleur va donc être un élément déterminant dans la décision d'acquérir un produit mais elle va aussi affecter la perception de ce produit. Par exemple, Dubose *et al.*, (1980) ont démontré que 40% des participants à leur étude ont cru boire un jus d'orange lorsqu'un jus de cerise était coloré avec la couleur orange.

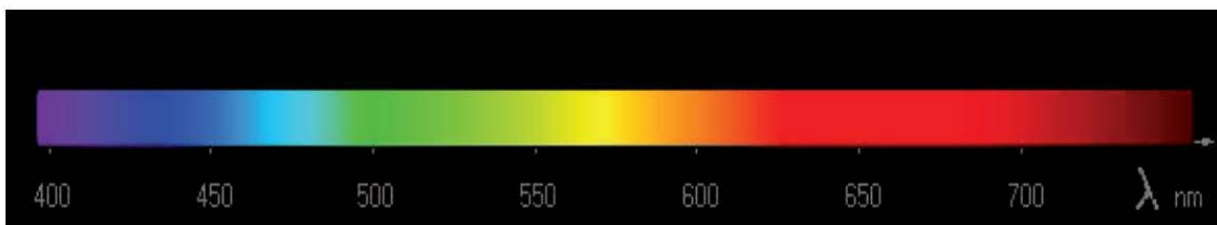
D'autre part combiné au sens du goût, l'odorat donne la possibilité aux individus de reconnaître les aliments et de repérer les substances potentiellement dangereuses dans leur environnement (Ferrier *et al.*, 2009). La modalité olfactive est évolutive et fonctionnellement liée aux aliments (Hoover,

2010). De ce fait, plusieurs études ont montré l'effet physiologique (salive) et psychologique (acceptation) des odeurs sur les comportements alimentaires (Rogers & Hill, 1989; Jansen *et al.*, 2008 etc..).

Ces différents éléments soulignent donc la complexité des relations qui gèrent la culture alimentaire ainsi que l'importance des processus sensoriels.

## 2. COULEURS ET VISION

La couleur est la perception que nous avons des différentes longueurs d'onde qui constituent la lumière visible. Cet ensemble de longueurs d'onde, qu'on appelle le spectre de la lumière, s'étend du violet ( $\lambda = 380$  nm) au rouge ( $\lambda = 680$  nm). Au-delà, on sort du champ perceptible par l'œil humain et on entre dans le domaine de l'ultraviolet et de l'infrarouge (fig I. 1) (Jacquot *et al.*, 2011).



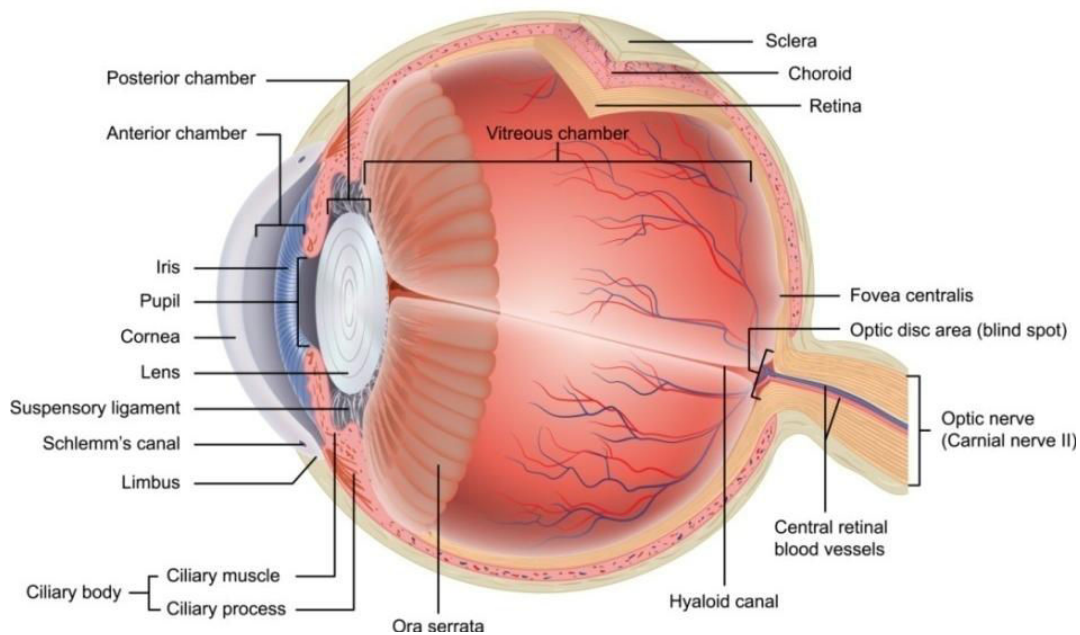
**Fig.I. 1. Le spectre de la lumière visible par l'homme (Caumon *et al.*, 2010).**

La couleur est généralement définie par sa teinte, sa saturation et sa luminosité. La teinte est déterminée par le principal reflet du spectre visible qui permet de distinguer les sensations colorées comme le rouge, le bleu, le jaune, etc. La saturation, qui exprime la pureté d'une couleur, est la proportion de gris mélangée à la teinte. Ainsi une couleur complètement désaturée sera en niveaux de gris. La luminosité représente l'intensité lumineuse relative perçue c'est-à-dire le pourcentage de blanc ou de noir mélangé à la teinte (Kurt Nassau, 2016).

### 2.1. Physiologie de l'œil

L'œil est l'organe de la vision. Il permet à un être vivant de capter la lumière pour ensuite l'analyser et interagir avec son environnement (Legrand, 1956). Il permet de distinguer les formes, les mouvements et les couleurs, tout comme les différentes nuances (Meary, 2010).

La physiologie de l'œil ne commencera à être bien connue que dans les années 50 à partir des travaux de Gunnar Svaetichin (1915-1981). La figure I.2 présente la structure simplifiée de l'œil.



**Fig. I. 2.** Structure de l'œil (Scadding, 1981).

La pupille, l'iris, la cornée et le cristallin (lentille) forment un système optique dont le but est de maintenir une image nette sur la rétine et de réguler la quantité de lumière qui va l'atteindre.

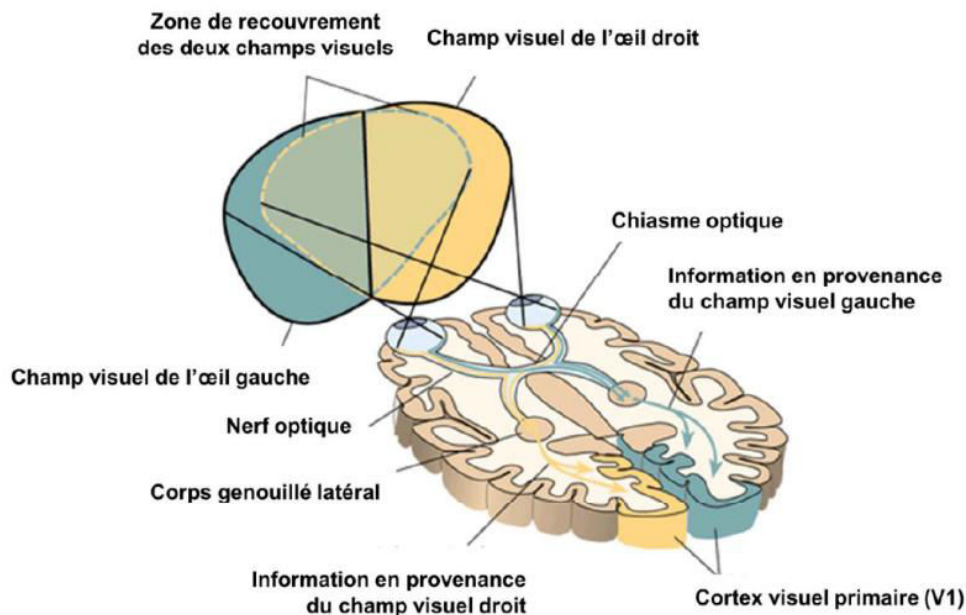
La rétine est une fine couche de tissu nerveux qui tapisse la paroi interne du globe oculaire (Wandell, 1995). C'est la seule structure de l'œil contenant des neurones sensibles à la lumière et capables de transmettre les signaux visuels aux centres encéphaliques par l'intermédiaire du nerf optique (Sterling, 2004). Ainsi, c'est le transducteur qui transforme le signal optique en signaux électriques.

La rétine comporte cinq types de neurones: les photorécepteurs, les cellules bipolaires, les cellules ganglionnaires, les cellules horizontales et les cellules amacrines (Purves *et al.*, 2001). Les photorécepteurs permettent la transformation du signal lumineux en information nerveuse. Il en existe 2 types: les cônes et les bâtonnets. Le nombre de bâtonnets (130 millions) est 20 à 30 fois plus important que le nombre de cônes (environ 6-7 millions). Ces bâtonnets et cônes sont spécialisés pour des aspects différents de la vision. Ainsi, les bâtonnets, sont les cellules qui analysent la lumière, à une résolution spatiale très faible, donc ce sont les seules cellules actives dans l'obscurité. Ils sont responsables de la vision en noir et blanc. Tandis que les cônes, jouent un rôle prépondérant aux luminosités relativement élevées et interprètent les couleurs d'une image en la décomposant en 3 couleurs primaires : le rouge, le bleu et le vert.

L'arrivée de l'information lumineuse sur la rétine va induire un message nerveux, par l'intermédiaire des cônes et des bâtonnets, ce message sera par la suite transmis aux cellules bipolaires et

ganglionnaires. Les axones des cellules ganglionnaires forment le nerf optique (Vignal- Clermont, 2016).

Les deux nerfs optiques issus des yeux se rejoignent au niveau du chiasma optique (endroit de décussation de 60% des axones), de telle manière que les informations de la rétine nasale gauche sont traitées par l'hémisphère droit et inversement pour la rétine nasale gauche (fig. I.3) (D'Hondt, 2012).



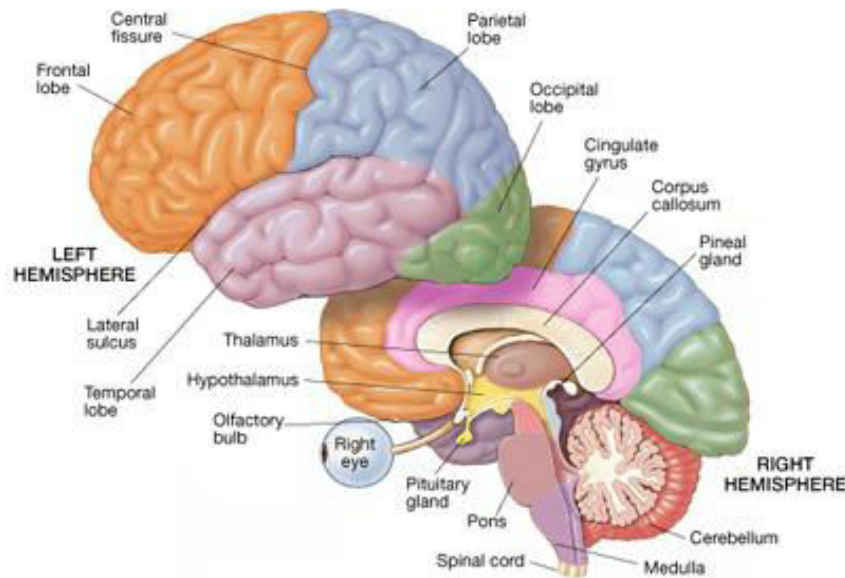
**Fig. I. 3.** Projections des champs visuels gauche et droit sur les deux rétines et croisement partiel des fibres ganglionnaires dans le chiasma optique (D'Hondt, 2012).

## 2.2. Traitement cérébral de l'information visuelle

Les nerfs optiques vont se projeter sur le corps genouillé latéral ou corps géniculé latéral (CGL) qui est situé dans la partie dorsale du thalamus (c'est un relais thalamique contenant 90% des fibres visuelles). Donc, le passage du chiasma au cortex visuel (qui se situe dans le lobe occipital), est possible grâce à ces corps genouillés latéraux, qui trient plus finement les fibres nerveuses selon la zone visuelle qu'elles couvrent. C'est le premier relais des voies visuelles, qui vont rejoindre leur cible principale: le cortex visuel primaire (ou V1 ou cortex strié ou aire de Brodmann 17) responsable de la perception visuelle. C'est là que l'image va commencer à être reconstituée. Cette projection du CGL vers le cortex visuel porte le nom de radiation optique (Przybyszewski *et al.*, 2000).

Le cerveau humain est constitué de trois types de cortex, l'archicortex, le paléocortex, et le néocortex, qui se différencient par leur fonction. Le néocortex, est impliqué dans les fonctions

cognitives, comme les perceptions sensorielles, les commandes motrices, la conscience ou encore le langage. Ce néocortex est lui-même divisé en quatre lobes, présent dans chacune des deux hémisphères: le lobe frontal, le lobe pariétal, le lobe occipital et le lobe temporal (fig. I.4). Le néocortex est donc la partie supérieure de l'ensemble des 4 lobes (Kahle, 2007).



**Fig. I. 4.** Les 4 lobes du cerveau (Moreau, 2014).

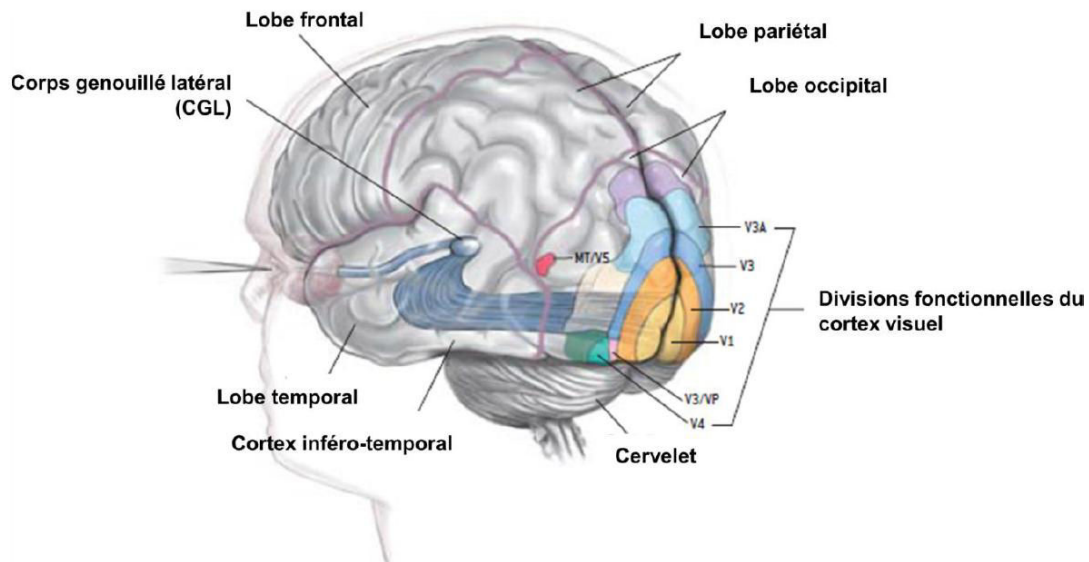
Chacun de ces lobes a une tâche différente. Le cortex visuel se trouve dans le lobe occipital (Gentaz & Ballaz, 2000).

Le cortex visuel occupe à lui seul la moitié de la surface de chaque hémisphère (Hubel, 1994). Il est divisé en une multitude de sous-régions fonctionnelles différentes qui contribuent à la perception visuelle (fig. I.5). Les aires primaires V1 et V2 sont entourées de nombreuses autres aires visuelles tertiaires ou associatives : V3, V4, V5 (ou MT), PO, etc. qui traitent chacune ou collectivement des multiples propriétés des informations provenant des voies visuelles (mouvements, etc.) (Hendry & Yoshioka, 1994).

L'aire V1 est située sur la face médiane de chaque hémisphère et subdivisée en 6 couches fonctionnelles distinctes. L'une des plus importantes est la 4<sup>ème</sup> couche qui reçoit la quasi-totalité de l'information issue des corps genouillés latéraux (D'Hondt, 2012) (fig. I.5). Les informations recueillies en V1 sont analysées puis distribuées aux autres aires. L'aire visuelle primaire (V1) correspond au point d'entrée dans le cortex des messages nerveux provenant de la rétine via le relais cérébral. La deuxième aire, V2, trie de façon plus fine les nombreuses informations reçues de V1. Elle joue un rôle très important dans la perception des contours, traite l'orientation, les textures



et les couleurs (Bradick, 2015). Les autres aires sont ensuite stimulées; chacune ayant sa spécialité. L'aire V3 analyse les formes en mouvement et les distances tandis que V4 s'occupe du traitement des couleurs et des formes immobiles. Enfin, V5 joue un rôle dans la perception des mouvements (Reppas *et al.*, 1997)



**Fig. I. 5.** Schéma d'une vue postéro-latérale gauche du cerveau présentant V1 et les autres sous-divisions fonctionnelles du cortex visuel (D'Hondt, 2012).

Ainsi, la perception visuelle est le résultat d'un traitement complexe d'informations. En effet, la perception visuelle du monde qui nous entoure n'est pas uniquement la conséquence du fonctionnement de nos yeux, elle est aussi rendue possible grâce à l'activité d'une importante partie de notre cerveau. De plus, le cerveau visuel communique continuellement avec le reste des aires cérébrales comme celles du langage, de la mémoire ou des émotions qui amènent du sens à ce que nous voyons, et qui peuvent également influencer notre perception et la rendre de plus en plus complexe.

Le système olfactif est un système aussi complexe que le système visuel, il est lui aussi d'une importance majeure dans la perception alimentaire. Ces deux systèmes vont, en effet travailler ensemble pour moduler la perception de ce qui nous entoure à travers, notamment, les liens odeurs-couleurs qui nous intéressent plus spécifiquement.

### 3. ODEURS ET OLFACTION

Une odeur est le résultat, d'une émanation de molécules volatiles que le sens de l'odorat permet de percevoir (Bonfils, 2014). Les molécules odorantes sont des molécules chimiques du type alcools, aldéhydes, cétones, ..., qui se différencient selon trois critères distincts : leur composition, leur

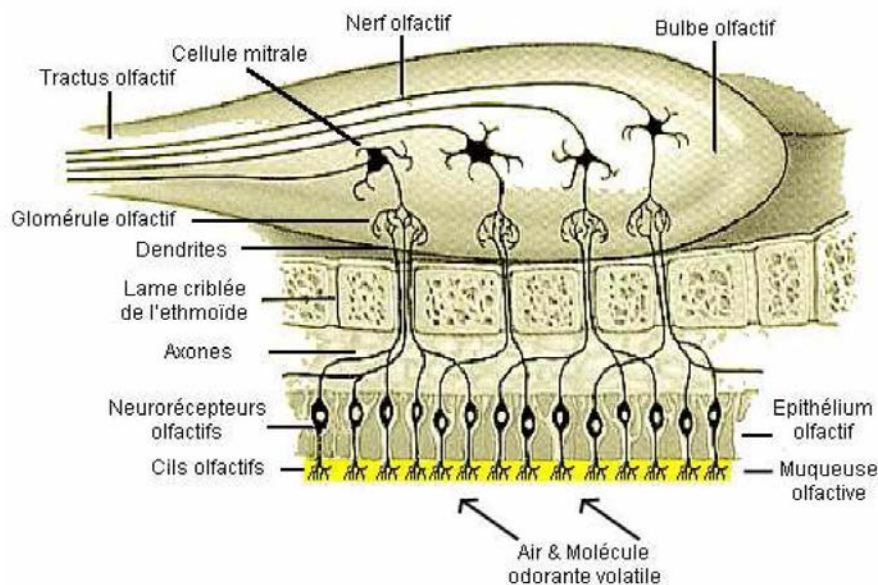
longueur de chaîne carbonnée et leur organisation spatiale, soit en isomère soit en énantiomère (Hordé *et al.*, 2015). On pourrait croire que tout corps chimique assez volatile pour atteindre l'épithélium olfactif, et pour lequel existerait un récepteur spécifique, devrait pouvoir stimuler l'organe de l'odorat et provoquer une sensation olfactive. Mais ce n'est pas le cas, pour atteindre cet épithélium, les molécules doivent posséder 3 caractéristiques. Elles doivent être d'une taille <300 Da. Leur concentration dans le milieu doit être supérieur au seuil minimal de  $10^{-17}$  mol/L. Enfin, elles doivent posséder une bonne solubilité dans l'eau pour pouvoir traverser le mucus (Bonfils, 2014).

Auparavant, les scientifiques croyaient que les êtres humains pouvaient percevoir 10 000 odeurs différentes mais récemment une étude faite par Bushdid *et al.*, (2014) a révélé qu'on pouvait percevoir plus d'1 trillions d'odeurs. Ces chercheurs ont demandé à 26 participants de sentir le contenu de trois flacons contenant un mélange de 128 molécules odorantes différentes. Deux des flacons contenaient le même mélange, alors que le troisième était différent. Les participants avaient comme tâche d'identifier le mélange différent. Statistiquement, les chercheurs ont pu déterminer que les individus peuvent distinguer deux odeurs lorsque leurs composants diffèrent de plus de la moitié. En d'autres termes, si moins de 50% des molécules qui constituent deux odeurs sont identiques, notre nez ne pourra les distinguer. Toujours par extrapolation mathématique, ils ont estimé le nombre de différents types de mélanges d'odeurs contenant jusqu'à 30 molécules différentes. Le résultat de 1 trillion représente donc le nombre d'odeurs différentes que l'on peut obtenir en mélangeant 10, 20 et 30 molécules appartenant à un lot source de 128. Nous sommes donc très loin des 10 000 odeurs initialement estimées et cela souligne la complexité du système olfactif mais aussi le manque de connaissances que nous avons encore aujourd'hui de cette sensibilité.

### 3.1. Physiologie olfactive

Les deux sens chimiques que sont l'odorat et le goût permettent aux êtres humains d'identifier et de réagir aux substances présentes dans leur environnement (Meierhenrich *et al.*, 2005). Le sens olfactif, contribue à l'appréciation des arômes des aliments. En effet, le « goût » des aliments dépend largement de la perception olfactive, par le biais des molécules odorantes libérées dans la cavité buccale et véhiculées vers la muqueuse olfactive par la voie rétronasale (Meierhenrich *et al.*, 2005).

La perception olfactive trouve son origine dans l'interaction entre les composés chimiques volatils transportés par l'air inhalé par voie directe ou rétronasale, et les neurones olfactifs situés dans l'épithélium olfactif (Meierhenrich *et al.*, 2005). Cet épithélium est situé dans la muqueuse olfactive, située dans la partie haute et postérieure de chacune des deux cavités nasales (Plailly, 2005). L'épithélium olfactif est l'organe périphérique du système olfactif. Il comporte trois types de cellules: les neurones olfactifs (NO), les cellules de soutien et plusieurs types de cellules basales (Bonfils, 2014). L'extrémité dendritique de chaque NO porte une touffe de 20 à 30 cils ayant entre 50 et 200 microns de longueur. Ces cils baignent dans le mucus recouvrant l'épithélium et leur membrane est tapissée de récepteurs moléculaires au sein desquels s'effectue la transduction du message chimique en message électrique. A l'autre extrémité, les NO prolongent des axones qui se rejoignent dans le *lamina propria* sous forme d'une trentaine de filets olfactifs pour former le premier nerf crânien, aussi appelé le nerf olfactif. Ce nerf va traverser la lame criblée et l'ethmoïde (os) qui sépare la cavité nasale de la cavité cérébrale, pour se projeter sur le bulbe olfactif (Plailly, 2005) (fig. I.6).

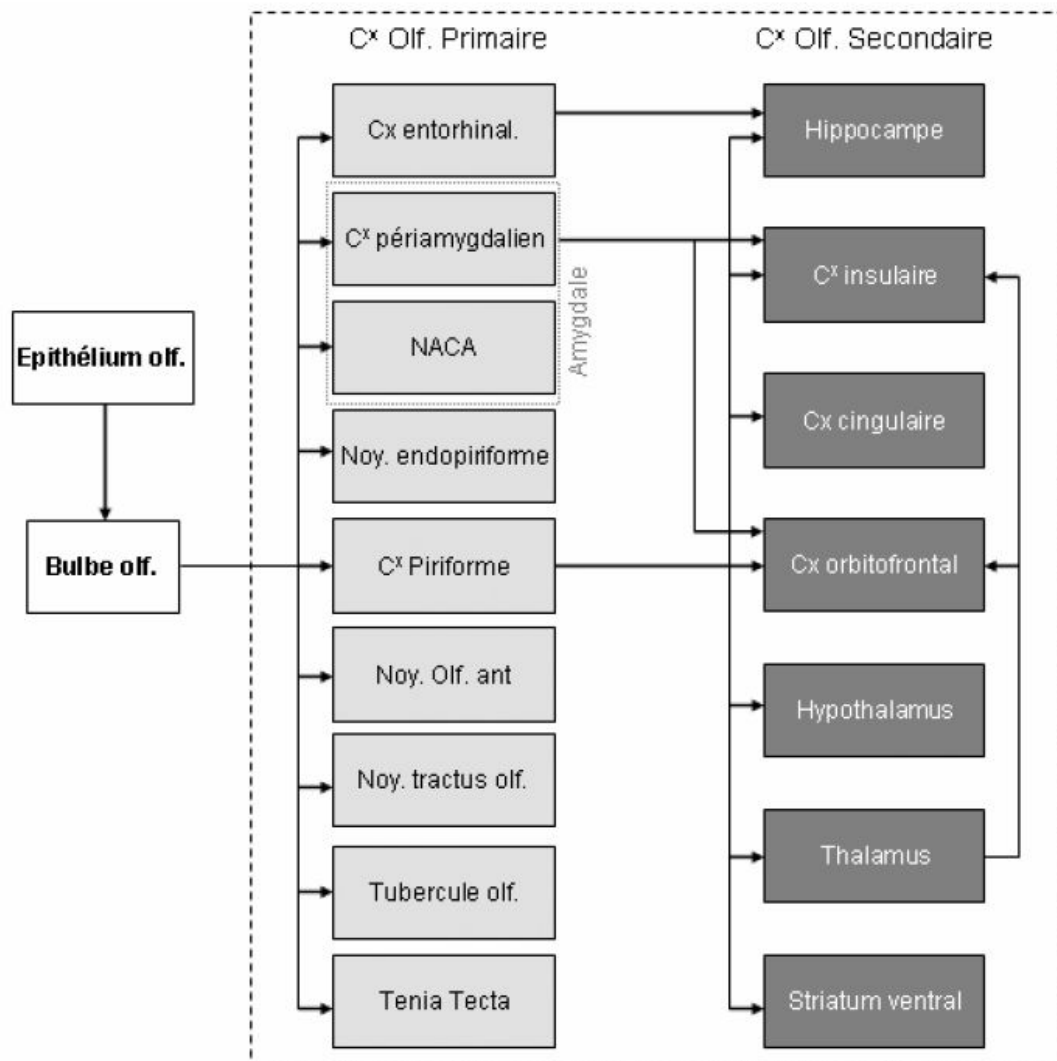


**Fig. I. 6.** Schéma du premier relais de l'information olfactive chez les êtres humains de la muqueuse olfactive au bulbe olfactif (Plailly, 2005).

### 3.2. Traitement cérébral de l'information olfactive

Dans le système olfactif, contrairement aux autres systèmes sensoriels, les messages arrivent aux régions corticales sans transiter par un relais thalamique (Haberly, 1985). En effet, les axones des neurorécepteurs olfactifs pénètrent le bulbe olfactif et se connectent avec les dendrites des deutoneurones. Les axones des deutoneurones forment le tractus olfactif latéral qui se projette directement sur le cortex olfactif primaire.

Le cortex olfactif primaire est formé de plusieurs structures : le noyau olfactif antérieur, le cortex piriforme, le tubercule olfactif, la tenia tecta ventrale, le noyau cortical antérieur de l'amygdale, le cortex périamygdalien, la partie olfactive du cortex entorhinal, le noyau endopiriforme et le noyau du tractus olfactif latéral (Plailly, 2005; Rouillet, 2006). Ces structures forment un vaste réseau largement interconnecté (fig. I.7).



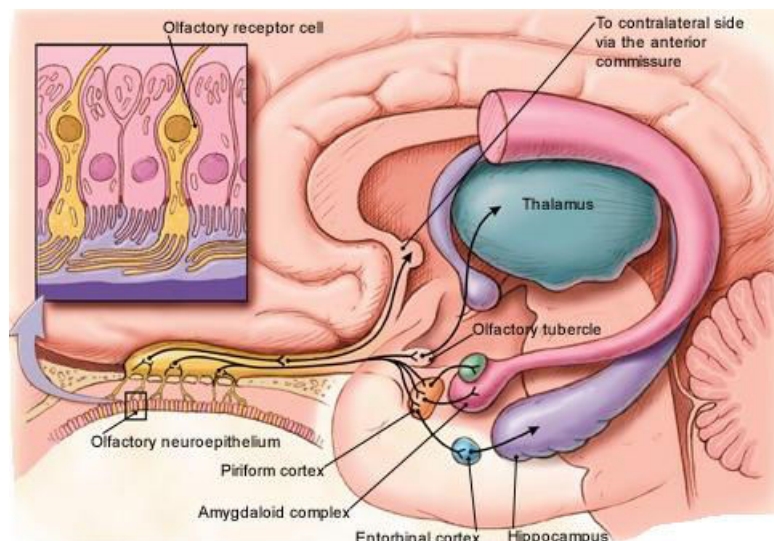
**Fig. I. 7.** Schéma des structures anatomiques codant l'information olfactive et les connexions entre-elles (Plailly, 2005).

Les aires de projections du cortex olfactif primaire constituent le cortex olfactif secondaire (Wilson *et al.*, 2002 ). Ce cortex olfactif secondaire est constitué du cortex orbitofrontal, du cortex insulaire agrulaire antérieur et du cortex cingulaire. Il est de même formé de structures sous-corticales: hippocampe, thalamus, hypothalamus et striatum ventrale (fig. I. 7).

### 3.2.1. Le cortex primaire

#### 3.2.1.1. Le cortex piriforme

Après avoir fait relais dans le bulbe olfactif, les informations olfactives sont traitées par le cortex piriforme (Salesse & Gervais, 2012) (fig. I. 8).



**Fig. I. 8.** Le cortex piriforme, le cortex entorhinal et l'amygdale (Kumar, 2011).

Le cortex piriforme est l'aire la plus étendue du cortex olfactif primaire et constitue la cible principale des afférences bulbaires (Roulet, 2006). Le cortex piriforme (aire de Brodmann 27) fait partie du cortex parahippocampique recouvrant l'amygdale. De par ses caractéristiques anatomiques et fonctionnelles, il joue un rôle important dans l'apprentissage et la mémoire olfactive (Roulet, 2006). Un dysfonctionnement au niveau du cortex piriforme entraîne inévitablement un problème de mémoire olfactive. Le cortex piriforme va participer aux apprentissages olfactifs et va stocker les informations olfactives. C'est une mémoire auto-assocative qui est capable de reconstruire un motif appris au préalable même si ce motif est partiellement dégradé ou présenté dans un contexte différent (Hasselmo *et al.*, 1990). Par conséquent, les informations olfactives ne sont pas stockées

comme une carte d'identité chimique exacte mais plutôt comme un portrait qui va permettre la reconnaissance d'une image comme un "visage" à partir de ses traits saillants (Salesse, 2015).

Le cortex piriforme est la plus grande des aires olfactives et occupe une position centrale dans le cortex olfactif primaire (Haberly & Price, 1978). On peut le dissocier en cortex piriforme antérieur (dissocié lui aussi en parties ventrale et dorsale) et postérieur, ces deux parties étant considérées comme fonctionnellement distinctes (Litaudon & Cattarelli, 1995 ; Gottfried *et al.*, 2006).

### 3.2.1.2. L'amygdale

C'est la structure limbique qui a la forme d'une amande et qui se situe ventralement par rapport au cortex piriforme (Plailly, 2005). L'amygdale a trois systèmes fonctionnels principaux. Le premier système est un système à visée olfactive qui reçoit les informations sensorielles du cortex olfactif primaire, elle module et traite cette information (l'amygdale possède le potentiel d'intégrer des informations de toutes les modalités sensorielles). Son deuxième système, est impliqué directement dans le comportement émotionnel et l'humeur comme nous le verrons plus loin. Enfin, son troisième système fonctionnel a pour rôle de moduler les fonctions viscérales en relation avec cet état émotionnel (Roulet, 2005) (fig. I. 8). Les odeurs modulent les réponses neuronales dans l'amygdale (Royet *et al.*, 2000). Ce traitement neuronal préférentiel des odeurs dans les zones cérébrales génératrices d'émotions s'explique par le fort chevauchement entre le cortex olfactif et les structures du cerveau limbique. L'amygdale, en tant que partie du cortex olfactif primaire (Carmichael *et al.*, 1994), est plus étroitement impliquée dans l'olfaction que dans toute autre modalité sensorielle. Ainsi, l'olfaction est intimement liée aux processus émotionnels partageant les mêmes bases neuronales et elle constitue ainsi un inducteur émotif précieux dans les conditions expérimentales (Billot *et al.*, 2017).

### 3.2.1.3. Le cortex entorhinal

Il constitue la partie postérieure du cortex olfactif primaire. C'est une structure corticale limbique. Ce cortex est divisé en deux parties, médiane et latérale. La partie latérale est la seule à recevoir des projections du bulbe olfactif et c'est elle qu'on considère comme le cortex entorhinal olfactif (Witter, 1993). Ce cortex se projette sur des structures corticales: le bulbe olfactif, le gyrus dentelé et la corne d'Ammon de l'hippocampe, le noyau cortical antérieur de l'amygdale et le cortex piriforme et sous-corticales: les noyaux latéral et basolatéral de l'amygdale (Plailly, 2005) (fig. I. 8).

### 3.2.2. Le cortex olfactif secondaire

Les aires de projections de cortex olfactif primaire vont constituer le cortex olfactif secondaire.

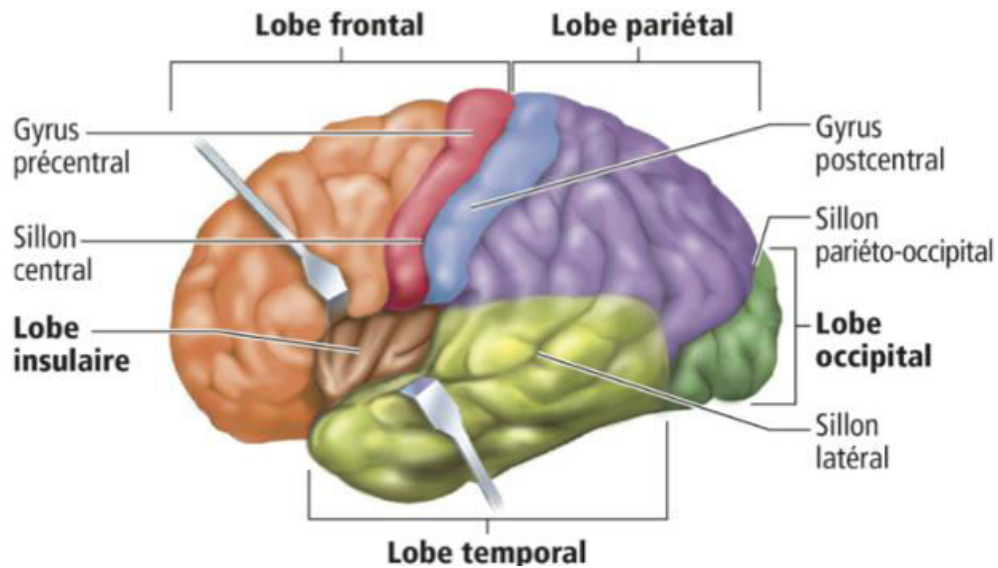
Ce cortex est formé de structures néocorticales: le cortex orbitofrontal, le cortex insulaire et le cortex cingulaire. Et est formé de structures sous-corticales: hippocampe, thalamus, hypothalamus, striatum ventral.

#### 3.2.2.1. Le cortex orbitofrontal

Il fait partie du néocortex, qui relie les sensations conscientes aux fonctions cognitives, aux fonctions de jugement et au langage. Le cortex orbitofrontal est localisé au niveau des aires préfrontales postérieures, juste aux dessus des orbites (d'où son nom). C'est une région clé dans le traitement de l'information olfactive, comme il est largement connecté avec les aires du réseau neuronal olfactif (Li *et al.*, 2010). Il possède des connexions avec l'amygdale, le cortex piriforme, le subiculum, les cortex entorhinal latéral, insulaire agranulaire, et les cortex cingulaires antérieur et postérieur, le pôle temporal et la partie antérieure du noyau médiodorsal du thalamus (Ongur & Price, 2000). Le cortex orbitofrontal est bien identifié comme une part du système olfactif secondaire mais aussi comme un lien pour l'intégration sensorielle, la modulation des réactions autonomes et la prise de décisions qui implique des composants émotionnels (Zald & Rauch, 2006). D'autres structures cérébrales décrites comme faisant partie de la perception olfactive sont impliquées dans le traitement émotionnel comme l'insula, le cortex cingulaire antérieur et l'hippocampe (Bonfils & Chevallier 2011)

#### 3.2.2.2. Le cortex insulaire

Le cortex insulaire ou insula est une structure corticale située dans la profondeur de la scissure de Sylvius (dépression linéaire à la surface du cerveau) et entièrement recouverte par les lobes frontal, pariétal, temporal et occipital (Plailly, 2005) (fig. I. 9). Sa partie antérieure, agranulaire, est une aire de projections olfactives. La partie ventrale reçoit des afférences du cortex olfactif primaire venant du cortex piriforme postérieur, de l'amygdale, du cortex entorhinal latéral, du noyau thalamique médiodorsal et des cortex orbitofrontal et cingulaire antérieur, alors que la partie antéro-dorsale ne reçoit aucune afférence olfactive (Plailly, 2005).



**Fig. I. 9.** Le cortex insulaire (Ventura, 2014).

#### 3.2.2.3. Le cortex cingulaire

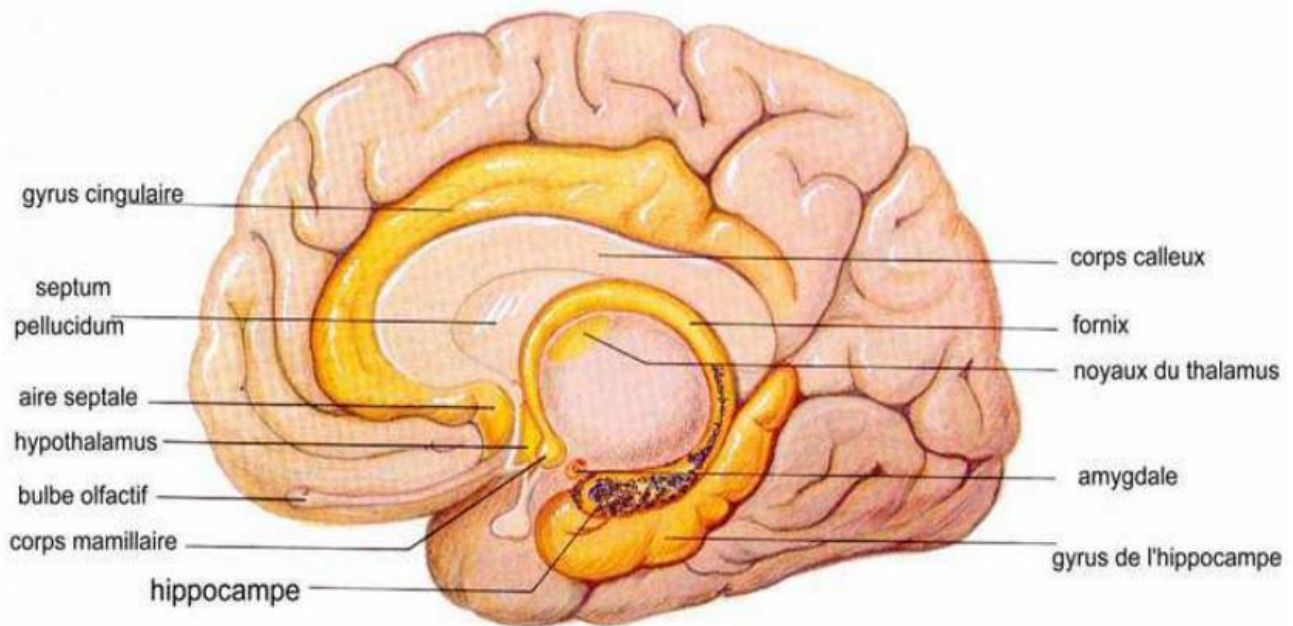
Le gyrus cingulaire borde le corps calleux, au centre du cerveau (Lefebvre, 2007) (fig. I. 10).

Sa partie antérieure agranulaire, située sous le genou du corps calleux, a des connexions avec l'amygdale et les cortex orbitofrontal et insulaire agranulaire. Il gère dans sa partie antérieure les informations émotionnelles et les manifestations neurovégétatives. Il joue un rôle d'interface important entre l'émotion et la cognition, plus précisément dans la transformation de nos sentiments en intentions et en actions (Manning, 2007).

#### 3.2.2.4. L'hippocampe

C'est une structure corticale repliée sur elle-même, enfouie au sein du lobe temporal, ventralement à l'amygdale et au cortex entorhinal (Plailly, 2005) (fig. I. 10). La majorité de ces afférences olfactives proviennent du cortex entorhinal latéral.





**Fig. I. 10.** Le cortex cingulaire (Lefebvre, 2007).

#### 3.2.2.5. Le thalamus

Comme on l'a déjà mentionné, les voies olfactives sont les seules voies sensibles à ne pas faire relais d'abord dans le thalamus. Mais après une première intégration dans le cortex olfactif primaire les informations vont arriver au thalamus, qui est un regroupement de noyaux à l'extrémité avant du tronc cérébral (Petit, 2002) (fig. I. 10).

Le thalamus reçoit des afférences olfactives des cortex piriforme, insulaire agranulaire, entorhinal latéral, du noyau cortical antérieur et de l'amygdale. Il envoie des afférences dans la quasi-totalité du cortex cérébral (Plailly, 2005).

#### 3.2.2.6. L'hypothalamus

C'est une petite structure "sous-corticale" située sous le thalamus (fig. I. 10). Elle forme avec le thalamus le diencephale. Il s'agit de la partie du cerveau qui orchestre le lien entre le système nerveux et le système hormonal (Petit, 2002).

### 3.2.2.7. Striatum Ventral

Il fait partie des ganglions de la base, il va recevoir des afférences de l'amygdale, de l'hippocampe et des cortex orbitofrontal et insulaire agranulaire (McDonald, 1991).

*En conclusion, la perception olfactive est le résultat d'un traitement cognitif tout aussi complexe que la perception visuelle. Cependant, négliger le caractère émotionnel du fonctionnement humain, revient à négliger l'un des aspects centraux du rôle du cerveau: la nécessité d'assurer les besoins adaptatifs du corps qu'il anime. Il dispose donc de larges réseaux interconnectés dont l'objectif est d'évaluer la pertinence des stimuli qui l'entourent, en lien avec son état présent, ses connaissances passées, et ses objectifs futurs.*

## 4. NOTION D'AFPECT

Ekman (1994), dans son livre « la nature de l'émotion », a déclaré que de nombreux auteurs spécialisés dans la discipline émotionnelle comme Davidson, Ekman ou Lazarus, différencient les affects par l'analyse de plusieurs critères. Ces critères sont : la vitesse d'initiation, la fréquence d'occurrence, l'aptitude à identifier les éléments d'initiation, la durée, l'effet sur l'attention, la présence d'un composant physiologique et comportemental, ses propriétés et son intentionnalité. Également, selon Robbins & Judge (2011), un affect est un terme générique qui englobe un large éventail de sentiments expérimentés. Lors de la définition du domaine d'étude de l'émotion, selon Scherer (2005) et Piolat & Bannour (2008), les psychologues comparent généralement l'émotion à de nombreux affects différents tels que l'humeur, l'attitude, les dispositions affectives et les postures interpersonnelles.

Ainsi, une émotion est un sentiment intense généré par un événement ou une interaction avec quelqu'un puis dirigé vers quelqu'un ou quelque chose (Philippot, 2007).

Un état d'humeur est généralement un sentiment moins intense que l'émotion et est dénué de stimulus contextuel (Robbins & Judge, 2011).

Alors qu'une attitude est une croyance relativement durable ainsi qu'une prédisposition aux objets, aux personnes et aux groupes ou classes d'individus (Breckler, 1984). Les attitudes ne sont pas déclenchées par les estimations de l'événement bien qu'elles puissent devenir plus importantes

lorsque la personne rencontre un objet ou des individus concernés par cette attitude (Scherer *et al.*, 2004).

Une disposition affective est définie comme des traits de personnalité et des tendances à l'action. Ces dispositions décrivent les tendances humaines pour expérimenter certains états d'esprit et les tendances pour éprouver certains types d'émotions, même lorsque la stimulation est faible (Scherer, 2005).

Finalement, une posture interpersonnelle se réfère au style émotionnel que la personne développera spontanément en interagissant avec une ou plusieurs personnes (Scherer, 2005).

De plus, selon Scherer (2005), ces affects peuvent être organisés selon leur valence positive et négative. Cette seconde configuration ne sera plus seulement basée sur des définitions, mais sur les observations cliniques et neurophysiologiques qui ont permis cette structuration selon les dimensions de l'affect et, par extension, les dimensions des émotions.

L'expérimentation animale ainsi que les observations neurophysiologiques de patients présentant des lésions du système nerveux, de même que les observations de neuro-imagerie fonctionnelle ont permis d'étudier l'organisation, et d'établir la cartographie, des régions cérébrales impliquées dans les processus émotionnels (Comté, 2015). Selon eux, les trois régions cérébrales, unanimement reconnues pour leur implication dans les processus émotionnels sont: l'amygdale, le cortex cingulaire antérieur et le cortex préfrontal (Walker & Davis, 2002; Bush *et al.*, 2000; Tushida and Fellows, 2012).

#### 4.1. L'amygdale dans le traitement émotionnel

Comme nous l'avons vu précédemment, l'amygdale constitue un lien de convergence des informations de toutes les modalités sensorielles (olfactive, gustative, viscérale, auditive et visuelle). L'amygdale entretient également de fortes connexions avec les aires polysensorielles liées à la mémoire déclarative à long terme incluant le cortex perirhinal, le cortex entorhinal, le cortex parahippocampique et l'hippocampe (McDonald, 1998). La fonction la plus souvent assignée à l'amygdale est celle du traitement de la peur (Walker and Davis, 2002), du danger et de la menace (Adolphs *et al.*, 1999) de la tristesse (Adolphs, 2002). Les études d'imagerie cérébrale ont aussi montré son engagement dans l'évaluation d'expressions faciales, de scènes, et d'expressions corporelles à connotation émotionnelles positives (Zald, 2003). Elle est impliquée à la fois dans le

traitement émotionnel conscient explicite et implicite (lorsque le sujet doit rapporter à un stimulus affectif une caractéristique non émotionnelle).

#### 4.2. Le cortex cingulaire antérieur dans le traitement de l'émotion

Ce cortex va jouer un rôle d'interface entre les processus exécutifs et attentionnels et les processus émotionnels (Allman *et al.*, 2001). Il est divisé en deux sous- régions. Une sous-région dorsale "cognitive" et une région ventrale "affective". De nombreuses études d'IRMf ont montré l'implication du cortex cingulaire antérieur ventral dans l'induction de réponses émotionnelles notamment lors de la génération de la tristesse (Mayberg *et al.*, 1999). Ce cortex ventral va jouer également un rôle important dans la régulation émotionnelle automatique donc inconsciente (Comté, 2015).

#### 4.3. Le cortex orbitofrontal dans le traitement de l'émotion

Le cortex orbitofrontal va permettre l'intégration des émotions dans la prise de décision (Soudry *et al.*, 2011). Selon Grabenhorst *et al.*, (2007), les stimuli négatifs seraient associés à une activation du cortex orbitofrontal gauche. Les stimuli plus agréables seraient associés à l'activité du cortex orbitofrontal droit. Pour d'autres auteurs, une stimulation olfactive entraînerait une activation au niveau du cortex orbitofrontal, mais cette activation ne va pas différer en fonction de la valence positive ou négative de l'odeur (Soudry *et al.*, 2011).

Comme nous l'avons souligné dans la partie précédente consacrée à l'olfaction, deux autres régions vont participer au traitement émotionnel de l'information : l'hippocampe et l'insula.

#### 4.4. L'hippocampe dans le traitement de l'émotion

L'hippocampe joue un rôle fondamental dans la mémoire à long terme, la réponse au stress et la contextualisation des expériences émotionnelles. L'hippocampe est l'une des structures cérébrales les plus étudiées dans la physiopathologie de la dépression (Soudry *et al.*, 2011).

#### 4.5. L'insula dans le traitement de l'émotion

L'insula, participe au traitement des émotions aversives et à l'intégration des sensations corporelles dans l'évaluation de l'état émotionnel. L'insula joue aussi un rôle dans les cognitions sociales, il fait le lien entre l'observation des réactions des personnes qui nous entourent (mimique, mouvement) et l'expérience émotionnelle associée, elle sous-tend l'empathie, donc la capacité de ressentir ce que l'autre ressent, dans sa composante de résonance affective (Soudry *et al.*, 2011).

*En conclusion le traitement affectif est aussi complexe que les deux traitements visuels et olfactifs. Et on remarque que plusieurs structures cérébrales décrites comme faisant partie de la perception olfactive sont impliquées dans le traitement émotionnel comme l'insula, le cortex cingulaire antérieur, l'hippocampe et le cortex orbitofrontal.*

### 5. Correspondances intermodales odeurs et couleurs

Après avoir vu un aperçu des systèmes olfactif et visuel, nous allons désormais nous intéresser aux afférences entre ces deux systèmes, et comment cela conduit à la mise en place de correspondances intermodales notamment entre odeurs-couleurs.

Malgré le fait qu'on parle généralement des sens comme des entités séparées, les informations des diverses modalités sensorielles se combinent constamment afin de pouvoir comprendre et mieux appréhender le monde qui nous entoure (Calvert *et al.*, 2004). Nos sens sont bombardés de façon quotidienne par différents stimuli sensoriels (Spence, 2011).

De nombreux travaux ont montré que chez l'homme, des correspondances constantes d'intermodalité existent. Ces correspondances intermodales ont été définies par Parise and Spence (2012), comme étant une tendance qu'a un critère sensoriel ou un attribut de modalité, physiquement présent ou imaginé, à être associé à un critère sensoriel d'une autre modalité.

Ces correspondances intermodales sont aussi nommées par Marks (2011) comme des "tendances synesthésiques". La synesthésie étant un phénomène neurologique par lequel deux ou plusieurs sens sont associés par défaut. Les correspondances diffèrent de la synesthésie, par le fait qu'elles sont relatives et malléables. Elles peuvent être contrôlées par des mécanismes cognitifs (apprentissage, entraînement) et sont acquises et non innées.

De même, selon Spence (2011), il existe trois types différents de correspondances intermodales. Le premier type est la correspondance structurale. Elle fait référence au traitement neuronal de l'information sensorielle et dépend des systèmes cognitifs. Le second type de correspondance est statistique c'est-à-dire que des correspondances intermodales récurrentes sont présentes naturellement dans notre environnement et sont acquises par apprentissage. Le troisième type concerne les correspondances sémantiques, lorsque deux dimensions sont liées ensemble suite à la signification sémantique commune des stimuli. Selon Stevenson *et al.*, (2012), le type de la correspondance intermodale a des effets sur l'aspect perceptif de ces correspondances. Ainsi, afin de déterminer si la correspondance intermodale est sémantique ou perceptif. Il faut avant tout examiner quelles caractéristiques d'odeurs (intensité, irritabilité, hédonicité, familiarité, nom) semble agir sur ces correspondances. Si les correspondances intermodales semblent s'appuyer sur des caractéristiques d'odeurs qui se rapportent d'avantage aux processus sémantiques (nom et familiarité), on peut déduire que c'est une association sémantique. De même, si les correspondances intermodales semblent s'appuyer sur des caractéristiques d'odeurs qui se rapportent d'avantage aux processus perceptifs (intensité, irritabilité, hédonisme), on peut déduire que c'est une association perceptive.

Plusieurs exemples de correspondances intermodales ont été étudiés. La première est probablement la correspondance forme-audition. Observée pour la première fois par le psychologue allemand-américain Wolfgang Köhler en 1929. Dans le cadre d'expériences psychologiques, d'abord entreprises sur l'île de Tenerife, Köhler présenta aux participants des formes (ressemblant à celles de la figure 11) et leur demanda laquelle s'appelait *takete* et laquelle *baluba* (*maluma* dans la version de 1947). Sans le déclarer explicitement, Köhler laissa entendre que se fut manifestée une préférence marquée à apparier la forme pointue à *takete*, et la forme arrondie à *baluba*. En 2001, Ramachandran *et al.*, ont repris l'expérience de Köhler avec la paire *kiki* et *bouba* (fig. I. 11), et ont demandé à des étudiants aux États-Unis de dire laquelle des deux formes est *bouba* et laquelle est *kiki* ? Entre 95 % et 98 % des sondés réunis ont associé la forme arrondie à *bouba* et la pointue à *kiki*.



**Fig. I. 11.** La forme anguleuse à gauche (Kiki) et arrondie à droite (Bouba) Ramachandran et al., (2001).

En 2013, Bremner *et al.*, on effectué le même test de Bouba et Kiki, dans l'Himba du nord de la Namibie, où vit une population éloignée avec peu d'exposition aux influences culturelles et environnementales occidentales, et qui n'utilisent pas une langue écrite. Ils ont obtenus les mêmes résultats observés par Ramachandran *et al.*, (2001). En effet, comme les Himba n'utilisent pas une langue écrite, les résultats montrent que les associations forme-audition peuvent apparaître indépendamment de toute association entre la forme et le son qui peuvent être présents dans l'orthographe. Ces données fournissent donc un soutien pour l'idée que cette association forme-audition est facilement disponible à partir des relations statistiques dans l'environnement multisensoriel.

D'autres études ont été faites sur les formes-saveurs (Gallace *et al.*, 2011), olfaction-toucher (Demattè *et al.*, 2006), vision et toucher (Martino & Marks, 2000), forme- olfaction (Seo *et al.*, 2010) etc. Dans ce doctorat, nous nous sommes intéressés à une correspondance particulière, celle démontrée entre olfaction et vision, plus précisément entre les odeurs et les couleurs.

### 5.1. Le lien odeurs – couleurs

En 1980, Dubose *et al.*, ont montré que la capacité des participants à identifier une boisson sera affectée et diminuée lorsque cette boisson est colorée de manière inappropriée, par une couleur incongrue. Lors de leurs tests, 26% des participants ont déclaré boire une boisson aromatisée au citron lorsque la boisson à la cerise était colorée en vert et 40% des participants ont déclaré que cette même boisson à la cerise était à l'orange lorsqu'elle était colorée en orange.

En 1991, Zellner *et al.* ont étudié l'effet de la couleur sur l'identification de l'odeur de solutions dans 3 conditions. La première lorsque la solution était d'une couleur congruente à l'odeur. La deuxième lorsque l'évaluation était réalisée à l'aveugle. Enfin, la troisième lorsque la solution était présentée avec des couleurs non congruentes. Ils ont ainsi montré que les sujets faisaient moins d'erreurs dans l'identification des odeurs lorsque les solutions avaient les couleurs appropriées que dans le cas des couleurs inappropriés ou de tests les yeux bandés. Ils ont donc déduit que la couleur est une variable perceptuelle importante dans l'identification des odeurs parce qu'elle aide les sujets à se concentrer sur une catégorie de couleur d'objets odorants et ainsi facilite l'identification.

En 1996, Gilbert *et al.*, ont mené deux expériences dans lesquelles les sujets devaient décrire les stimuli d'odeurs avec des termes de couleurs (expérience 1) et associer ces odeurs à des pastilles de couleur (expérience 2). L'expérience 1 a été répétée deux ans plus tard. La comparaison des deux expériences, ainsi que la répétition de la première, ont montré tous les mêmes résultats, qui mettent en évidence l'existence d'une correspondance intermodale robuste entre les couleurs et les odeurs.

En 2001, Morrot *et al.*, ont demandé à 54 œnologues de décrire du vin blanc et du vin rouge, en colorant une partie du vin blanc en rouge sans le mentionner aux participants. Cette étude a montré que le vin blanc artificiellement coloré en rouge a été décrit par des termes appartenant au champ lexical du vin rouge par ces 54 œnologues. Ainsi selon eux, le processus cognitif et sensoriel pour la détermination du lexique spécifique du vin est basé sur la couleur de ce dernier. Donc l'identification d'une odeur est le résultat d'une identification visuelle de la représentation mentale de l'objet ayant cette odeur. Pour compléter ces résultats, Ballester *et al.*, (2009) ont utilisé une méthode différente pour étudier ces associations dans le vin. Ils ont testé 18 vins (6 rouges, 6 blancs et 6 rosés) en demandant aux participants de sentir les différents types de vin et de les classer dans 3 catégories "vin rouge", "vin blanc" et "vin rosé". Ils ont ainsi montré que les gens sont en mesure de faire des catégories de vins rouge et blancs seulement à partir de la perception olfactive. Toujours, dans le domaine du vin, une autre étude a été faite pour étudier l'influence de la couleur perçue comme moteur de jugement de vins Pinot noir incluant des évaluations sensorielles de la qualité et de la typicité. Vingt-trois professionnels du vin français et 23 de la Nouvelle-Zélande ont jugé les vins Pinot Noir en provenance de France et de Nouvelle-Zélande sur une gamme d'attributs, y compris la couleur perçue (teinte, intensité et luminosité), les caractéristiques variétales et la qualité globale du vin. Les vins ont été évalués à la fois dans des verres transparents classiques où la couleur était accessible, et en verrerie opaque (noire). Les résultats ont démontré, à l'inverse de Morrot, que la couleur n'était pas un facteur majeur dans l'évaluation sensorielle des vins Pinot noir, y compris dans les jugements de la qualité du vin, bien que la couleur du vin ait eu plusieurs effets mineurs. D'autre part, les données ont montré que l'équilibre perçu d'un vin était le facteur le plus important qui conduisait les jugements de qualité pour les dégustateurs des deux cultures (Valentin *et al.*, 2016).

Dans le domaine de la parfumerie, Schifferstein et Tanudjaja (2004), quant à eux, ont montré que les parfums étaient liés aux couleurs de manière non aléatoire. Ils ont suggéré que les associations émotionnelles sous-tendent partiellement les correspondances des odeurs et des couleurs.



En 2006, Demattè *et al.* ont utilisé pour la première fois un test d'association implicite (IAT) pour étudier la rigidité de ces associations intermodales entre odeur et couleur. Selon Greenwald *et al.*, (1998), les créateurs de ce test, l'IAT est une méthode de mesure indirecte des forces associatives entre différents concepts: deux concepts dits cibles et deux concepts-attributs, chaque concept étant représenté par plusieurs exemplaires. C'est donc une méthode permettant d'étudier les associations d'idées automatiques, souvent inconscientes et présentes dans la mémoire implicite. Les participants aux expériences d'IAT doivent généralement faire des réponses de discrimination rapides aux cibles en utilisant deux touches de réponse. Le postulat est que les participants doivent être en mesure de répondre plus rapidement et/ou plus précisément aux cibles lorsque ces cibles ont des attributs en commun que lorsqu'elles n'en ont pas. Par exemple, lors d'une première tâche d'association implicite, la photo d'une personne de 20 ans s'affiche sur l'écran. Ils doivent alors préciser à quelle catégorie, en l'occurrence "vieux" *versus* "jeune", cette personne fait référence. Une seconde tâche consiste toujours à associer deux concepts mais avec quatre catégories de référence. Par exemple, en plus des catégories "vieux" et "jeunes", les catégories "bon" et "mauvais" viennent s'ajouter. Un regroupement de catégories s'effectue, vous aurez donc d'un côté "jeune et mauvais" et de l'autre "vieux et bon". L'alternative "jeune et bon" *versus* "vieux et mauvais" est ensuite proposée. Comme précédemment, un concept apparaît au centre de l'écran, il s'agit alors de le lier à la catégorie à laquelle il fait référence. Les temps mis pour lier les concepts les uns aux autres sont alors évalués. Si le temps mis pour répondre lorsque les catégories "vieux et bon" sont associées est inférieur à celui mis pour répondre lorsque les catégories "jeune et bon" sont associées, alors ceci révèle une tendance à avoir des attitudes plus positives envers les vieux qu'envers les jeunes. Inversement, s'il n'y a pas de différence significative entre les temps de réponse alors la personne a des attitudes similaires avec les membres des deux groupes étudiés et n'a dès lors pas plus de préjugés pour un groupe par rapport à l'autre.

Dans l'expérience de Demattè *et al.*, (2006), deux expériences ont donc été réalisées. Dans la première, les participants devaient associer à chacune des 6 odeurs, une couleur parmi les 10 présentées (c'était donc une association explicite). Tandis que dans la deuxième expérience ils ont utilisé l'IAT et ont demandé aux participants d'associer les stimuli visuels (patch des deux couleurs rose et turquoise) aux stimuli olfactifs (odeurs de fraise et de menthe poivrée). Ils ont ainsi pu démontrer que les associations odeurs-couleurs se font de manière non aléatoire et sont répétables mais aussi qu'elles reposent sur des bases assez solides qui peuvent être mises en évidence même de façon implicite.

## 5.2. Correspondances intermodales odeur-couleur et émotions

En ce qui concerne l'émotion, Zellner *et al.*, (1991), montrent une augmentation de l'agréabilité de l'odeur perçue lors de sa présentation avec des couleurs congruentes. Schifferstein et Tanudjaja (2004) ont trouvé une relation négative significative entre la congruence des couleurs des odeurs et la différence entre les scores des odeurs et des couleurs testées sur la dimension émotionnelle du plaisir. Ainsi les couleurs pâles (comme le jaune) ont tendance à être associées aux odeurs plaisantes, par contre les odeurs foncées comme le brun seront associées aux odeurs déplaisantes. Maric et Jacquot (2012) ont montré aussi l'effet des émotions sur les associations odeurs couleurs. Ainsi, certaines des différences de choix des couleurs (luminosité et saturation) étaient significativement corrélées à l'agréabilité de l'odeur. Selon eux, les couleurs vives ont tendance à être choisies pour des odeurs agréables, tandis que les couleurs plus foncées et plus neutres, comme le brun, le noir, le gris et le blanc, ont tendance à être choisies pour les odeurs désagréables. De même, en 2014, Levitan *et al.* ont également souligné que les couleurs influencent l'identification des odeurs ainsi que leur discrimination, leur intensité et leur agréabilité perçue.

De façon plus globale, ces dernières années ont vu la publication de plusieurs études sur le rôle des affects (en particulier des émotions) dans l'expérience des produits alimentaires (Spinelli *et al.*, 2014, Gutjar *et al.*, 2015), comment les odeurs influencent les émotions (Xiang *et al.*, 2016), le rôle des couleurs sur les émotions (Gilbert *et al.*, 2016), la relation entre les propriétés sensorielles et les émotions (Thomson *et al.*, 2010; Spinelli *et al.*, 2014; Chaya *et al.*, 2015), la relation entre émotion, choix et agréabilité (Gutjar *et al.*, 2014; Gutjar *et al.*, 2015) ou encore emballage et émotion (Schifferstein *et al.*, 2013; Labbe *et al.*, 2015). Selon Meiselman (2015), l'étude des émotions au sein de la recherche sensorielle et la recherche auprès des consommateurs a augmenté rapidement au cours des dix dernières années.

Initialement, l'étude traditionnelle des émotions portait sur les émotions négatives associées à la santé mentale et surtout à la maladie mentale. La naissance et la croissance de la psychologie positive ont conduit, ces dernières années, à la prise en compte d'émotions positives telles que le bonheur (Bongers *et al.*, 2013; Stewart *et al.*, 2010). Plusieurs méthodes pour mesurer explicitement ces émotions ont ainsi été mises en place.

Par exemple, l'échelle d'émotion et d'odeur de Genève (GEOS) de Chrea *et al.* (2009) contenait 36 émotions sur 6 dimensions, dont une seule dimension, regroupant huit émotions, était négative (tableau. I. 1). GEOS a initialement été développé pour étudier précisément les émotions associées

aux odeurs (Chrea *et al.*, 2009; Porcherot *et al.*, 2010). Par la suite, l'échelle a été appliquée à des produits non alimentaires réels (Porcherot *et al.*, 2013) et récemment à des boissons (Porcherot *et al.*, 2015).

**Tableau. I. 1.** Les 36 émotions et les 6 dimensions de GEOS (adapté selon Chrea *et al.*, 2009).

Les 6 dimensions	Les 36 émotions classées selon les 6 dimensions	Nombre d'émotions
Sentiment Désagréable	Sale - Désagréable - Dégoûté - Désagréablement surpris - Insatisfaction - Ecœurant - Irrité - En colère	8 émotions
Sensualité	Désir - Romantique - Sensuel- Amoureux - Excité - Admiration- Sexy	7 émotions
Rafrâichissement	Revitalisé - Energique - Rafrâichi - Stimulé - Revigoré - Frisonnant - Propre	7 émotions
Sentiments agréables	Agréable - Bien-être - Agréablement surpris - Sentiment d'admiration - Attirance - Bonheur	6 émotions
Relaxation	Relax - Serein - Rassuré - Léger- Apaisé	5 émotions
Plaisir sensoriel	Nostalgique - Amusement - Envi de manger ("Donne l'eau à la bouche")	3 émotions

La seconde version de GEOS est le ScentMove™ questionnaire, qui est une version simplifiée de GEOS pour l'adapter aux besoins commerciaux. Donc pour effectuer des tests plus rapide sans perdre les propriétés psychométriques de l'ensemble des échelles (Porcherot *et al.*, 2010; Porcherot *et al.*, 2012; Delplanque *et al.*, 2012). ScentMove™ comprend six dimensions illustrées chacune par trois mots (tableau. I. 2).

**Tableau. I. 2.** Les 6 dimensions de ScentMove™ chacune avec 3 émotions (Porcherot *et al.*, 2010).

Les 6 dimensions	Les émotions classées selon les 6 dimensions	Nombre d'émotions
Sentiment Désagréable	Dégoûté - Désagréablement surpris - Irrité	3 émotions
Sensualité/ Désir	Désir - Romantique - Amoureux	3 émotions
Rafrâichissement/ Energique	Energique - Revigoré - Propre	3 émotions
Sentiments agréables / Bien-être	Bien-être - Agréablement surpris - Bonheur	3 émotions
Relaxation	Relax - Serein - Rassuré	3 émotions
Plaisir sensoriel	Nostalgique - Amusement - Envi de manger ("Donne l'eau à la bouche")	3 émotions

Une seconde échelle, est le profil EsSense™ de McCormick and Co., Inc. (King & Meiselman, 2010) qui contient 39 émotions (dont 4 sont négatives) et une échelle d'agréabilité. EsSense™ a été développé pour mesurer les émotions associées aux produits alimentaires dans un environnement de consommation (tableau. I. 3). Il a été validé dans une étude qui a comparé différentes catégories d'aliments (noms et produits réels) et seulement plus récemment a été appliquée pour discriminer des produits dans une même catégorie (Cardello *et al.*, 2012; Spinelli *et al.*, 2014, Gutjar *et al.*, 2014).

**Tableau. I. 3.** EsSence<sup>TM</sup> profile (King & Meiselman, 2010)

How much you LIKE or DISLIKE (product)?

Dislike extremely	Dislike very much	Dislike moderately	Dislike slightly	Neither like nor dislike	Like slightly	Like moderately	Like very much	Like extremely
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Please select the words which describe how you FEEL RIGHT NOW. Select all that apply.

<input type="checkbox"/> Active	<input type="checkbox"/> Glad	<input type="checkbox"/> Pleasant
<input type="checkbox"/> Adventurous	<input type="checkbox"/> Good	<input type="checkbox"/> Polite
<input type="checkbox"/> Affectionate	<input type="checkbox"/> Good-natured	<input type="checkbox"/> Quiet
<input type="checkbox"/> Aggressive	<input type="checkbox"/> Guilty	<input type="checkbox"/> Satisfied
<input type="checkbox"/> Bored	<input type="checkbox"/> Happy	<input type="checkbox"/> Secure
<input type="checkbox"/> Calm	<input type="checkbox"/> Interested	<input type="checkbox"/> Steady
<input type="checkbox"/> Daring	<input type="checkbox"/> Joyful	<input type="checkbox"/> Tame
<input type="checkbox"/> Disgusted	<input type="checkbox"/> Loving	<input type="checkbox"/> Tender
<input type="checkbox"/> Eager	<input type="checkbox"/> Merry	<input type="checkbox"/> Understanding
<input type="checkbox"/> Energetic	<input type="checkbox"/> Mild	<input type="checkbox"/> Warm
<input type="checkbox"/> Enthusiastic	<input type="checkbox"/> Nostalgic	<input type="checkbox"/> Whole
<input type="checkbox"/> Free	<input type="checkbox"/> Peaceful	<input type="checkbox"/> Wild
<input type="checkbox"/> Friendly	<input type="checkbox"/> Pleased	<input type="checkbox"/> Worried

Ces deux échelles sont remarquablement différentes des anciens questionnaires d'émotions développés plus tôt dans une orientation clinique tels que le POMS ou le MAACL. Le POMS (Profil des états de l'humeur) de McNair *et al.*, (1971) est constitué de 65 termes divisés en 6 dimensions (tension, dépression, colère, fatigue, confusion, vigueur), parmi lesquelles il n'a qu'une dimension positive (vigueur). Les participants avaient une échelle pour noter chaque émotion (pas du tout, un peu, modérément, un peu plus, extrêmement).

Le MAACL (Multiple Affect Adjective Check List) (Zuckerman et Lubin, 1965) qui a deux versions. Ainsi, la première version a été révisée en 1985 (Zuckerman et Lubin, 1985) pour donner la MAACL-R. Le MAACL-R est disponible sous deux formes: petite version (66 termes) ou grande version (132 termes). Les deux sont constitués de 5 dimensions majeures. Deux de ces 5 dimensions sont positives (affects positifs, la recherche de sensation) et 3 sont négatives (anxiété, dépression, hostilité).

### 5.3. Correspondances intermodales odeur-couleur et cognition

L'une des premières études faites sur l'effet de la cognition sur les correspondances intermodales a été menée par Gottfried & Dolan (2003). Ils ont réalisé une expérience combinant les techniques de neuroimagerie et une tâche de détection olfactive. Ils ont présenté en même temps que les odeurs des images « adéquates » ou « non adéquates ». Ils ont démontré que la détection des odeurs était facilitée pour les associations congruentes de paires odeur-image qui, à leur tour, étaient corrélées avec une activité neurale accrue dans l'hippocampe antérieur et le cortex orbitofrontal rostro-médial. Ces deux zones étant, comme nous l'avons vu précédemment, fortement impliqué dans le traitement des informations olfactives.

En 2005, Österbauer *et al.*, utilisent l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle pour démontrer une corrélation neurophysiologique de ces influences visuelles intermodales sur la perception olfactive. Lors de ces tests, les sujets étaient exposés soit à des odeurs, soit à des couleurs, soit à des combinaisons couleur-odeur. L'activité dans les régions caudales du cortex orbitofrontal et dans le cortex insulaire a augmenté progressivement avec la congruence perçue des paires d'odeurs-couleurs. Ces résultats démontrent les corrélations neuronales de la modulation de la réponse olfactive par des indices de couleur dans les zones cérébrales précédemment identifiées comme codant la valeur hédonique des odeurs.

En 2014, Bensafi *et al.*, se sont concentrés sur l'identification des odeurs en les combinant à une étiquette de catégorie « source odorante » (aliment ou fleur) soit à une étiquette de catégorie « pratique » (lotion pour le corps). Ils ont constaté que l'identification des odeurs dans les deux catégories induit une activation dans les cortex insulaire perirhinal, piriforme, orbitofrontal et cingulaire, ce qui suggère que ces régions pourraient intégrer l'apport sensoriel multimodal pour produire des représentations spécifiques de la catégorie olfactive pour de nouvelles odeurs. La catégorisation permet aux organismes d'extraire efficacement des informations pertinentes à partir d'un environnement diversifié. En raison de la nature multidimensionnelle de l'espace d'odeur, cette capacité est particulièrement importante pour le système olfactif. Mais cette catégorisation repose sur l'expérience et, aujourd'hui encore, les processus par lesquels le cerveau humain forme ces représentations catégorielles sont peu clairs. En 2016, Qu *et al.* ont mis l'accent sur cette hypothèse à l'aide d'un paradigme d'apprentissage olfactif-visuel pour des odeurs nouvelles et d'autres familières. L'objectif était de caractériser l'émergence de nouvelles représentations de catégories d'odeurs. Leur étude a démontré que les régions du cortex perirhinal, du cortex orbitofrontal, du cortex piriforme, du cortex insulaire en combinaison avec des zones limbiques étaient engagées

pour créer des représentations perceptives d'odeur. Par conséquent, de nouveaux modèles d'ensemble spécifiques aux odeurs pourraient être créés en utilisant les processus de la catégorisation des stimuli visuels.

### 5.3.1. Correspondances intermodales odeur-couleur et culture

Comme nous l'avons discuté au début de cet état de l'art, l'Homme reste le "fruit" de son environnement. Par conséquent, ses habitudes, son expérience et donc ses processus cognitifs de catégorisation ou de représentation vont dépendre de sa culture. De ce fait, nombre d'études ont examiné les différences interculturelles pouvant influencer la perception des odeurs, la perception des couleurs et les associations odeurs-couleurs.

### 5.3.2. Effet de la culture sur la perception des odeurs

Un premier type d'études interculturelles s'est intéressé à l'effet de la culture sur la perception de plusieurs dimensions de l'odeur telles que la familiarité, l'agréabilité, l'intensité et la comestibilité (Pangborn *et al.*, 1988; Wysocki *et al.*, 1991; Ayabe-Kanamura *et al.*, 1998; Distel *et al.*, 1999; Aubaile Sallenave, 2000). Par exemple, en 1998, Ayabe- Kaamura *et al.* ont demandé à 40 Japonais et 44 Allemands de noter l'intensité, la familiarité, l'agréabilité et la comestibilité de 18 odeurs provenant des 2 pays. Un tiers des odorants étaient présumés être familiers aux Japonais seulement, un tiers aux Allemands et un tiers aux deux populations. Des différences significatives ont été observées entre les deux populations sur toutes les mesures. Une meilleure performance des Japonais a été observée pour les odorants "japonais" et des Allemands pour les odorants "européens" ce qui a soutenu la présélection des stimuli comme étant spécifiques à la culture. Des différences particulièrement nettes entre les deux populations ont été trouvées dans les notes d'agréabilité. En général, une relation positive a été trouvée entre l'agréable et le jugement des stimuli comme comestibles, ce qui suggère que les expériences propres à la culture, en particulier les aliments, peuvent influencer de manière significative la perception des odeurs. Des différences significatives ont également été observées entre les deux populations dans les notes d'intensité pour certains odorants. Ces différences montrent que l'expérience peut même influencer les aspects fondamentaux de la perception des odeurs comme l'intensité du stimulus.

Chr ea *et al.*, (2004) ont à leur tour évalué l'effet de la culture sur la relation entre les dimensions psychologiques sous-jacentes à la perception des odeurs et la catégorisation des odeurs. Dans une première expérience, des participants français, vietnamiens et américains ont évalué plusieurs dimensions perceptuelles d'odorants quotidiens et ont trié ces odorants en fonction de leurs

similitudes. Les résultats ont montré que les trois groupes de participants différaient dans leurs jugements perceptifs, mais ont convenu de catégoriser les odeurs en quatre groupes consensuels (floral, doux, mauvais et nature). Trois dimensions (l'agréabilité, la comestibilité et l'acceptabilité cosmétique) ont discriminé ces groupes de la même manière dans les trois pays. Dans une deuxième expérience, les participants ont trié uniquement les odeurs de fruits et de fleurs pour évaluer si un consensus émerge à un niveau plus fin. Les résultats ont montré que les participants français et américains séparaient clairement les fruits des odeurs de fleurs alors que cette séparation était inexistante pour les participants vietnamiens. Cette différence pourrait résulter de différences culturelles dans les fonctions des odeurs.

Une autre étude a été faite par Chréa *et al.*, (2005), pour étudier l'organisation des odeurs dans trois cultures en évaluant la relation entre la catégorisation linguistique et perceptuelle et l'existence d'une structure interne des catégories d'odeurs. Dans la première expérience, 3 groupes de 30 participants issus de cultures américaine, française et vietnamienne ont effectué une tâche de tri. Le premier groupe a trié 40 odorants sur la base de la similitude des odeurs, le deuxième groupe a trié 40 noms d'odeurs sur la base de la similitude des noms et le dernier groupe a trié 40 noms d'odeurs sur la base de la similitude des odeurs imaginées. Les résultats ont montré que la catégorisation des odeurs était basée sur une similarité perceptuelle ou conceptuelle et était en partie indépendante des catégorisations verbales et imaginaires. Dans leur seconde expérience, un autre groupe de 30 participants de chaque culture a évalué la typicité des odorants pour 11 catégories d'odeurs. Les résultats ont montré que certains odorants étaient classés comme plus typiques que d'autres. Ces résultats suggèrent que les catégories d'odeurs sont basées sur des similitudes perceptives plutôt que sur des indices sémantiques. En outre, la structure des catégories d'odeurs pourrait avoir une représentation centrale qui pourrait être commune à différentes cultures avec des limites qui pourraient être plus dépendantes sur le plan culturel. Ainsi selon Chréa *et al.*, (2005), tandis que la structure des couleurs en mémoire ressemble à la structure des noms de couleurs dans une langue donnée, les odeurs sont plutôt catégorisées sur la base de la similarité entre le contexte perceptif et l'odeur. Une autre différence entre les odeurs et les couleurs est qu'il est facile d'évoquer une image mentale d'une couleur juste après avoir entendu le nom de cette couleur, alors qu'une telle association entre un nom d'odeur et son image mentale semble plus difficile à accéder. Ce schéma de résultats suggère que le traitement cognitif des odeurs n'est pas tout à fait semblable au traitement des couleurs et confirme l'hypothèse selon laquelle l'encodage des odeurs se rapporte à des mécanismes cognitifs spécifiques.



### 5.3.3. Effet de la culture sur l'interprétation des couleurs

Les différences de couleurs entre les cultures ont été étudiées dans l'anthropologie culturelle, la linguistique, la psychologie, l'interface utilisateur ou la conception de sites Web, le commerce électronique et le marketing. L'interprétation symbolique des couleurs entre les pays asiatiques et occidentaux varie. Par exemple, le pourpre est une couleur perçue comme positive dans les pays asiatiques tels que la Chine, le Japon et la Corée du Sud, où elle représente l'amour et la rentabilité. Alors que dans les pays occidentaux, la couleur pourpre est souvent associée aux produits bas de gamme (Jacobs *et al.*, 1991; Sable & Ackay, 2010). D'autres couleurs telles que le blanc semblent être plus neutres entre les cultures. Cependant, de façon globale, les cultures asiatiques préfèrent de nombreuses couleurs vives tandis que les pays occidentaux préfèrent des couleurs avec une intensité minimale (Madden *et al.*, 2000).

Madden *et al.*, (2010) ont constaté que, dans certains cas, la préférence et la signification des couleurs étaient partagées entre les cultures. Par exemple, leurs participants ont aimé et ont associé des significations similaires (pacifiques, douces et apaisantes, respectivement) avec le bleu, le vert et le blanc, quelle que soit la culture dont ils sont issus. Cependant, la signification associée à certaines couleurs différait en fonction de la culture: alors que le noir était associé à la "formalité" au Brésil, en Colombie, en Chine continentale et à Taiwan, il était associé à "masculin" en Autriche, à Hong Kong et aux États-Unis (bien qu'il soit constamment perçu comme "triste" et "stable" dans toutes les cultures). Ces résultats suggèrent également qu'une couleur peut avoir plus d'une association et que sa signification peut être influencée par une variété de variables contextuelles (Wan *et al.*, 2014).

Lick *et al.*, (2016) ont mené une enquête auprès de répondants qui ont été interceptés dans les allées de vins de deux magasins d'une chaîne de supermarchés autrichienne. Les résultats indiquent que les couleurs des étiquettes ont une forte influence sur les attentes de la saveur. Bien que, par exemple, le rouge et le noir soient plus susceptibles de créer des attentes de saveurs piquantes, le rouge et l'orange sont les plus associés aux arômes fruités et fleuris. En outre, il semble que les acheteurs fréquents ont des attentes plus fortes que les acheteurs peu fréquents par rapport à la plupart des couleurs analysées.

Ces études, sans entrer dans le domaine de la symbolique des couleurs, montrent que les couleurs véhiculent des messages différents selon le contexte culturel mais surtout selon la catégorie de produits ou le type de valeurs auxquels elles vont être associées.

#### 5.3.4. Effet de la culture sur les liens odeurs-couleurs

Plusieurs études se sont intéressées spécifiquement à l'impact de la culture sur la construction du lien odeurs – couleurs.

Par exemple, Shankar, Levitan et Spence (2010) ont mené une étude conçue pour évaluer les attentes de saveur suscitées par des couleurs de boissons spécifiques chez des participants britanniques et taiwanais. Des boissons rouges, vertes, jaunes, bleues, oranges, marron et transparentes ont été présentées aux participants. Les différences interculturelles ont été documentées pour les boissons jaunes, bleues, oranges et marron. Ainsi, par exemple, les participants britanniques ont associé la couleur marron au cola, alors que les participants taiwanais l'ont associé à une saveur de raisin. Ces résultats soulignent donc l'importance de l'image olfactive qui se met en place derrière la perception guidée par la couleur des boissons.

En 2012, Piqueras-Fiszman *et al.* ont évalué, avec des participants britanniques et colombiens, les associations intermodales implicites et explicites entre la couleur et le goût de chips à partir de leurs emballages. Lors de la tâche implicite, les chercheurs ont constaté que les participants des deux pays ont répondu plus rapidement lorsqu'ils ont dû associer des chips aromatisés "nature" à la couleur bleu et "citron" à la couleur verte (une association typique en Colombie) qu'à l'association "fromage et oignon" à la couleur bleu et "sel et vinaigre" à la couleur verte (une association typique sur le marché britannique). En outre, dans la tâche explicite où les participants devaient trouver des couleurs pour des saveurs particulières de chips, certaines associations ont été partagées alors que d'autres étaient jugées idiosyncrasiques (donc particulière à chaque individu) (bien qu'elles soient partagées dans une culture). Par exemple, les croustilles aromatisées au thon et à la mayonnaise ont été associées au saumon, à la crème et aux couleurs roses dans les deux pays, mais aussi au bleu clair parmi les participants britanniques. Piqueras-Fiszman et ses collègues ont suggéré que les participants associent des couleurs et des goûts en fonction soit des associations arbitraires qui ont été apprises par une exposition répétée à une marque donnée sur le marché, soit par la couleur des ingrédients primaires par lesquels le produit se trouve être connu (en ce qui concerne les chips, cela a tendance à être la couleur des composants clés du goût).

Toujours sur les emballages de chips, Velasco *et al.*, (2014) ont comparé les réponses de participants Colombiens, Chinois et Britanniques. Ils ont pu démontrer que certaines correspondances sont cohérentes dans toutes les cultures, alors que d'autres varient. Une étude plus approfondie des données a révélé que les associations naturelles présentes dans l'environnement tels

que "tomate" et rouge ou "concombre" et vert peuvent être trouvées à travers les pays tandis que d'autres saveurs plus complexes telles que le "sel et le vinaigre" ou les arômes non précisés tels que "naturel" ou "original", ont tendance à avoir différentes associations de couleurs selon le pays. Ces dernières associations ne peuvent être cohérentes dans les pays où elles existent et ont été apprises ou internalisées par le consommateur (en Colombie, par exemple, la saveur "naturelle" est signifiée par un emballage bleu).

Lorsque l'on se détache d'une catégorie spécifique de produits, des effets culturels peuvent aussi être mis en évidence. Par exemple, Levitan *et al.*, (2014) ont testé les correspondances couleur-odeur dans 6 groupes culturels différents (résidents néerlandais, résidents-chinois, allemand, malais, malaisien-chinois et américains), en utilisant le même ensemble de 14 odeurs et en demandant aux participants de faire des choix de couleurs congruentes et non congruentes pour chaque odeur. Ils ont trouvé des modèles cohérents dans les choix de couleurs pour chaque odeur au sein de chaque culture, ce qui montre à nouveau que les participants font des associations couleur-odeur de façon non aléatoire. Cependant, les modèles variaient d'une culture à l'autre. Ils ont constaté que les participants Américains et Allemands avaient les modèles les plus semblables d'associations, suivis par les participants Allemands et Malais. Les différences de groupes les plus importantes étaient entre les participants Chinois, Malais et les résidents Néerlandais. Il apparaît donc bien que la culture joue un rôle dans les associations intermodales couleur-odeur, cependant, les explications et les critères culturels qui lient ces différents groupes sont peu explicités et donc encore très mal connus.

*En conclusion, l'ensemble de cet état de l'art avait pour objectif de mettre en relief la complexité des processus engagés, ainsi que la multidisciplinarité nécessaire, lors de l'étude d'une relation telle que le lien odeurs-couleurs. Cette problématique de recherche reste une jeune problématique puisque les premiers travaux remontent aux années 90. Il reste donc tout un champ à explorer pour en comprendre les rouages car cette relation entre l'olfaction et la vision joue un rôle prédominant dans notre vie quotidienne. Sa maîtrise ouvre de nombreuses perspectives d'application notamment en marketing commercial. En effet, l'intégration multi-sensorielle affecte l'expérience du consommateur. Le premier attribut sensoriel perçu d'un produit peut créer chez le consommateur des attentes, et une seconde sensation congruente ou non congruente peut accentuer ou à l'inverse décevoir ces attentes. Lors de l'acte d'achat, la vision est probablement le sens le plus important car la première information captée est la couleur, mais l'odeur le devient tout autant à un stade ultérieur (Fenko *et al.*, 2009; Porcherot *et al.*, 2012).*

## REFERENCES

- Adolphs, R. (2002). Recognizing emotion from facial expressions: psychological and neurological mechanism. *Behav. Cogn. Neurosci. Rev*, 1 (1), 21-62.
- Adolphs, R., Tranel, D., Hamann, S., Young, A.W., Calder, A.J., Phelps, E.A., Anderson, A., Lee, G.P. & Damasio, A.R. (1999). Recognition of facial emotion in nine individuals with bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia*, 37 (10), 1111- 1117.
- Allman, J.M., Hakeem, A., Erwin, J.M., Nimchinsky, E., & Hof, P. (2001). The anterior cingulate cortex. The evolution of an interface between emotion and cognition. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 935, 107-117.
- Aubaile Sallenave, F. (2000). Odeurs en alimentation dans quelques sociétés de Méditerranée: premiers résultats d'une enquête sur perception et reconnaissance. *Bulletin et Mémoire de la Société d'Anthropologie de Paris*, 12, 373-395.
- Ayabe-Kanamura, S., Schicker, I., Laska, M., Hudson, R., Ditsel, H., Kobayakawa, T., & Saito, S. (1998). Differences in perception of everyday odors: a Japanese- German cross- cultural study. *Chemical Senses*, 23, 31-38.
- Ballester, J., Abdi, H., Langlois, J., Peyron, D. & Valentin, D. 2009. The odor of colors: can wine experts and novices distinguish the odors of white, red, and rosé wines? *Chemosensory Perception*. 2 (4), 203-213.
- Bastir, M., Rosas, A., Gunz, P., Peña-Melian, A., Manzi, G., Harvati, K., Kruszynski, R., Stringer, C. & Hublin, J.J. (2011). Evolution of the base of the brain in highly encephalized human species. *Nat. Commun*, 2, 588.
- Belkin K., Martin R., Kemp S. E. & Gilbert A. N. (1997). Auditory pitch as a perceptual analogue to odor quality. *Psychol. Sci.* 8, 340–342
- Bensafi, M., Croy, I., Phillips, N., Rouby, C., Sezille, C., Gerber, J., Small, D.M., Hummel, T., (2014). The effect of verbal context on olfactory neural responses. *Hum. Brain Mapp.* 35, 810–818.
- Billot, P.E., Andrieu, P., Biondi, A, Vieillard, S., Moulin, T. & Millot, J.L. (2017). Cerebral bases of emotion regulation toward odours: A first approach. *Behavioural Brain Research*, 317, 37-45.
- Bonfils, P. (2014). Odorat: de l'aéroportage au cortex. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 198 (6), 1109-1122.
- Bonfils, P. & Chevallier, J.M. (2011). *Anatomie: Tome 3, ORL, 3<sup>ème</sup> édition*. Paris: Lavoisier Médecine Sciences Publications. 451 p.
- Bongers P., Jansen A., Havermans R., Roefs A., Nederkoorn C. (2013). Happy eating; the underestimated role of overeating in a positive mood. *Appetite* 67, 74–80.

- Borzakian, M., Fumey, G. & Raffard, P. (2016). "Approche culturelle et géographie de l'alimentation francophone: un rendez-vous manqué?" *Anthropology of food* [Online]. Consulté le 10 Avril 2017. URL: <http://aof.revues.org/8052>.
- Braddick, O. (2015). Occipital lobe (visual cortex): Functional Aspects. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2, 127-132.
- Breckler, S. (1985). Empirical validation of affect, behavior, and cognition as distinct components of attitude. *Journal of Personality and Social Psychology*, 47, 1191-1205.
- Bremner, A. J., Caparos, S., Davidoff, J., de Fockert, J., Linnell, K. J. & Spence, C. (2013). Bouba and Kiki in Namibia? A remote culture make similar shape-sound matches, but different shape-taste matches to westerners. *Cognition*, 26, 65-172.
- Bush, G., Luu, P. & Posner, M.I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 215-22.
- Bushdid, C., Magnasco, M.O., Vosshall, L.B. & Keller, A. (2014). Humans can discriminate more than 1 trillion olfactory stimuli. *Science*, 6177 (343), 1370-1372.
- Calvert, G.A., Spence, C. & Stein, B.E. (2004). The handbook of multisensory processes. MIT Press, Cambridge, MA.
- Cardello, A.V., Meiselman, H.L., Schitz, H.G., Craig, C., Given, Z., Lesher, L.L and Eicher, S. (2012). Measuring emotional responses to foods and food names using questionnaire. *Food Quality and Preference*, 24, 243-250.
- Carmichael, M. S., Warburton, V. L., Dixen, J., & Davidson, J. M. (1994). Relationships among cardiovascular, muscular, and oxytocin responses during human sexual activity. *Archives of Sexual Behavior*, 23, 59-79.
- Caumon, C., Mollard-Desfour, A., Vadon, C. & Valeur, B. (2010). Editions: Jean- Pierre de Monza.
- Chaya, C., Eaton, C., Hewson, L. & Hort Joanne. (2015). Developping a reduced consumer- led lexicon to measure emotional response to beer. *Food Quality and Preference*, 45, 100-112.
- Chrea, C., Grandjean, D., Delplanque, S., Cayeux, I., LeCalve, B., Aymard, L. Velazco, M., Sander, D. & Scherer, K (2009). Mapping the semantic space for the subjective experience of emotional responses to odors. *Chemical Senses*, 34, 49-62.
- Chrea, C., Valentin, D., Sulmont-Rossé, C., Hoang Nguyen, D., &Abdi, H. (2005). Semantic, typicality and odor representation: Across-cultural study. *Chemical Senses*. 30:37-49.
- Chrea, C., Valentin, D., Sulmont-Rossé, C., Ly Mai, H., Hoang Nguyen, D.,& Abdi, H. (2004). Culture and odor categorization: agreement between cultures depends upon the odors. *Food Quality and Preference*, 15,669-679.
- Chrysochou, P. & Grunert, K.G. (2014). Health- related ad informartion and health motivation effects on product evaluations. *Journal of Business Research*, 6 (7), 1209-1217.
- Comte, M. (2015). *Neuro- imagerie fonctionnelle du circuit cortico-limbique lors du traitement émotionnel chez le patient schizophrène et le volontaire sain* (en ligne). Aix- Marseille:

Ecole Doctorale Sciences de la Vie et de la Santé (Marseille). Consulté le 10 Mars 2016.  
URL: <http://www.theses.fr/2015AIXM5071>.

- Crisinel A.-S. & Spence C. (2012). A fruity note: crossmodal associations between odors and musical notes. *Chem. Senses* 37, 151–158
- Damasio, A.R. (2010). *Self comes to Mind: Constructing the conscious Brain*. New York, NY: Pantheon book.
- Delplanque, S., Chrea, C., Grandjean, D., Ferdenzi, C., Cayeux, I., Porcherot, C., Le Calvé, B., Sander, D. & Scherer, K. (2012). How to map the affective semantic space of scents. *Cognition and Emotion*, 26, 885-898.
- Delplanque, S., Chrea, C., Grandjean, D., Ferdenzi, C., Cayeux, I., Porcherot, C., Le Calvé, B., Sander, D. & Scherer, K. (2012). How to map the affective semantic space of scents. *Cognition and Emotion*, 26, 885-898.
- Delplanque, S., Grandjean, D., Chrea, C., Aymard, L., Cayeux, I., Le Calvé, B., Velazco, M., Scherer, K. & Sander, D. (2008). Emotional processing of odors: Evidence for a nonlinear relation between pleasantness and familiarity evaluations. *Chem. Senses*, 33, 469-479.
- Delwiche, J.F. (2004). The impact of perceptual interactions on perceived flavor. *Food Quality and Preference*, 15, 137-146.
- Demattè, M.L., Sanabria, D. & Spence, C. (2006). Cross-Modal associations between odors and colors. *Chemical Senses*, 31, 531-538.
- Depledge, f. & Sauvageot, f. (2002). *Evaluation sensorielle des produits alimentaires*. Technique de l'Ingénieur.
- D'Hondt, F. (2012). *Emotion et espace visuel: approche neuromagnétique neurosomatique et comportementale*. (En ligne). Thèse de doctorat en Médecine humaine et pathologie. Université du Droit et de la Santé- Lille II. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00762808/document>.
- Distel H., Ayabe-Kanamura S., Martínez-Gómez M., Schicker I., Kobayakawa T., Saito S. & Hudson, R. (1999). Perception of everyday odors: correlation between intensity, familiarity and strength of hedonic judgement. *Chem. Senses* 24, 191–199
- DuBose, C.N., Cardello, A.V. & Maller, O. (1980). Effects of colorants and flavorants on identification, perceived flavor intensity and hedonic quality of fruit-flavored beverages and cake. *Journal of Food Science*, 45, 1393-1399.
- Ekman, P. (1994). All emotions are basic. In: Davidson, R.J., Ekman, P., Scherer, K. (Series Eds.), Ekman, P., Davidson, R.J. (Vol Eds.), *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*. Oxford, New York, pp. 15-19.
- Fenko, A., Schifferstein, R. & Hekkert, P. (2009). Shifts in sensory dominance between various stages of user- product interaction. *Applied ergonomics*, 41, 34-40.

- Ferrier, L., Streff, A., Martin, S., Brouillet, D., Barkat-Defrades, M. & Jiménez, M. (2009). Influence de stimuli olfactifs dans une tâche d'évaluation hédonique de couleurs : les yeux voient ce que le nez sent. *L'Année Physiologique*, 109, 361-381.
- Fumey G. (2010). Manger local, manger global. L'alimentation géographique. Paris : CNRS Éditions.
- Gallace, A., Boschini, E. & Spence, C. (2011). On the taste of "Bouba" and "Kiki": An exploration of word-food associations in neurologically normal participants. *Cognitive Neuroscience*, 1 (2), 34-46.
- Gentaz, E. & Ballaz, C. (2000). La perception visuelle des orientations et "l'effet de l'oblique". *L'année psychologique*, 100, 715-744.
- Gibson, J.J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Gilbert, A., Fridlund, A. and Lucchina, L. (2016). The color of emotion: A metric for implicit color associations. *Food Quality and Preference*, 52, 203-210.
- Gilbert, A.N., Martin, R. & Kemp, S.E. (1996). Cross-modal correspondence between vision and olfaction: the color of smells. *Am. J. Psychol.* 109, 335–351.
- Gottfried, J.A. & Dolan, R.J. (2003). The nose smells what the eye sees: crossmodal visual facilitation of human olfactory perception. *Neuron*, 39, 375-386.
- Gottfried, J.A., Winston, J.S., & Dolan, R.J. (2006). Dissociable codes of odor quality and odorant structure in human piriform cortex. *Neuron* 49: 467-479.
- Gouvernement français. *Consommation alimentaire et état nutritionnel de la population vivant en France*. Consulté le 20 avril 2017. URL: <http://social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/conso.pdf>.
- Grabenhorst, F., Rolls, E.T., Margot, C., da Silva, M.A.A.P & Velazco, M.I. (2007). How pleasant and unpleasant stimuli combine in different brain regions: odor mixtures. *J. Neurosci*, 27, 13532-13540.
- Greenwald, A.G., McGhee, D.E. & Schwartz, J.L.K. (1998). Measuring individual differences in implicit cognition: The Implicit Association Test. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74, 1464-1480.
- Gutjar, S., de Graaf, C., Kooijman, V. & Jager, G. (2014). The role of emotions in food choice and liking. *Food Research International*, 76, 216-223.
- Gutjar, S., de Graaf, C., Kooijman, V., de Wijk, R.A., Nys, A., ter Horst, G.J. & Jager, G. (2015). *The role of emotions in food choice and liking*. *Food research international*, 76 (2), 216-223.
- Haberly, L.B. (1985). Neuronal circuitry in olfactory cortex: anatomy and functional implications. *Chemical Senses*, 10, 219-238.

- Haberly, L.B. & Price, J.L. (1978). Association and commissural fiber systems of the olfactory cortex of the rat. I- Systems originating in the piriform cortex and adjacent areas. *J comp Neurol*, 178, 711-740.
- Hasselmo, M.E., Wilson, M.A., Anderson, B.P & Bower, J.M. (1990). Associative memory function in piriform (olfactory) cortex: computational modeling and neuropharmacology. *Cold Spring Harb Symp. Quant. Biol*, 55, 599-610.
- Hendry, S.H.C & Reid, R.C. (2000). The koniocellular pathway in primate vision. *Annual review of neuroscience*, 23, 127-153.
- Hinton, P. & Henley, T. (1993). Cognitive and affective components of stimuli presented in three modes. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31 (6), 595-598.
- Holley, A. (2012). Regard biologique sur l'odorat et le goût. *Cah. Jungiens Psychanal*, 15, 27.
- Hoover, K. C. (2010). Smell with inspiration: the evolutionary significance of olfaction. *American journal of physical anthropology*, 143(S51), 63-74.
- Hordé, P., Hugnet, G. & Bossé, I. (2015). *Le livre noir des allergies*. Editeur: Archipel, 250p.
- Jacobs, L., Keown, C., Worthley, R., & Ghymn, K. (1991). Cross-cultural Colour Comparisons: Global Marketers Beware! *International Marketing Review*, 8(3), 21-30.
- Jacquot, M., Fagot, P. & Voilly, A. (2011). *La couleur des aliments: De la théorie à la pratique*. Editions: Tec & Doc. 465 p.
- Jacquot, M., Noel, F., Velasco, C.& Spence, C. (2016). On the Colours of Odours. *Chemosens. Percept.* 9, 79–93.
- Jansen, A., Vanreyten, A., Van Balveren, T., Roefs, A., Nederkoorn, C. & Havermans, R. (2008). *Appetite*, 51, 556-562.
- Kahle, W. (2007). Anatomie, Tome 3. *Système nerveux et organes des sens*. Paris: Flammarion Médecine-Sciences, 423 p.
- Kemp, S.E., & Gilbert A.N. (1997). Odor intensity and color lightness are correlated sensory dimensions. *American Journal of Psychology*, 11, 35-46.
- King, S. and Meiselman, H. (2010). Development of a method to measure consumer emotions associated with foods, *Food Quality and Preference*, 21, 168-177.
- Klimchuk, M.R. & Krasovec, S.A. (2012). Packaging design: successful product branding from concept to shelf. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons.
- Kroeber, A. L. & Kluckhohn C. (1952). Culture, A Critical Review of Concepts and Definitions. Cambridge Mass, Harvard University. 223 p.
- Köhler, W. (1929). Traduction française *La psychologie de la forme*. Gallimard, Paris.
- Kumar, S. (2011). *The Neural Basis of Olfaction*. Yale Sci. Mag.



- Kurt Nassau. Colour. Dans *Encyclopaedia Britannica* en ligne. Consulté le: 19 Avril 2017. URL: <http://global.britannica.com/science/color>.
- Larousse en ligne. "Culture". Consulté le 20 avril 2017. URL: <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/culture/21072>.
- Lefebvre, L. (2007). La réorganisation fonctionnelle des aires cérébrales du langage et de l'organisation visuospatiale. Influence des régularités environnementales lors d'un entraînement non verbal: études en IRMf (en ligne). Bruxelles: Académie universitaire Wallonie- Bruxelles. Consulté le 10 janvier 2017. URL: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-00134711/document>.
- Legrand, Y. (1956). *Optique physiologique, tome 3. L'Espace Visuel*. Masson Editeur Paris, 32 p.
- Lenclud, G. (2006). La nature des odeurs (remarques). *Terrain Anthropol. Sci. Hum*, 5–18.
- Levitan, C., Ren, J., Woods, A., Boesveldt, S., Chan, J., McKenzie, K., Dodson, M., Levin, J., Leong, C., Van den Bosch, J. (2014). Cross-Cultural Color-Odor Associations. Available at Plosone:<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0101651>.
- Li, W., Lopez, L., Osher, J., Howard, J.D., Parrish, T.B., & Gottfried, J.A. (2010). Right Orbitofrontal Cortex Mediates Conscious Olfactory Perception. *Psychol. Sci.* 21, 1454–1463.
- Lick, E., König, B., Régis Kpoussa, M. & Buller, V. (2016). Sensory expectations generated by colours of red wine labels. *Journal of Retailing and Consumer Services*. (in press). URL: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.usek.edu.lb/science/article/pii/S0969698916301588>
- Litaudon, P. & Cattarelli, M. (1995). Piriform cortex late activity revealed functional spatial heterogeneity. *Neuroreport*, 6, 1377-1380.
- Madden T. J., Hewett K. and Roth, M. S. (2000), Managing Images in Different Cultures: A Cross-National Study of Color Meanings and Preferences. *Journal of International Marketing*, 8 (4), 90-107.
- Malinowski, B. (1931). "Culture ", *Encyclopedia of Social Sciences*, 4, 621-646.
- Manning, L. (2007). *La neuropsychologie clinique. Approche cognitive*. 296p. Editeur: Armand Colin.
- Maric, Y. & Jacquot, M. (2013). Contribution to understanding odour–colour associations. *Food Qual. Prefer., Ninth Pangborn Sensory Science Symposium* 27, 191–195.
- Maric, Y., Barbar, R. & Jacquot, M. (2012). As pink as an orange blossom odour: a French-Lebanese cross-cultural study. *Proceedings of AIC Colour 2012. Interim Meeting of the International Colour Association*.
- Marks, L.E. (2011). Synesthesia, then and now. *Intellectica*, 55, 47-80
- Martini FH, Timmons MJ, Tallitsch RB. (2012). *Human Anatomy*. (7th Édition). San Francisco: Pearson Benjamin Cummings.

- Martino, G., & Marks, L. E. (2000). Cross-modal interaction between vision and touch: The role of synesthetic correspondence. *Perception, 29*, 745-754
- Mayberg, H.S., Lozano, A.M., Voon, V., McNeely, H.E., Seminowicz, D., Hamani, C., Schwalb, J.M. & Kennedy, S.H. (2005). Deep brain stimulation for treatment-resistant depression. *Neuron, 45*(5), 651-660.
- Mayberg, H.S., Liotti, M., Brannan, S.K., McGinnis, S., Mahurin, R.K., Jerabek, P.A., Silva, J.A., Tekell, J.L., Martin, C.C. & Fox, P.T. (1999). Reciprocal limbic-cortical function and negative mood: converging PET findings in depression and normal sadness. *Am. J. Psychiatry, 156*, 675-682.
- McDonald, A.J. (1991). Organization of amygdaloid projections to the prefrontal cortex and associated striatum in the rat. *Neuroscience, 44*, 1-14.
- McDonald, A.J. (1998). Cortical pathways to the mammalian amygdala. *Prog. Neurobiol, 55* (3), 257-332.
- McNair, D. M., Lorr, M., & Droppleman, L. F. (1971). *Manual for the Profile of Mood States*. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Services.
- Meary, D. (2010). *Perception visuelle des mouvements humains: Analyse comportementale, neuroimagerie et neuropathologie* (en ligne). Grenoble: Université Pierre Mendès France, Grenoble. 209 p. Consulté le 18 avril 2017. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00464923/document>.
- Meierhenrich, U., Golebiowsky, J., Frenandez, X. & Cabrol- Bass, D. (2005). De la molécule à l'odeur. Les bases moléculaires des premières étapes de l'olfaction. *L'actualité chimique, 289*.
- Meiselman, H.L. (2015). A review of the current state of emotion research in product development. *Food Research International, 76*, 192-199.
- Moreau, L. (2014). *Organes- Système Nerveux Central*. Consulté le 19 Avril 2017. URL: <http://laurinemoreau.com/ressource-images/systeme-nerveux-central-cerveau-organes>.
- Morrot, G., Brochet, F., & Dubourdiou, D. (2001). The color of odors. *Brain and Language, 79*, 309-20.
- Nicola-Antoniou, I., (2011). *Olfactory Dysfunctions in Alzheimer's Disease*. doi:10.5772/23580.
- Ongur, D. & Price, J.L. (2000) The organization of networks within the orbital and medial prefrontal cortex of rats, monkeys and humans. *Cerebral Cortex, 10*, 206-219.
- Österbauer, R.A., Matthews, P.M., Jenkinson, M., Beckmann, C.F., Hansen, P.C., & Calvert, G.A. (2005). The color of scents: Chromatic stimuli modulate odor responses in the human brain. *Journal of Neurophysiology, 2*, 1-25.
- Palou, A. (Paris, 2011, 24 Janvier). " Pourquoi tant de nostalgie?". *Le Figaro*. On the site [lefigaro.fr](http://www.lefigaro.fr). Consulted in the 24th of Juin 2016. <http://www.lefigaro.fr/culture/2011/01/24/03004-20110124ARTFIG00431-pourquoi-tant-de-nostalgie.php>.

- Pangborn, R.M., Guinard, J.X. & Davis, R.G. (1988). Regional aroma preferences. *Food Quality and Preference*, 1, 11-19.
- Parise, C.V. & Spence, C. (2012). Audiovisual crossmodal correspondences and sound symbolism: An IAT study. *Experimental Brain Research*, 220, 319-333.
- Peryam, D.R. & Pilgrim, F.J. (1957). Hedonic scale method of measuring food preferences. *Food Technology*, 11, 9-14.
- Petit, L. (2002). Les noyaux gris centraux. In Houde, O., Mazoyer, B. & Tzourio-Mazoyer, N. (Eds). *Cerveau et psychologie. Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnel*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Philippot, P. (2007). *Emotion et psychothérapie*. Editions Margada. 250 p.
- Pilgrim, F.J. (1961). What foods do people accept or reject? Group attitudes and behavior toward food. *Journal of American Dietetic Association*, 38, 439-443.
- Piqueras- Fiszman, B., Velasco, C. & Spence, C. (2011). Exploring implicit and explicit crossmodal colour- flavour correspondences in product packaging. *Food Quality and Preference*, 25, 148-155.
- Piolat, A. & Bannour, R. (2008). Emotions et affects: Contribution de la psychologie cognitive. In Nagy, P. & Boquet, D. (eds). *Le sujet des émotions au Moyen Age*. Paris: Beauchesse Editeur, 53-84 p.
- Plailly, J (2005). *La mémoire olfactive humaine: Neuroanatomie fonctionnelle de la discrimination et du jugement de la familiarité (en ligne)*. Lyon: Université Lumière Lyon 2. 236p. Consulté le 20 Avril 2017. URL: <https://www.theses.fr/110067266>.
- Porcherot, C., Delplanque, S., Gaudreau, N. & Cayeux, I. (2013). Seeing, smelling, feeling! Is there an influence of color on subjective affective responses to perfumed fabric softeners? *Food Quality and Preference*, 27 (2), 161-169.
- Porcherot, C., Delplanque, S., Planchais, A., Gaudreau, N., Accolla, R. & Cayeux, I. (2012). Influence of food odorant names on the verbal measurement of emotions. *Food Quality and Preference*, 23, 125-133.
- Porcherot, C., Delplanque, S., Raviot-Derrien, S., Calvé, B.L., Chrea, C., Gaudreau, N. & Cayeux, I. (2010). How do you feel when you smell this? optimization of a verbal measurement of odor-elicited emotions. *Food Quality and Preference*, 21, 938-947
- Porcherot, C., Petit, E., Giboreau, A., Gaudreau, N. & Cayeux, I. (2015). Measurement of self-reported affective feelings when an aperitif is consumed in an ecological setting. *Food Quality and Preference*, 39, 277-284.
- Protopopescu, X., Pan., H., Altemus, M., Tuescher, O., Polanecsky, M., McEwen, B., Silbersweig, D. & Stern, E. (2005). Orbitofrontal cortex activity related to emotional processing changes across the menstrual cycle. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 204(44), 16060-16065.

- Przybylski, A. W., Gaska, J.P., Foote, W. & Pollen, D.A. (2000). Striate cortex increases contrast gain of macaque LGN neurons. *Visual neuroscience*, 17, 4, 485-494.
- Purves, D., Augustine, G.J., Fitzpatrick, D., Katz, L.C., LaMantina, A.S., McNamara, J.O. & Williams, S.M. (Eds). (2001). *Neuroscience*. Sunderland, MA: Sinauer Associate.
- Qu, L.P., Kahnt, T., Cole, S.M., Gottfried, J.A. (2016). De Novo Emergence of Odor Category Representations in the Human Brain. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* 36, 468–478.
- Ramachandran, V. S., & Hubbard, E. M. (2001). Synaesthesia, A window into perception, thought and language. *Journal of Consciousness Studies*, 8, 3–34.
- Reppas, J.B., Niyogi, S., Dale, A.M., Sereno, M.I. & Tootell, R.B.H. (1997). Representation of motion boundaries in retinotopic human visual cortical areas. *Nature*, 388, 175-179.
- Robbins, S. & Judge, T. (2011). *Comportements organisationnels*. Pearson Education France.
- Robert- Ouvray. S. (2010). *Intégration motrice et développement psychique: Une théorie de la psychomotricité*. Desclée De Brower (Eds). 280 p.
- Rocher, G. (1992). *Introduction à la Sociologie Générale*. Montréal: Editions Hurtubise. 685p.
- Rogers, P.J. & Hill, A.J. (1989). Breakdown of dietary restraint following mere exposure to food stimuli: interrelationships between restraint, hunger, salivation, and food intake. *Addictive behaviors*, 14 (4), 387-397.
- Roulet, F.I. (2006). *Rôle du cortex piriforme dans la mémoire olfactive: une étude comportementale et anatomo- fonctionnelle à l'aide de la détection immunohistochimique de la protéine Fos (en ligne)*. Bourgogne: Université de Bourgogne. 186 p. Consulté le 10 Janvier 2017. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00012088/document>.
- Rouquier, S., Blancher, A., Giorgi, D. (2000). The olfactory receptor gene repertoire in primates and mouse: Evidence for reduction of the functional fraction in primates. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 97, 2870–2874.
- Royet, J.P., Zald, D., Versace, R., Costes, N., Lavenne, F., Koenig, O. & Gervais, R. (2000). Emotional responses to pleasant and unpleasant olfactory, visual, and auditory stimuli: a positron emission tomography study. *J. Neurosci.* , 20, 7752–7759.
- Sable P. and Akcay O. (2010), Color: Cross Cultural Marketing Perspectives as to what Governs our Response to it. *Proceedings of ASBBS* , 17 (1), 950-954
- Salesse, R. (2015). *Faut- il sentir bon pour séduire?* 200p. Edition: Quae.
- Salesse, R. & Gervais, R. (2012). *Odorat et goût. De la neurobiologie des sens chimique aux applications*. 550p. Edition: Quae.
- Scadding, S. R. (1981) "Do 'Vestigial Organs' Provide Evidence for Evolution?" *Evolutionary Theory*, 5, 173-176.
- Schauss, A. (1985). The physiological effect of color on the suppression of human aggression: research on Baker- Miller pink. *Int J Biosocial Res.*, 7 (2), 55-64.

- Scherer, K. R. (2005). What are emotions? And how can they be measured? *Social Science Information, 44*, 693-727.
- Scherer K. R., Zentner M. R. & Stern D. (2004). Beyond surprise: the puzzle of infants' expressive reactions to expectancy violation. *Emotion 4*, 389–402.
- Schifferstein, H.N.J., Fenko, A., Desmet, P.M.A., Labbe, D. & Martin, N. (2013). Influence of package design on the dynamics of multisensory and emotional food experience. *Food Quality and Preference 27*, 18-25.
- Schifferstein, R. & Tanudjaja, I. (2004). Visualising fragrances through colours: The mediating role of emotions. *Perception, 33(10)*, 1249-1266.
- Schutz, H.G. (1957). Performance ratings as predictors of consumption. *American Psychologist, 12*, 380.
- Seo, H.S., Arshamian, A., Schemmer, K., Scheer, I., Sander, T., Ritter, G., & Hummel, T. (2010). Crossmodal integration between odors and abstract symbols. *Neuroscience Letters, 478*, 175-178.
- Shankar, M.U., Levitan, C. & Spence, C. (2010). Grape expectations: The role of cognitive influences in color–flavor interactions. *Consciousness & Cognition, 19*, 380–390.
- Sosa, M., Cardinal, P., Contarini, A., & Hough, G. (2015). Food choice and emotions: Comparison between low and middle income populations. *Food Research International, 76*, 253-260.
- Soudry, Y., Lemogne, C., Malinvaud, D., Consoli, S.M. & Bonfils, P. (2011). Olfactory system and emotion: common substrates. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis 128*, 18–23.
- Spector, F. & Maurer, D. (2012). Making sense of scents: the colour and texture of odours. *Seeing Perceiving, 25*, 655-677.
- Spence, C. (2002). *The ICI report on the secret of the senses*. London: The Communication Group.
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception & Psychophysics, 73*, 971-995.
- Spence, C. (2016). The neuroscience of flavor. *Multisensory Flavor Perception, 235-248*.
- Spence, C. & Piqueras-Fiszman, B. (2014). *The perfect meal: The multisensory science of food and dining*. Oxford: Wiley- Blackwell.
- Spinelli, S., Masi, C., Dinnella, C., Zoboli, G.P. & Monteleone, E. (2014). How does it make you feel? A new approach to measuring emotions in food product experience. *Food Quality and Preference, 37*, 109-122.
- Spinelli, S., Masi, C., Zoboli, G.P. & Monteleone, E. (2015). Emotional responses to branded and unbranded foods. *Food Quality and Preference, 42*, 1-11.

- Sterling, P. (2004). How retinal circuits optimize the transfer of visual information. In Chalupa, L. & Werner, J.C. (Eds). *The visual neurosciences*. pp. 234-259. Cambridge, MA:MIT press.
- Stevens, J.C. & Marks, L.E. (1956). Cross- modality matching of brightness and loudness. *Proceedings of the National Academy of Sciences, United States*, 54, 407-411.
- Stevenson, R.J., Rich, A. & Russell, A. (2012). The nature and origin of cross-modal associations to odours. *Perception*. 41(5), 606.
- Stillman, J.A. (2002). Gustation: Intersensory experience par excellence. *Perception*, 31, 1491-1500.
- Thomson, D. M., Crocker, C., & Marketo, C. G. (2010). Linking sensory characteristics to emotions: An example using dark chocolate. *Food quality and preference*, 21(8), 1117-1125.
- Tsuchida, A. & Fellows, L.K. (2012). Are you upset? Distinct roles for orbitofrontal and lateral prefrontal cortex in detecting and distinguishing facial expressions of emotion. *Cereb Cortex*, 22, 2904–2912.
- Tylor, E.B. (1871). *Primitive Culture: Researches into the development of mythology, philosophy, religion, art and custom*. Londres: Murray. 426 p.
- Valentin, D., Parr, W., Peyron, D., Grose, C. & Ballester, J. (2016). Colour as a driver of Pinot noir wine quality judgments: An investigation involving French and New Zealand wine professionals. *Food Quality and Preference*, 48, 251-261.
- Velasco, C., Wan, X., Salgado- Montejó, A., Woods, A., Andrés Oñate, G., Mu, B. & Spence, C. (2014). The context of colour- flavour associations in crisps packaging: A cross-cultural study comparing Chinese, Colombian and British consumers. *Food Quality and Preference*, 38, 49-57.
- Ventura, E., 2014. *Quelques bases en neuroanatomie*. Elodie Ventura.
- Vignal- Clermont, C. (2016). *Neuro-ophtalmologie*. Elsevier Masson. 320p.
- Walker, D.L. & Davis, M. (2002). The role of amygdala glutamate receptors in fear learning, fear-potentiated startle, and extinction. *Pharmacol. Biochem. Behav.*, 71(3), 379-392.
- Wan, X., Woods, A., Van de Bosch, J., McKenzie, K., Velasco, C., & Spence, C. (2014). Cross-cultural differences in crossmodal correspondences between basic tastes and visual features. *Frontiers in Psychology*, 5, 1965.
- Wandell, B. (1995). Color Appearance: The effects of illumination and spatial pattern. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, 21, 9778-9784.
- Wilson, J.L., Jenkinson, M., De Araujo, I., Kringelbach, M.L., Rolls, E.T. & Jezzard, P. (2002). Fast, fully automated global and local magnetic field optimization for fMRI of the human brain. *Neuroimage*, 7, 967-976.
- Witter, M.P. (1993). organization of the entorhinal- hippocampal system: a review of current anatomical data. *Hippocampus*, 3, 33-44.

- Wysocki, C.J., Pierce, J.D. & Gilbert, A.N. (1991) Geographic, cross-cultural, and individual variation in human olfaction. In Getchell, T.V., Doty, R.L., Bartoshuk, L.M. and Snow, J.B. (eds). *Smell and Taste in Health and Disease*. Raven Press, New York, pp. 287–314.
- Xiang, W., Chen, S., Sun, L., Cheng, S. & Bove, V. M. (2016). Odor emoticon: An olfactory application that conveys emotions. *International Journal of Human-Computer Studies*, *91*, 52-61.
- Yau, J.M., Weber, A. & Bensmaia. (2010). Separate Mechanisms for Audio- Tactile Pitch and Loudness Interactions. *Front Psychol*, *1*, 1-160.
- Zald, D.H. (2003). The human amygdala and the emotional evaluation of sensory stimuli. *Brain Res. Rev*, *41(1)*, 88-123.
- Zald, D.H. & Rauch, S.L. (2006). *The orbitofrontal cortex*. New York: Oxford University Press.
- Zampini, M., Sanabria, D., Phillips, N & Spence, C. (2007). The multisensory perception of flavor: Assessing the influence of color cues on flavor discrimination responses. *Food Quality and Preference*, *18*, 975-984.
- Zellner, D.A. & Kautz, M.A. (1990). Color affects perceived odor intensity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*, 391-197.
- Zellner, D.A., Bartoli, A.M. & Eckard, R. (1991). Influence of color on odor identification and liking ratings. *Am. J. Psychol.* *104*, 547–561.
- Zellner, D.A., McGarry, A., Mattern-McClory, R. & Abreu, D. (2008) Masculinity/femininity of fine fragrances affects color–odor correspondences: a case for cognitions influencing cross-modal correspondences. *Chem Senses* *33*:211–222.
- Zuckerman, M., & Lubin, B. (1965). *Manual for the Multiple Affect Adjective Check List*. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service.
- Zuckerman, M. & Lubin, B. (1985). *The multiple affect adjective check list revised*. Sam Diego: Educational and Industrial Testing Service.





## **CHAPITRE II : LE LIEN ODEUR- COULEUR ET LA CULTURE**

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>55</b>
<b>A B S T R A C T</b> .....	<b>57</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>57</b>
<b>2. MATERIALS AND METHODS</b> .....	<b>59</b>
2.1. PARTICIPANTS .....	59
2.2. OLFACTORY STIMULI .....	59
2.3. COLOR SAMPLES .....	59
2.4. TASK LOCATION AND PROCEDURE .....	59
2.5. DATA ANALYSIS .....	59
<b>3. RESULTS</b> .....	<b>59</b>
3.1. ODOR–COLOR ASSOCIATIONS .....	59
3.1.1. Intracultural analysis.....	59
3.1.2. Intercultural analysis.....	59
3.1.2.1. Odor–color associations for pineapple. ....	60
3.1.2.2. Odor–color associations for wild strawberry.....	61
3.1.3. Odor–color associations for shallot .....	61
3.1.4. Odor–color associations for orange-blossom .....	61
3.2. CORRELATIONS BETWEEN DESCRIPTORS.....	61
<b>4. DISCUSSION</b> .....	<b>63</b>
<b>5. CONCLUSIONS</b> .....	<b>64</b>
<b>REFERENCES</b> .....	<b>65</b>

## INTRODUCTION

Le terme "culture" a toujours occupé une place prépondérante en anthropologie, notamment dans les pays développés. Pour l'anthropologue britannique évolutionniste Edward Burnett Tylor (1832-1917), qui fut le premier dans son ouvrage (*Primitive Culture*) à aborder les faits culturels avec une visée générale et systématique et qui posa les prémisses de l'autonomie de l'anthropologie sociale, la culture se définit par "L'ensemble complexe qui englobe les connaissances, les croyances, les arts, la morale, les lois, les coutumes, et tout autre capacité et habitude acquise par l'Homme en tant que membre d'une société". En somme, tout ce qui se transmet de façon non héréditaire à l'homme d'une génération à une autre.

Afin de contribuer à la compréhension de l'implication de la culture dans les correspondances intermodales odeur-couleur, l'étude suivante a été réalisée dans trois pays différents: la France, le Liban et Taïwan. La France est un *État transcontinental souverain*, dont le *territoire métropolitain* est situé en *Europe de l'Ouest*. Le Liban est un pays du Moyen-Orient situé sur les côtes orientales de la Méditerranée et Taïwan, un *état souverain* d'Asie de l'Est. Ces états ont été choisis essentiellement parce qu'ils reflètent une certaine diversité, en terme d'habitudes alimentaires, de différences environnementales et de climat. Il est donc possible d'émettre comme première hypothèse que ces différences vont moduler le lien entre les odeurs et les couleurs. En effet selon Wan *et al.*, (2014), les différences culturelles peuvent affecter les correspondances intermodales entre la flaveur et les stimuli visuels sans oublier l'impact également que peuvent avoir les différences démographiques, géographiques, le climat et l'agriculture spécifique de chaque pays. Sachant, cependant, que le Liban a été sous mandat français entre les années 1920 et 1943, et que suite à ce mandat les Libanais et les Français partagent certaines habitudes culinaires et culturelles, cela implique raisonnablement une moindre différence culturelle au niveau du lien odeur-couleur, entre le Liban et la France qu'entre le Liban et Taïwan ou France et Taïwan.

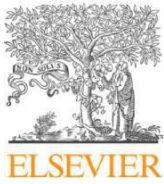
L'ensemble des tests ont été réalisés dans des salles d'analyse sensorielle dans chaque pays. La méthode utilisée consistait à présenter aux participants des stimuli olfactifs accompagnés de stimuli visuels. Les participants devaient associer 16 odeurs alimentaires et florales à des couleurs présentées sous la forme d'une palette de 24 patches colorés. Les 16 stimuli olfactifs ont été classés en 4 groupes d'odeurs selon la classification de Chréa *et al.*, (2005): odeurs florales (lavande, fleur d'oranger, rose et violette), odeurs sucrées (caramel, mirabelle à faible intensité, mirabelle à forte intensité, ananas et fraises des bois), mauvaises odeurs (fumé) et enfin odeurs de la nature (concombre, citron, citron vert, menthe, menthe poivrée et échalote).

Les résultats obtenus ont mis en évidence, comme on le prévoyait, l'effet des différences culturelles sur le lien odeur-couleur. En effet, 4 odeurs ont été significativement différentes en terme d'association odeur-couleur entre le Liban et la France, 10 odeurs ont été significativement différentes entre le Liban et Taiwan et 10 autres odeurs entre la France et Taiwan, toujours en terme d'associations odeurs-couleurs. Comme attendu, les différences entre Liban et France sont moins marquées ce qui est dû à l'échange culturel assez fort ayant eu lieu lors du mandat Français.

Avec cette étude, nous avons mis en évidence l'effet de deux phénomènes qui ont modulé l'association entre les odeurs et les couleurs.

Le premier phénomène est la fonction de l'odeur dans un pays déterminé, elle-même influencée par le milieu culturel de ce pays. Ainsi si la fonction, c'est à dire l'usage de l'odeur ou de l'objet odorant qu'elle représente, est similaire dans chaque pays, les associations odeurs – couleurs sont similaires. Si, la fonction est différente, dans ce cas, l'odeur sera associée à des couleurs différentes.

Le second phénomène est le type même de l'association entre l'odeur et la couleur. Cette association peut être soit du type sémantique soit du type perceptif. Ce second phénomène est moins dépendant du milieu culturel que la fonction de l'odeur. Afin de différencier les 2 types d'association, sémantique ou perceptif, il faut déterminer les caractéristiques de l'odeur utilisées pour construire le lien avec la couleur (Spence, 2011). Lorsque la correspondance intermodale se base sur la reconnaissance de l'odeur, qu'elle soit juste ou fausse, l'association est dite de type sémantique. Lorsque la correspondance intermodale se base sur l'intensité, l'irritabilité ou la valence hédonique de l'odeur, l'association est dite de type perceptive (Spence, 2011). En d'autres termes, lorsqu'un participant reconnaît une odeur, il aura tendance à choisir une couleur qui, pour lui, représente la source olfactive identifiée. Cependant, lorsque cette reconnaissance n'a pas lieu, le participant classera intuitivement l'odeur dans une grande famille olfactive (florale, fruitée, végétale ou animale ...), puis s'appuiera sur cette catégorisation pour déterminer la couleur qui représente le mieux cette catégorie.

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

## Food Quality and Preference

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/foodqual](http://www.elsevier.com/locate/foodqual)

## Influence of odor function and color symbolism in odor–color associations: A French–Lebanese–Taiwanese cross-cultural study

Léa Nehmé<sup>a</sup>, Reine Barbar<sup>b,†</sup>, Yelena Maric<sup>c</sup>, Muriel Jacquot<sup>d</sup><sup>a</sup> LIBio (Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules), Université de Lorraine, 2 avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54505 Vandoeuvre-lès-Nancy, France<sup>b</sup> Department of Food Science, Faculty of Agricultural and Food Sciences, Holy Spirit University of Kaslik (USEK), Lebanon, P.O. BOX 446, Jounieh, Lebanon<sup>c</sup> Myrissi, 24-30 rue Lionnois, BP 60120, 54003 Nancy Cedex, France<sup>d</sup> Innovative Crossmodal Interactions Modeling (InnoCIM), ENSAIA, Université de Lorraine, 2 av. de la Forêt de Haye, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

## article info

## Article history:

Received 20 January 2015

Received in revised form 12 September 2015

Accepted 2 November 2015

Available online 24 November 2015

## Keywords:

Odor

Color

Crossmodal correspondences

Culture

## Abstract

The olfactory and visual sensory systems appear to share robust and consistent associations. It is well known that culture specific experiences with odors may influence different aspects of odor perception such as intensity, pleasantness or edibility. Differences in terms of odor–color association might therefore be culturally specific. In order to determine the role of culture in odor–color associations, the responses of 155 French, 96 Lebanese and 110 Taiwanese subjects to the same 16 odorants were compared. The results highlight the role of culture and culinary habits on edibility ratings and color associations of some odors. Both perceptual and semantic factors seem to play a role in the odor–color associations in each country. Odor–color associations could indeed be affected by the function of odors in different countries. Culture-induced experiences influence the perception of odors familiarity, which will affect the prevalence of either perceptive (intensity, irritancy and hedonics) or semantic (nameability, familiarity) processing of these associations. Further studies should be conducted in order to understand the mechanisms underlying these cross-modal correspondences and the influence of cultural background and experience on them.

2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## 1. Introduction

In everyday life, we constantly have to combine information from different sensory modalities to better understand and predict the world around us. A large body of research has shown that people exhibit consistent crossmodal correspondences between many stimulus features in different sensory modalities.

Crossmodal correspondences have been defined as the tendency for a sensory feature, or attribute, in one modality, either physically present or merely imagined to be matched (or associated) with a sensory feature in another modality (Parise & Spence, 2013). An earlier definition was given in 1983 by Marks, according to his definition, sensory experience in one modality can often evoke parallels with sensory experience in another modality which can lead to crossmodal correspondences. In addition, Spector and Maurer (2012) underlined the fact, that traditionally, senses have been considered as separate modalities

that become integrated only at higher level of the cortex but, they challenged this view by showing that recent research demonstrated that sensory modalities influence one another from the earliest stages of cortical processing. Early multisensory inter-actions may contribute to the ease and consistency with which we make cross-modal associations.

Psychologists have known about the existence of crossmodal correspondences for many years. For example, more than 80 years ago, Edward Sapir (1929) highlighted the existence of a crossmodal association between the speech sounds /a/ and /i/ and object size. He observed that most people associate the nonsense words “mal” and “mil” with large and small objects, respectively.

Eating is another example in which cross-modal interactions are common. How the food looks (Spence, Levitan, Shankar, & Zampini, 2010), its texture and smell (Bult, De Wijk, & Hummel, 2007), the temperature of it (Cruz & Green, 2000), the interactions of sweet, sour, umami, etc., and even the sound while chewing (Zampini & Spence, 2010) affect our taste-experience.

Many researchers have highlighted crossmodal associations between colors and odors (Gilbert, Martin, & Kemp, 1996), tastes (O'Mahony, 1983), and flavors (Spence et al., 2010). Elsewhere, crossmodal associations have been documented between auditory

<sup>†</sup> This paper was presented at the IUFoST World Congress in Montreal in August 2014.

† Corresponding author.

E-mail address: [reinebarbar@hotmail.com](mailto:reinebarbar@hotmail.com) (R. Barbar).

pitch and smell (Belkin, Martin, Kemp, & Gilbert, 1997), smells and shapes (Seo et al., 2010), and even shapes and tastes/flavors (Gal, Wheeler, & Shiv, 2011). It therefore appears likely that crossmodal correspondences exist among almost all possible pairings of sensory modalities.

Whereas the relationship between audition and vision has been well documented, a cross-modal linkage between the olfactory and visual senses is seldom mentioned in the literature. In one of the oldest studies available, Martin (1909) found that olfactory impressions were among the sensory experiences reported by subjects when shown reproductions of paintings.

Of all sensory systems, chemical sensors (smell and taste) are the most common. From the beginning they are the systems used by man and animals to defend themselves against predators and find food and ensure its edibility. Combined with the sense of taste, smell allows the individual to recognize food and detect potentially harmful substances in its environment. The nature of functionalities which involve the olfactory system gives it a great importance in the perceptual system (Ferrier et al., 2009).

According to Gibson (1966) and Marks (1991), the integration of afferent, from different sensory modalities, is a general property of the mammalian nervous systems. However, in terms of intersensory influence, it's usually the visual modality that predominates our daily interactions (Stein & Meredith, 1993). Zellner and Kautz (1990) reported that the intensity of olfactory stimuli is overvalued when presented with a compatible color (e.g., smell of strawberry/ red color). This increase in perceived odor intensity does not seem to be due to learning since the performance also increases when introducing new pairs of colors/scents. The authors conclude that color induces a faint odor percept that combines more or less, depending on the degrees of compatibility, with percepts directly induced by olfaction.

Several reports of strong associations between certain odors and colors imply that such color–smell associations are most likely acquired and may be the subject to variation between cultures (Demattè, Sanabria, & Spence, 2006; Gilbert et al., 1996; Kemp & Gilbert, 1997; Maric, Barbar, & Jacquot, 2012; Schifferstein & Tanudjaja, 2004; Spector & Maurer, 2012). Interestingly, these associations were shown to be consistent over individuals (at least within the same culture) and to remain stable over time when retested as much as 2 years later (Gilbert et al., 1996). Results such as these suggest that a reliable multisensory interaction between olfaction and vision can take place even when the visual information consists of only simple stimulus features. Several color–smell associations are so compelling that an odor percept can change with color, e.g., subjects may perceive a cherry-flavored drink as orange-flavored if it is colored orange (DuBose, Cardello, & Maller, 1980). Furthermore, color not only facilitates odor identification but can also influence judgments of odor intensity, pleasantness and edibility (Zellner, Bartoli, & Eckard, 1991).

Spence (2011) distinguished between three kinds of correspondences: structural, statistical, and semantically mediated. Structural correspondences can occur due to neural connections (e.g., if stimuli in different senses share a feature such as intensity). Statistical correspondences are learned, and occur when two stimulus dimensions are routinely correlated in the environment. Semantically mediated correspondences arise due to language (e.g., “low” for elevation and pitch).

According to Stevenson, Rich, and Russell (2012), to determine whether the crossmodal correspondence arise as a consequence of the semantic and/or perceptual mechanisms, one must first examine which odor characteristics (intensity, irritancy, hedonics, familiarity, nameability) covaries with which crossmodal match; if crossmodal correspondences seem to rely on odor characteristics that relate more to semantic processes (nameability, familiarity), one may infer that semantic processes may be involved in mediating that correspondence. Similarly if a crossmodal match was associated with a perceptual (intensity, irritating and hedonics) odor characteristic this would suggest that some form of perceptual communality might have mediated that match. Taking into consideration the ultimate question: whether affective match (hedonics) would be considered as a semantic or perceptual mechanism. Hedonic has been long considered a key factor in the semantic differential, since affective reactions are usually learned. However, there may be substantive similarity in neural representations of positive or negative affective states across sense modalities allowing it to be classed recently as a perceptual mechanism (Herz & von Clef, 2001). For color–odor associations, both perceptual and semantic factors seem to play a role; color brightness correlates with perceptual attributes of odors (odors that are more irritating, intense, and unpleasant are associated with brighter colors) and semantic attributes (more familiar and identifiable odors are associated with more saturated colors) (Stevenson et al., 2012).

Culture specific experiences exert a profound influence on various basic aspects of odor perception (Ayabe-Kanamura et al., 1998; Ferdenzi et al., 2011). A study carried out by Chrea et al. (2004) to evaluate the effect of culture on the relationship between physiological dimensions underlying odor perception and odor categorization, showed that American, French and Vietnamese participants differed in their responses for several perceptual dimensions. Nevertheless a common general odor representation was shared by populations, structured in categories. Participants used the same perceptual dimensions to categorize odors, namely pleasantness, edibility and cosmetic acceptability. It was thus concluded that some universal cognitive mechanisms might interfere in the perception of odors. Consistency in odor representation was found for two of the three groups of participants: the American and the French. The function of odor could explain this result given that, as industrial cultures, French and American people are exposed to similar standardized odors from international trades, while Vietnamese people are more familiar with local aromas (Aubaile Sallenave, 2000). As a consequence, differences in odor–color associations might be expected as a function of the culture in which people live or have grown up, especially when the functions of odors and the symbolism of colors are different between countries (Leviton et al., 2014; Maric & Jacquot, 2013).

In the present study, we aimed to explore possible cultural differences in odor–color associations between 3 widely different cultures. To address this, we carried out a cross-cultural experiment with European (France), Middle-Eastern (Lebanon) and Asian (Taiwan) participants.

These populations were chosen because they were likely to reflect diversity in:

- Food and culinary habits, but also environment and climate which could affect population references. According to Wan et al. (2014), in addition to cultural difference, differences in other domains, such as geographic locations, climates, agriculture, may also play an important role in the formation of cross-modal associations between taste/flavors and visual features.

–Color symbolism in each country. For instance, yellow color in Europe symbolizes lemons, whereas in Colombia normally dark green symbolizes lemons (Demattè et al., 2006).

The objective of the present work was to identify the nature of crossmodal correspondences and whether odor–color associations are made upon perceptual or semantic factors. Consistent associations within a culture but differences across cultures would demonstrate that color–odor associations are not only structural, but that they are mediated by statistical or semantic experiences.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Participants

361 Naïve subjects were recruited in France (Université de Lorraine), Lebanon (Université Saint Esprit de Kaslik) and Taiwan (Chinese Culture University). The different participants from France (155 participants), Lebanon (96 participants) and Taiwan (110 participants) had a mean age of 26 years old. All were naïve with regard to the stimuli and the purpose of the study. The participants were instructed not to wear any fragrance on the day of the sessions and not to have a meal, coffee, or to smoke in the 30 min preceding their session. Only participants who reported having normal sense of smell with no olfactory dysfunction were tested. For the detection of color-vision anomalies the Ishihara test was used. Subjects with color-vision anomalies were dropped from analysis.

### 2.2. Olfactory stimuli

The olfactory stimuli were the same as those used by Maric and Jacquot (2013), chosen to cover of the 4 basic groups into which populations have been reported to classify odors (Chrea, Valentin, Sulmont-Rossé, Hoang Nguyen, & Abdi, 2005): flower (floral odors), sweet (fruits and candies odors), bad (smoked odors), and nature (plant odors). 15 food and floral natural aromas (Laboratoires Mathé, Maxéville, France) were selected as olfactory stimuli: lavender, orange blossom, rose and violet as floral odors; Caramel, mirabelle plum, pineapple and wild strawberry as sweet odours; Smoked as bad odor; Cucumber, lemon, lime, mint chlorophyll, peppermint and shallot as nature odors. Fourteen odors had the same aromatic intensity (fixed by our supplier). The same odor of mirabelle plum (a small yellow plum, specialty of the French region of Lorraine) was presented twice; that is to say with two different aromatic intensities (at low and high intensity). 16 olfactory stimuli were thus prepared by injecting 1 mL of each odorant into a small piece of carded cotton that was previously placed into a small opaque glass bottle. No salient visual cues were therefore available to participants.

### 2.3. Color samples

The color stimuli were the same as those used by Maric and Jacquot (2013). The color chart consisted of a white A3 size page containing twenty-one color patches arranged in a circle from red to purple, and three achromatic colors (white, gray, black) pre-sented in the lower left corner separately. Each color patch (4 cm in diameter) was identified by a code (one capital letter and one figure). Color charts were printed on coated paper. The print was calibrated to ensure consistent colors between participants.  $L^*a^*b^*$  coordinates were measured for each color chip by means of a Datacolor system (Pantone ColorVision™ Spyder Master Suite Spectro), and converted in  $L^*C^*H^*$  (Lightness, Chroma, Hue) coordinates, to get the exact position in the CIELAB color space.

### 2.4. Task location and procedure

In each country, sessions were conducted in sensory testing facilities with individual booths. Each testing booth had white walls and standardized white light source (D65). After completing the Ishihara Color Vision test, each subject was presented with the 16 olfactory stimuli in a random order, and with the color chart. For each olfactory stimulus, participants were asked to open the glass bottle and smell its content. Afterwards, participants were instructed to select among the 24 color patches one color that they felt closely matched the odor. After each olfactory stimulus it was recommended to rest for 1 min and to smell coffee beans pre-sented in a glass bottle. Resting for one minute and smelling coffee beans would eliminate the saturation effect of the nose receptors that can occur after smelling many olfactory stimuli.

After having made their choice, they rated using unstructured scales the difficulty of odor–color association and the odor’s perceived intensity, familiarity, pleasantness, and edibility.

### 2.5. Data analysis

All data were collapsed across gender. Subjects who were not able to perceive a particular stimulus and thereby rate descriptors were excluded from analysis. Chi Square tests with Yates correction were used first to assess whether odors influenced the choice of colors in each country, and then whether there were any differences between the choices of color made by the French, Taiwanese and Lebanese participants for each odorant. For this second part of the analysis, we did not take into account colors that were not associated by anyone in all countries. An alpha value of 0.05 was taken as the level of significance throughout the analysis.

Correlations between  $L^*C^*H^*$  (Lightness, Chroma, Hue) coordinates and the odor’s perceived intensity, familiarity, pleasantness, and edibility were made. Correlations among all odors descriptors were made for the 3 countries. An alpha value of 0.05 was taken as the level of significance throughout the analysis.

## 3. Results

### 3.1. Odor–color associations

#### 3.1.1. Intracultural analysis

The results confirmed that the participants of each country did not choose colors randomly but rather tended to choose some colors over others when matching the odors. Indeed, after realizing the chi-square tests followed by the Yates method correction, all 16 olfactory stimuli led to significant preferences in the choice of color ( $p < 0.05$  in all cases) in all populations. This supports the non-random link between odors and colors among the 3 cultures as it was also found by Levitan et al. (2014) testing 14 odors in 6 other cultural groups.

#### 3.1.2. Intercultural analysis

Chi-square tests followed by Yates correction, were made to study the existence or not of significant differences. Significant differences ( $p < 0.001$ ) in odor–color associations were found between the 3 countries as listed in Tables, II. 1 and 2.

As can be seen in Table 1, only few significant differences were found between Lebanese and French groups (four), whereas more differences exist between French and Taiwanese (ten), and Taiwanese and Lebanese groups (ten). Violet flower and lemon odors led to significant differences in color associations between French and Taiwanese participants. Lime, pineapple, mint chlorophyll, smoke and lavender had significant differences in their associated colors between

French and Taiwanese groups and Lebanese and Taiwanese groups. Cucumber, wild strawberry and shallot were significantly associated to different colors between Lebanon and Taiwan. Rose odor led to significant difference between French and Lebanese participants. Orange blossom and peppermint were the only odors having significant differences in color associations among the 3 countries. On the contrary, mirabelle plum (high and low intensities) did not lead to any significant differences among the 3 countries.

The significant differences can be explained by one or several of these cases:

**Table II. 1.** Significance of differences in odor–color associations found between the 3 groups (NS: non-significant difference; S: significant difference with  $p < 0.001$ ).

	France– Lebanon	France– Taiwan	Lebanon– Taiwan
Rose flower	S	NS	NS
Violet flower	NS	S	NS
Orange blossom	S	S	S
Lavender	NS	S	S
Cucumber	NS	NS	S
Wild strawberry	NS	NS	S
Lemon	NS	S	NS
Lime	NS	S	S
Pineapple	NS	S	S
Smoke	NS	S	S
Shallot	NS	NS	S
Caramel	S	S	NS
Mint chlorophyll	NS	S	S
Peppermint	S	S	S
Mirabelle plum (high intensity)	NS	NS	NS
Mirabelle plum (low intensity)	NS	NS	NS

- The main color chosen for an odor is different between countries (as an example: orange blossom).
- The same colors were selected but with different frequencies or proportions (rose odor).
- Most selected colors are different between countries (lemon odor).

Table II. 2 shows that differences appear to be due in some cases to the relative proportions of colors rather than the choice of the shade, due to the facts that these shades belong to the same chromatic field.

**Table II. 2.** Examples of main color associated to odors in each population for olfactory stimuli exhibiting differences between countries in terms of odor–color associations ( $p < 0.001$ ). (Colors are quantified with R V B method).

	France	Taiwan	Lebanon
Violet Flower			
Lime			
Pineapple			
Mint Chlorophyll			
Cucumber			
Wild Strawberry			
Shallot			
Orange Blossom			
Lemon			
Peppermint			
Caramel			
Smoke			
Rose Flower			
Lavender			
Mirabelle plum (high intensity)			
Mirabelle plum (low intensity)			

Indeed, a color is characterized by its tint (blue, red, green. . .), its luminosity (quantity of white and black) and its saturation (proportion of gray in it). All colors with their characteristics are classified in chromatic fields which represent the semantic classification of a color. For example: vermillion red and carmine red are different colors but they both belong to the red chromatic field (Blin-Barrois, 2006). So when analyzing our results, the chromatic field of the chosen color is also taken into account. It shows that even if differences are statistically significant, some are less “marked” due to the fact that chosen colors belong to the same chromatic field (as it is the case for violet, lime, mint chlorophyll, cucumber and shallot). And in other cases, differences are due to the choice of colors in different chromatic fields. It appears for pineapple, wild strawberry and orange blossom olfactory stimuli.

In the following, four of the odors having revealed significant differences in odor–color association will be detailed. Pineapple and wild strawberry were chosen in order to determine what could mean the use of a different chromatic field, shallot as an example of a bad odor and orange blossom because it’s the only odor which presented a significant difference among all 3 cultures.

### 3.1.2.1. Odor–color associations for pineapple.

For pineapple olfactory stimuli, the French group linked the odor with orange-red, purple and yellow shades with 32.2%, 25.2% and 13.5% respectively of total responses. This was significantly different from the Taiwanese group who linked it mainly to yellow first (30.7%), and then to shades of purple (21.3%), pink (9.3%), and orange (8.4%) (Fig. II. 1). Pineapple is commonly encountered in Taiwan so its association with yellow is made upon the easy access to the fruit itself. Comparing with Lebanon and France, the main significant difference in the associations made in Taiwan was the choice of red color in addition to yellow (Fig. II. 1). In this case, red–orange– pink combination seems to be typical for sweet fruity odors as it was encountered for pineapple, but also for strawberry. Proportions of each color vary from one smell to another depending if it’s a red fruit or exotic. In France and Lebanon, people related to the sweet character of the fruit rather than the exotic fruit itself. This result will be further detailed in the discussion in order to emphasize the effect of culture on the categorization of odors.



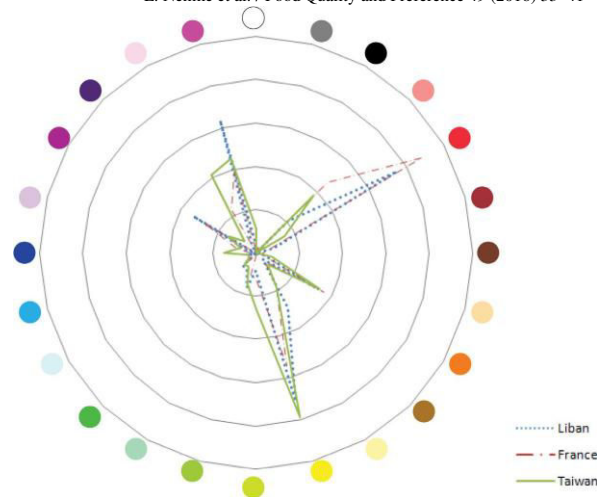


Fig.II. 1. Frequency of main colors chosen for pineapple as a function of populations.

### 3.1.2.2. Odor–color associations for wild strawberry.

As regards wild strawberry olfactory stimuli, French and Lebanese participants mainly associated it with red and shades of light purple whereas Taiwanese participants chose more frequently the deep purple color, followed by a combination of orange-red. Significant difference was thus statistically found between Taiwan and Lebanon with main associated colors being purple and red respectively (see Fig. II.2).

### 3.1.3. Odor–color associations for shallot

For shallot olfactory stimuli, the Lebanese group mainly linked the odor to black, then to gray colors. This was significantly different from the Taiwanese population who linked it mainly to shades of brown (Fig.II. 3) as in France. The different culinary usages of shallot could explain these results as Lebanese population frequently uses onions in barbecues done at home where coal is used. Grilled onions will thus have black shells which could explain the associated color. French and Taiwanese groups tend to relate the odor to the fresh product itself which is brown.

### 3.1.4. Odor–color associations for orange-blossom

Significant differences in color association between all 3 countries were only found for 1 odor: orange blossom. Lebanese participants associated it mainly to the white color, the French participants associated it to the bright orange color and shades of blue and green. On the contrary, in Taiwan, participants associated it with green and brown colors (Fig. II. 4).

In Taiwan, orange blossom is frequently associated with oolong tea which explains the shades of green and brown chosen and the vegetable attributes detected.

In Lebanon, orange blossom is associated to traditional Lebanese desserts and sugar pastries products, with color associations of white and pink.

In France, this odor is more associated with hygiene products justifying the shades of blue chosen by the participants, typical color for non-food items.

Regarding the orange blossom odor, no significant differences were found in intensity, familiarity or pleasantness ratings. Actually, a significant difference ( $p < 0.0001$ ) was only found between the three populations in edibility ratings for this odor (% responses “yes” = 0.53 in Lebanon; 0.13 in France and 0.21 in Taiwan) (Fig. II. 5). The difference in odor–color association could therefore arise from cultural differences in the odor’s function. Indeed, orange blossom is mainly encountered in Lebanese food (especially in pastries), in hygiene products in France, and in tea in Taiwan. It should be noted that in France, floral water cosmetics using orange blossom are usually packed in dark blue bottles.

## 3.2. Correlations between descriptors

We also assessed the existence of common relationships between the mean ratings of the odors for each of the evaluated descriptors (familiarity, pleasantness, intensity, and edibility) and the mean lightness ( $L^*$ ), saturation ( $C^*$ ), and hue ( $H^*$ ) of the matching colors that were chosen.

Table. II. 3 shows correlations between  $L^* C^* H^*$  mean values and intensity, familiarity, pleasantness and edibility ratings for all odors in all 3 countries.

The present results confirmed the existence of correlations between perceptual dimensions in olfaction and vision. Specifically, color lightness varies inversely with perceived odor intensity in Lebanese and Taiwanese groups ( $p < 0.05$ ), as demonstrated previously by Kemp and Gilbert (1997).

Significant positive relationships ( $p < 0.05$ ) were found between the perceived pleasantness of odors and lightness in the 3 countries, and also saturation of associated colors in Lebanese and Taiwanese groups. The odors that were rated as more pleasant were generally matched to colors exhibiting a higher lightness and saturation. The results also indicated that color saturation is positively correlated to perceived odor edibility in all populations ( $p < 0.05$ ).

As it was shown in Table. II. 1, Lebanese and French groups recorded mainly similar odor–color associations whereas more differences were reported between French–Taiwanese and

Taiwanese–Lebanese groups. This is further consolidated by the fact that positive correlations between familiarity and color saturation and odor edibility and mean  $H^*$  value (Hue) were found in Lebanon and France.

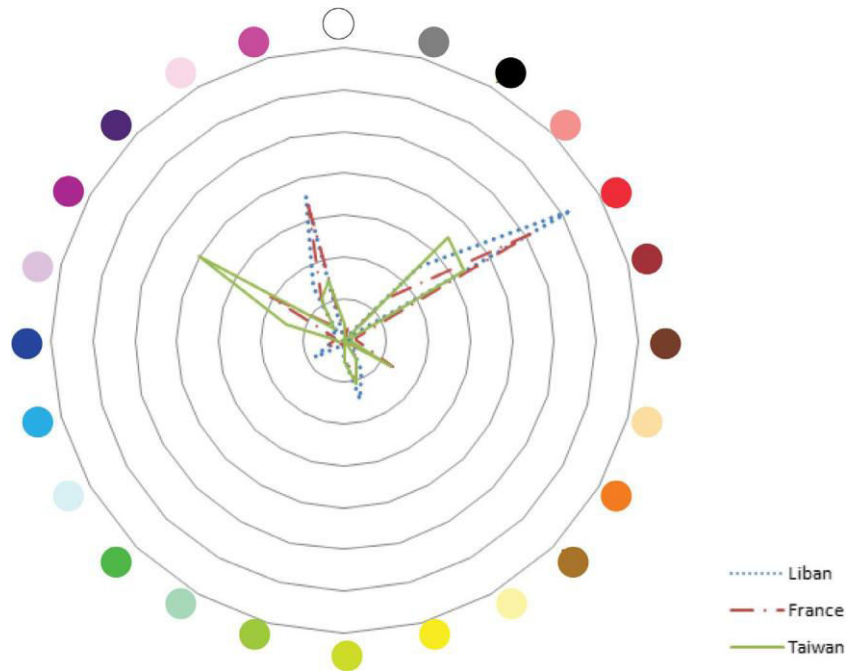


Fig.II. 2. Frequency of choice of main colors for wild strawberry according to the 3 populations.

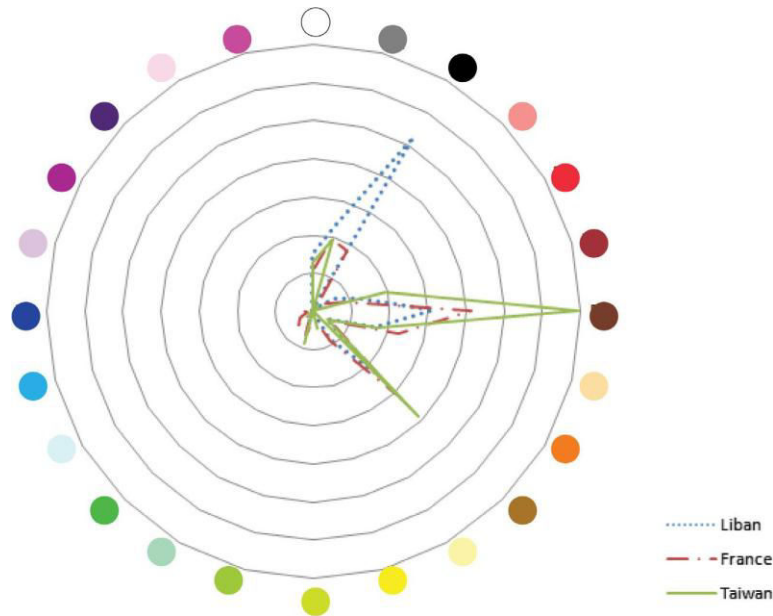


Fig.II. 3. Frequency of choice of main colors for shallot according to the 3 populations.

#### 4. Discussion

First, unsurprisingly our results confirm the existence of consistent crossmodal associations between specific odors and colors in each tested populations. Unsurprisingly, food and floral odors were preferentially matched to specific colors, in agreement with the results of previous cross-cultural studies (as [Levitan et al., 2014](#)).

[Gottfried \(2007\)](#) studied the role of learning and experience on changing the perception of an odor, on a neural and behavioral level. When we smell an odor, perceived intensity, hedonic value and odor quality are in one part based on chemical biomolecular information, and on another part based on memorized function, experience and context. According to our results, function of odors plays an important role in the construction of odor–color correspondences and this phenomenon is culture-dependent. If participants of different countries share similar usages of products and hygiene products in France. In Taiwan, participants were more sensitive to the vegetable part of this odor and then they will share similar associated colors. If not, significant differences will be revealed as it was well demonstrated by orange blossom results. Shades of blue (a non-food color) were chosen by French participants given that this product is mainly used in cosmetics associated it with shades of green and brown, which might be related to typical orange blossom flavored product (oolang tea).

Perceived edibility of odors indeed has an impact on the choice of color. Our results confirm the existence of a positive relationship between edibility ratings and the saturation of associated colors. Furthermore, previous study demonstrated that aromas classified as edible tended to be matched to yellow hues, whereas aromas classified as non-edible tended to be matched to blue hues, a color that is less encountered in food, which was reported in French and Lebanese groups ([Maric & Jacquot, 2013](#)).

It is interesting to note that some similarities in odor–color associations for French and Lebanese groups were found, whereas more differences were reported when comparing their associations with the Taiwanese one. The positive correlation found in Lebanon and France between perceived familiarity of odors and saturation of associated colors may indicate that the ability to recognize the olfactory stimuli influences the construction of odor–color correspondences.

Our results thus also highlight the existence of a second less culture-dependent phenomenon. When a participant recognizes a smell, he will tend to choose a color which, for him, represents the recognized olfactory source. This first model of association seems to be rather of the semantic type. However, when this recognition does not take place, the participant will categorize the smell (floral, fruity, vegetable or animal. . .), and then lean on this categorization to determine the color which best represents this category. This second mode of association seems to be rather of perspective type, the individual using the categorization process which he automatically uses during the construction of his olfactory perception ([Chrea et al., 2004, 2005](#)).

Both perceptual and semantic models of association are encountered in our results and the predominance of one or the other one is not completely clear. Semantic associations were for example revealed for fruity odors like pineapple and wild strawberry. In the case of pineapple, the Taiwanese group constructed the odor–color association from the image of the odor’s source (yellow) whereas perceptive association was made for Lebanese and French groups where participants chose the red color representing the odor’s quality (sweet fruity category). This phenomenon was also encountered in the case of wild strawberry, where semantic association was mainly realized by French and Lebanese groups (red was the main associated color) and not by Taiwanese group.

Perceptive association was predominant in Taiwan where participants mainly associated purple color to this odor. The culture, in terms of proximity with the product, habits, seems to influence the ability to recognize more easily the odor. But, this ability could not only be correlated with familiarity of the odor. Culture-dependent experiences affect our capacity to use, identify/classify, like and consume odors or odorant products. Thus odor–color associations can vary among countries. When we recognize odors that seem familiar, semantic association will be implied in the choice of colors. Even if subject is not able to identify exactly an odor, he might still be able to categorize it, for example, as a floral or fruity odor, edible or non-edible odor. Both perceptive and semantic models affect odor–color associations revealing the complexity and multi-dimensional aspects of this linkage. At this

stage, more experiments should be done to better understand factors influencing the use of one or the other model.

But to summarize odor-color associations and based on the 3 tested populations, the treatment of odors could thus be depending of:

- A strong cultural-dependent phenomenon related to the function of odors.

- The ability to recognize the odor, involving a semantic model of association when participants rather classify it according to uni-versal categories (e.g., floral, sweet, bad, and nature being 4 “universal” olfactory categories defined by Chrea et al., 2005).

Culture does not directly affect the predominance of a model rather than another but is made indirectly by increasing capacity to recognize the object through specific habits and odor proximity.

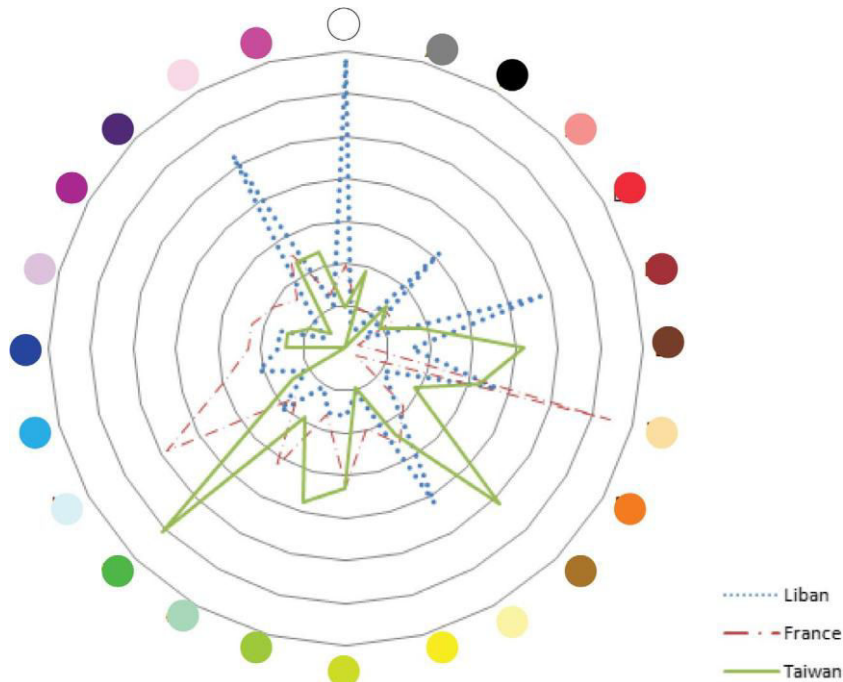


Fig.II. 4. Frequency of choice of main colors for orange blossom according to the 3 groups

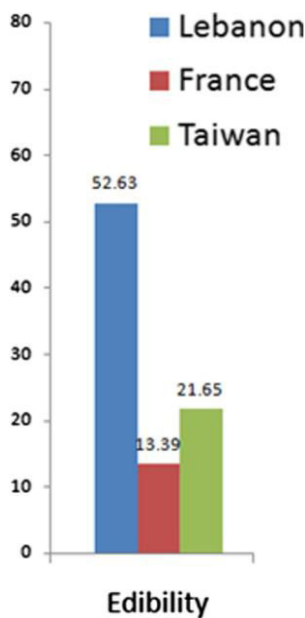


Fig.II. 5. Edibility ratings (%) for orange blossom odor.

Table. II 3. Significant statistical correlations ( $r$ ;  $R^2$ ) between  $L^*C^*H$  mean values and intensity, familiarity, pleasantness and edibility ratings for all odors in all 3 countries;  $p < 0.05$ .

	Pleasantness	Familiarity	Intensity	Edibility
<i>France</i>				
$L^*$ (mean value)	+0.54; 0.29			
$C^*$ (mean value)	+0.60; 0.36			+0.69; 0.48
$H$ (mean value)				-0.71; 0.50
<i>Lebanon</i>				
$L^*$ (mean value)	+0.72; 0.52		-0.58; 0.34	
$C^*$ (mean value)	+0.77; 0.60	+0.73; 0.53		+0.77; 0.59
$H$ (mean value)				-0.67; 0.45
<i>Taiwan</i>				
$L^*$ (mean value)	+0.74; 0.54		-0.59; 0.35	
$C^*$ (mean value)				+0.65; 0.42
$H$ (mean value)	+0.64; 0.40			

◻ – common for 2 cultures.  
 ◼ – common for 3 cultures.

5. Conclusions

Our results confirm the existence of common rules in odor-color correspondences among all 3 tested populations and raise important questions about the representation of odors and interpretation of colors in different cultures. Our results show significant differences between populations in the odor-color associations for 14 odors among the 16 tested. Function of odors and perceived edibility due to different culinary habits in each country had an impact on the choice of color. The predominance

of semantic or perceptive association was different among countries. The choice of one or the other model could be indirectly linked to cultural differences in terms of environment, cultural and culinary habits and ease of access to odor recognition. This identification ability should now be studied in terms of culture-dependent experiences.

## References

- Aubaile Sallenave, F. (2000). Odeurs en alimentation dans quelques sociétés de Méditerranée: Premiers résultats d'une enquête sur perception et reconnaissance. *Bulletin et Mémoire de la Société d'Anthropologie de Paris*, 12, 373–395.
- Ayabe-Kanamura, S., Schicker, I., Laska, M., Hudson, R., Ditsel, H., Kobayakawa, T., et al. (1998). Differences in perception of everyday odors: A Japanese–German cross-cultural study. *Chemical Senses*, 23, 31–38.
- Belkin, K., Martin, R., Kemp, S. E., & Gilbert, A. N. (1997). Auditory pitch as a perceptual analogue to odor quality. *Psychological Science*, 8, 340–342.
- Blin-Barrois, Barbara (2006). Parlons couleur! Langage – codes – création. Aix-en-Provence: Edisud. 127 p..
- Bult, J. H. F., De Wijk, R. A., & Hummel, T. (2007). Investigations on multimodal sensory integration: Texture, taste, and ortho- and retronasal olfactory stimuli in concert. *Neuroscience Letters*, 411, 6–10.
- Chrea, C., Valentin, D., Sulmont-Rossé, C., Hoang Nguyen, D., & Abdi, H. (2005). Semantic, typicality and odor representation: A cross-cultural study. *Chemical Senses*, 30, 37–49.
- Chrea, C., Valentin, D., Sulmont-Rossé, C., Ly Mai, H., Hoang Nguyen, D., & Abdi, H. (2004). Culture and odor categorization: Agreement between cultures depends upon the odors. *Food Quality and Preference*, 15, 669–679.
- Cruz, A., & Green, B. G. (2000). Thermal stimulation of taste. *Nature*, 403, 889–892.
- Demattè, M. L., Sanabria, D., & Spence, C. (2006). Cross-modal associations between odors and colors. *Chemical Senses*, 31, 531–538.
- DuBose, C. N., Cardello, A. V., & Maller, O. (1980). Effects of colorants and flavorants on identification, perceived flavor intensity and hedonic quality of fruit-flavored beverages and cake. *Journal of Food Science*, 45, 1393–1399.
- Ferdenzi, C., Schirmer, A., Roberts, S. C., Delplanque, S., Porcherot, C., Cayeux, I., ... Grandjean, D. (2011). Affective dimensions of odor perception: A comparison between Swiss, British, and Singaporean populations. *Emotion*, 11, 1168–1181.
- Ferrier, L., Streff, A., Martin, S., Brouillet, D., Barkat-Defrades, M., & Jiménez, M. (2009). Influence de stimuli olfactifs dans une tâche d'évaluation hédonique de couleurs: Les yeux voient ce que le nez sent. *L'Année Physiologique*, 109, 361–381.
- Gal, D., Wheeler, S. C., & Shiv, B. (2011). Cross-modal influences on gustatory perception. Available at SSRN: <<http://ssrn.com/abstract=1030197>>.
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Gilbert, A. N., Martin, R., & Kemp, S. E. (1996). Cross-modal correspondence between vision and olfaction: The color of smells. *American Journal of Psychology*, 109, 335.
- Gottfried, J. A. (2007). Influences of olfactory experience and learning on odor perception and odor processing in the human brain. *A Sense of Smell Institute White Paper*, 1–15.
- Herz, R. S., & von Clef, J. (2001). The influence of verbal labelling on the perception of odors: Evidence for olfactory illusions? *Perception*, 30, 381–391.
- Kemp, S. E., & Gilbert, A. N. (1997). Odor intensity and color lightness are correlated sensory dimensions. *American Journal of Psychology*, 11, 35–46.
- Levitani, C., Ren, J., Woods, A., Boesveldt, S., Chan, J., McKenzie, K., Dodson, M., Levin, J., Leong, C., Van den Bosch, J. (2014). Cross-cultural color–odor associations. Available at PLoS ONE: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0101651>>.
- Maric, Y., Barbar, R. & Jacquot, M. (2012). As pink as an orange blossom odour: A French–Lebanese cross-cultural study. In *Proceedings of AIC colour 2012. Interim meeting of the international colour association*.
- Maric, Y., & Jacquot, M. (2013). Contribution to understanding odour–color associations. *Food Quality and Preference*, 27, 191–195.
- Marks, L. (1983). *The unity of the senses*. New York: Academic Press.
- Marks, L. E. (1991). Metaphor and the unity of the senses. In H. T. Lawless & B. P. Klein (Eds.), *Sensory science theory and applications in foods* (pp. 185–205). New York: Marcel Dekker.
- Martin, L. J. (1909). Über ästhetische synästhesie [esthetic synesthesia]. *Zeitschrift für Psychologie*, 53, 1–60.
- O'Mahony, M. (1983). Gustatory responses to non-gustatory stimuli. *Perception*, 12, 627–633.
- Parise, C. V., & Spence, C. (2013). Audiovisual crossmodal correspondences. In J. Simner & E. Hubbard (Eds.), *Oxford handbook of synaesthesia* (pp. 790–815). Oxford, England: Oxford University Press.
- Sapir, E. (1929). A study in phonetic symbolism. *Journal of Experimental Psychology*, 12, 225–239.
- Schiffstein, H. N. J., & Tanudjaja, I. (2004). Visualising fragrances through colors: The mediating role of emotions. *Perception*, 33, 1249–1266.
- Seo, H. S., Arshamian, A., Schemmer, K., Scheer, I., Sander, T., Ritter, G., et al. (2010). Cross-modal integration between odors and abstract symbols. *Neuroscience Letters*, 478, 175–178.
- Spector, F., & Maurer, D. (2012). Making sense of scents: The colour and texture of odours. *Seeing Perceiving*, 25, 655–677.
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception & Psychophysics*, 73, 971–995.
- Spence, C., Levitan, C. A., Shankar, M. U., & Zampini, M. (2010). Does food color influence taste and flavor perception in humans? *Chemosensory Perception*, 3, 68–84.
- Stein, B. E., & Meredith, A. L. (1993). *The merging of the senses*. Cambridge: MIT Press.
- Stevenson, R. J., Rich, A., & Russell, A. (2012). The nature and origin of cross-modal associations to odours. *Perception*, 41(5), 606.
- Wan, X., Woods, A., Van de Bosch, J., McKenzie, K., Velasco, C., & Spence, C. (2014). Cross-cultural differences in crossmodal correspondences between basic tastes and visual features. *Frontiers in Psychology*, 5, 1965.
- Zampini, M., & Spence, C. (2010). Assessing the role of sound in the perception of food and drink. *Chemosensory Perception*, 3, 57–67.
- Zellner, D. A., Bartoli, A. M., & Eckard, R. (1991). Influence of color on odor identification and liking ratings. *American Journal of Psychology*, 104, 547–561.
- Zellner, D. A., & Kautz, M. A. (1990). Color affects perceived odor intensity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 391–397.



**CHAPITRE III : LE LIEN ODEUR-  
COULEUR ET LA METHODOLOGIE**

**INTRODUCTION.....69**

**ABSTRACT.....71**

**1. INTRODUCTION.....72**

**2. MATERIAL AND METHODS .....75**

    2.1. PARTICIPANTS .....75

    2.2. OLFACTORY STIMULI.....75

    2.3. TASK LOCATION AND PROCEDURE.....75

    2.4. DATA ANALYSIS .....76

**3. RESULTS .....77**

    3.1. ODOR -COLOR ASSOCIATIONS WITHOUT THE PRESENCE OF COLOR CUES .....77

        3.1.1. Analysis of color terms .....77

        3.1.2. Differences in colors quoted in both countries .....79

    3.2. COMPARISON BETWEEN BOTH STUDIES .....84

**4. DISCUSSION.....87**

**5. CONCLUSION .....92**

**REFERENCES.....93**



## INTRODUCTION

Deux types d'associations, sémantiques ou perceptives, ont été observés dans les résultats de l'étude précédente laquelle avait pour but, de mettre en évidence l'effet des différences culturelles sur le lien odeur-couleur. Cependant, la prédominance de l'un des deux types n'est pas facile à mettre en évidence. En effet, elle semble fortement corrélée à la capacité de reconnaissance des odeurs. Dans cette première étude, nous n'avons pas, volontairement, demandé aux participants d'identifier l'odeur afin de ne pas inciter à la reconnaissance des odeurs et, de fait, favoriser les associations sémantiques qui conduirait à des difficultés pour mettre en évidence les associations perceptives. Nous avons donc décidé de réaliser une seconde étude.

Partant des résultats préalablement obtenus, nous avons réalisé cette seconde étude, en France et au Liban, avec deux objectifs : le premier objectif est une meilleure compréhension de l'impact de la culture sur les associations odeurs-couleurs et le second est de déterminer si le changement de la méthodologie utilisée lors des tests peut affecter ces associations en permettant la dominance d'un type d'association (sémantique ou perceptive). Ceci est peu adressé dans les travaux de la littérature et nécessite un meilleur approfondissement.

Pour cela, nous avons utilisé les 16 mêmes odeurs que la première étude et demandé aux participants libanais et français de leur associer une couleur mais sans leur présenter de palette colorée. Chaque participant devait donc sentir l'odeur et lui associer un nom de couleur ou un objet coloré qu'il jugeait le plus en accord avec sa perception olfactive. Ils devaient aussi indiquer s'ils avaient ou non reconnu l'odeur. La comparaison des deux études nous a permis de mieux comprendre la prédominance d'un type d'association et de mettre en évidence le pouvoir d'évocation olfactive des couleurs. Notons que pour avoir un nombre plus grand de familles d'odeurs nous avons remplacé la classification de nos odeurs selon Chréa *et al.*, (2005) par celle de Castro *et al.*, (2014). Ainsi nous obtenons la classification suivante: fragrance (rose, violette), boisé/nature (concombre), fruits non agrumes (fraise des bois, ananas, mirabelle), citron/ agrumes (citron, citron vert, fleur d'oranger), odeur tranchante (échalote), menthe/ aromatique (menthe, menthe poivrée, lavande), sucrée (caramel), mauvaise odeur (fumé).

Les résultats obtenus ont montré qu'en absence d'informations visuelles (couleurs), les associations odeurs – couleurs étaient différentes. Dix différences significatives dans l'association odeur-couleur ont été mises en évidence entre la France et le Liban alors que dans l'étude précédente, réalisée avec la palette de couleurs, seulement 4 différences significatives avaient été démontrées.

Ces différences entre les deux méthodologies peuvent partiellement s'expliquer par un mode d'association principalement sémantique suite à un travail d'identification de l'odeur plus poussé en absence de couleurs. En effet, lors des tests, les personnes interrogées sur une odeur donnée se

concentraient plus longtemps sur cette odeur et parvenaient souvent à la reconnaître. Les taux de reconnaissance mesurés ont été très élevés lors de cette expérience (jusqu'à 91% au Liban et 75% en France) avec un taux moyen de 38.75% en France et de 56.87% au Liban donc un taux plus élevé que le taux moyen de reconnaissance généralement admis qui est de l'ordre de 37% (DuBose *et al.*, 1980; Zelner *et al.*, 1991).

Dans l'expérience précédente, en présence des couleurs, les personnes interrogées passaient plus de temps à examiner la palette et moins à identifier l'odeur. Le mécanisme d'association semble donc être différent. Il nous sera difficile d'aller plus loin dans notre conclusion car, comme nous l'avons déjà précisé, le taux de reconnaissance n'a pas été mesuré dans la première étude. Malgré tout, l'hypothèse de l'influence de la reconnaissance sur le lien odeurs – couleurs semble recevable.

En conclusion, la méthodologie utilisée pour réaliser les tests a un effet tout aussi important sur le lien odeur-couleur que la culture ou la fonction de l'odeur. Elle va favoriser un type ou l'autre d'association, sémantique ou perceptive, et ainsi conduire à des conclusions très différentes. C'est pourquoi, il est très compliqué de comparer des études réalisées par d'autres équipes car un nombre important de protocoles employés sont différents.

La seconde conclusion de cette comparaison est que lorsque l'on présente des couleurs, ces couleurs vont réduire les différences culturelles lors de l'association avec des odeurs. Il paraît donc que ces couleurs portent une symbolique olfactive qui semble interprétée de façon équivalente par les français et les libanais.

## **Do color cues affect color-odor associations? A Comparative study between two methods in Lebanon and France**

Léa NEHMÉ<sup>1\*</sup>, Reine BARBAR<sup>2</sup> and Muriel JACQUOT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LIBio (Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules), Université de Lorraine, 2 avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54505 Vandoeuvre-lès-Nancy, France.

<sup>2</sup>Department of Food Science, Faculty of Agricultural and Food Sciences, Holy Spirit University of Kaslik (USEK), Lebanon, P.O.BOX 446, Jounieh, Lebanon

<sup>3</sup>Innovative Crossmodal Interactions Modeling (InnoCIM), ENSAIA, Université de Lorraine, 2 av. de la Forêt de Haye, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

\* Correspondence to be sent to: Léa Nehmé, E-mail address: leaenehme@gmail.com

Short title: " On the intercultural comparison between 2 methods for color-odor association"

### **ABSTRACT**

The present study investigates color-odor associations, in Lebanon and France, and compares 2 methods used to highlight them. In the first method, a palette of colors has been used while in the second, tests were conducted without colors. The same 16 odorants were analyzed in both. The first part of the present study (without colors) revealed after using Chi square and PCA tests, 10 significant differences when comparing both countries and showed that odors are related to colors based on their function and recognition rates in each country. In the second part, after comparing both methods, 6 odors realized differences among which only 4 were different between both countries in the presence of colors. So, in the presence of colors less differences could be found between countries. But subjects are linking the odor to the congruent color of its category (perceptive association), because they might be seeing it first on the palette. While without colors they are associating it to the congruent color of the object itself (semantic), due to the increase of the recognition rate of the odor. These results underline the importance of the choice of the method, because it involves different cognitive processes of the color-odor association.

### **Practical application:**

The senior challenge for marketing and consumer studies, with the competitiveness in the markets today, is understanding the main leading drivers of consumer food choice behavior. The present study will help to further understand the color-odor association leading to a better comprehension of consumer expectations and needs.

**Keywords:** Color cues; color-odor association, crossmodal correspondences; culture; odor; method.

## 1. INTRODUCTION

A growing body of empirical research (especially amongst cognitive psychologists, cognitive neuroscientists, and developmental researchers) now demonstrates that our brains have the tendency to systematically associate certain features or dimensions of stimuli across the senses. These associations are called "crossmodal correspondences" (Spence, 2011) and can also be called "synesthetic tendencies". They can be differentiated from the actual synesthesia by the fact that they are universal, relative and malleable, they can be controlled by cognitive mechanisms (experience, training) and they are acquired not innate (Marks, 2011). These associations can be detected with neuroimaging techniques. Gottfried & Dolan (2003) carried out an experiment that combined fMRI neuroimaging techniques and an olfactory detection task. They presented at the same time as odors either congruent or incongruent images. They have demonstrated that odor detection was facilitated for congruent odor-image pair associations, which in turn were correlated with enhanced neural activity in the anterior hippocampus and rostro-medial orbitofrontal cortex. While, Charroud *et al.*, (submitted article), realized an fMRI study to compare between the olfactory suggestion capacity of picture and color arrangement. Their results showed that chromatic card visualization (as colors arrangement) could suggest an odor more efficiently than picture visualization and they showed a left-side dominance in the orbitofrontal cortex which could reflect an emotional response.

On the other hand, and according to Spence *et al.* (2015), one of the most important roles of the brain is to facilitate foraging (acquisition of food by hunting, fishing, or the gathering of plant matter) and feeding. It is presumably no coincidence, then, that the mouth is situated close to the brain in most animal species (Spence *et al.*, 2015). This leads scientists to demonstrate that while eating, crossmodal correspondences will occur: the texture and smell of food (Bult, de Wijk & Hummel, 2007), its temperature (Cruz & Green, 2000), the interactions of sweet, sour, umami, etc., the sound while chewing (Zampini & Spence, 2010) and mostly the look of the food (Spence *et al.*, 2010), will affect our taste experiences. In fact, even since the 1st century AD, Apicius purportedly coined the phrase "*We eat first with our eyes*" (Delwiche, 2012). Foods that are discolored, in odd shapes, or otherwise atypical are regarded with suspicion. In consequence visual cues can alter not just the acceptability of food but can also modify the way it tastes and the way its odor and flavor are perceived (Delwiche, 2012). Since 1980, Dubose *et al.*, have shown that, by coloring a cherry-flavored beverage inappropriately, by an incongruent color, the ability of the participants to identify the beverage will be affected and decreased. In fact, 26% of the participants reported that they were drinking a lime-flavored beverage when the drink was colored green. More

importantly, 40% of the participants reported that a cherry-flavored beverage actually tasted like orange when the beverage was inappropriately colored in orange.

Therefore, color may be the most obvious visual cue. Indeed, throughout the years many researchers have demonstrated the presence of crossmodal associations between colors and odors (Dubose *et al.*, 1980; Zellner *et al.*, 1991; Gilbert *et al.*, 1996; Maric *et al.*, 2012; Maric & Jacquot 2013; Levitan *et al.*, 2014; Nehmé *et al.*, 2016). Some of them have also reported that these crossmodal associations may vary from one culture to another (Levitan *et al.*, 2014; Jacquot *et al.*, 2016; Nehmé *et al.*, 2016). Wan *et al.* (2016) reported that participants from the USA and mainland China exhibited different color-flavor associations for green, yellow, and orange drinks. They also showed that the flavor expectations that were associated with a particular beverage color could be influenced by the shape/type of receptacle in which that drink was presented.

In addition, in our previous study on cultural differences (Nehmé *et al.*, 2016) we reported after testing 16 food and floral natural odorants in Lebanon, Taiwan and France, significant differences between the 3 countries in the color-odor associations. Only a few significant differences were found between Lebanese and French groups (4), whereas more differences exist between French and Taiwanese (10), and Taiwanese and Lebanese groups (10). Our results came in agreement with the study carried out on the subject by Levitan *et al.*, (2014), who have tested 14 odors in 6 different cultural groups (Dutch, Netherlands-residing-Chinese, German, Malay, Malaysian-Chinese, and US residents) and they have concluded that cultures do play a role in color-odor crossmodal associations, which means that these associations are learned through experience.

All the studies conducted on this topic throughout the years had differences in their methodologies. For instance, Demattè *et al.* (2006) conducted 2 experiments in the same country, the UK in order to study explicitly and implicitly the matches between specific colors and particular odors. In the first experiment, they asked participants to match each of the 6 odorants to one of the 10 color patches displayed on a computer monitor. The results showed that participants chose the odor-color combination in a non-random manner. In their second experiment they used the IAT method (implicit association test) where the participants were not required to explicitly express any association between the odors and colors but instead they had to simply discriminate each unimodally presented visual and olfactory target stimulus. They showed that crossmodal associations are strong enough to influence performance in tasks that do not rely on explicit crossmodal matching. In the wine industry as well, different methods have been used to interpret odor color associations, where Morrot *et al.* (2001) studied the interaction between the vision of colors and odor determination by coloring a white wine in red to prove later that even oenologist students will describe a white wine colored in red with a greater number of red wine odor terms

than the same wine uncolored. So in their method they studied the interaction between odor and color through lexical analysis of expert wine tasting comments. While Ballester *et al.*, (2009) have used a different method to study these associations in wine: they used 18 wines (6 reds, 6 whites and 6 rosés) and they asked participants to smell the different types of wine and to classify them into 3 categories "red wine", "white wine" and "rosé wine". In contradiction with the results of Morrot *et al.* (2001), they showed that people are able to make solo-based wine categories only by their smell. Whereas in Levitan *et al.*, (2014), the 6 different cultural groups had to indicate for each odor the 3 most congruent and 3 most incongruent colors presented on a screen. And Wan *et al.*(2016) collected the responses of 400 participants from France, Japan and Norway by showing them photographs of red, green, yellow, blue, orange, brown and clear beverages presented in a water glass, a wine glass, a cocktail glass or a plastic cup, and they asked them to indicate the first flavor that came to their mind by choosing a flavor from a list of 24 options, and to rate the familiarity and pleasantness of each drink.

Undoubtedly several studies have been conducted to comprehend the effects of color on color-odor associations in one or several countries, but the differences in the methodologies used from one study to another and the fact that these studies are take place in different cultures and in some cases on different odors make the comparison of results a rather difficult task. This led us to better study the influence of the methodology used on the observed results. We therefore decided to conduct two studies in the same 2 countries but with different methodologies (with and without color cues) and for the same odor stimuli, in order to compare and study the real effect of the presentation of colors on color-odor associations.

Consequently, the present study is a comparative study with our previous one (Nehmé *et al.*, 2016) carried out to investigate the contribution of the effect of the methods used on the construction of the color-odor associations, in both Lebanon and France. Thus, our present study will be divided into two parts: in the first part we will be studying the color-odor associations made without color cues in Lebanon and France, and in the second part we will be comparing the methods used both in the present study (without color cues) and in our previous study (with color cues) (Nehmé *et al.*, 2016).

## 2. MATERIAL AND METHODS

### 2.1. Participants

In our previous study (Nehmé *et al.*, 2016) 155 naïve subjects were recruited in France (Université de Lorraine) and 96 subjects were recruited in Lebanon (Université Saint Esprit de Kaslik USEK). In the present study we intend to test the same population in each country to be able to compare the results to the previous ones. It is why 100 new naïve subjects were recruited in France (Université de Lorraine) and 101 new naïve subjects were recruited in Lebanon (Université Saint Esprit de Kaslik, USEK). The participants from France and Lebanon had a mean age of 27. All were naïve with regard to the stimuli and the purpose of the study. The participants were instructed not to wear any fragrance on the day of the sessions and not to have a meal, coffee, or to smoke in the 30 minutes preceding their sessions. Only participants who reported having normal sense of smell with no olfactory dysfunction were tested.

### 2.2. Olfactory stimuli

The same odorants were used in both studies. 15 different types of food and floral natural odorants (Laboratoires Mathé, Maxéville, France) were selected as olfactory stimuli (rose, violet, orange blossom, lavender, cucumber, wild strawberry, lemon, lime, smoked, shallot, pineapple, caramel, mint, peppermint and mirabelle plum). All the odors had the same aromatic intensity (fixed by our supplier) except for mirabelle plum (a small yellow plum, specialty of the French region of Lorraine) which was presented twice with two different aromatic intensities (at low and high intensity). According to Castro *et al.* (2014), we have classified our odors as following: fragrant (rose, violet), woody/ nature (cucumber), non-citrus fruity (wild strawberry, pineapple, mirabelle plum), lemon/citrus (lemon, lime, orange blossom), sharp (shallot), minty/ aromatic (mint, peppermint, lavender), sweet (caramel), sickening (smoked).

Thus, 16 olfactory stimuli were prepared by injecting 1mL of each odorant into a small piece of carded cotton, previously placed inside a small opaque glass bottle. No salient visual cues were therefore available to participants.

### 2.3. Task location and procedure

In both studies and countries, sessions were conducted in sensory testing facilities with individual booths. Each testing booth had white walls and standardized white light source (D65). Each subject

was presented with the 16 olfactory stimuli in a random order. For each olfactory stimulus, participants were asked to open the glass bottle and smell its content.

In the previous study (Nehmé *et al.*, 2016), participants had color samples represented by a color chart consisting in a white A3 size page containing twenty-one color patches arranged in a circle from red to purple, and three achromatic colors (white, gray, black) presented separately in the lower left corner. Each color patch (4 cm in diameter) was identified by a code (one capital letter and one figure). Participants, after smelling each odor, were asked to select among the 24 color patches, one color that they felt closely matched the odor. In the present study no colors stimuli were given to the participants. They had to smell each odorant and to imagine a color evoked by the odorant.

In both studies, after sniffing each olfactory stimulus it was recommended to rest for 1 min and to smell coffee beans presented in a glass bottle. Resting for one minute and smelling coffee beans would eliminate the saturation effect of the nose receptors that can occur after smelling many olfactory stimuli. After having made their choice, in the present study, participants were asked to try to recognize and name the odor.

#### 2.4. Data Analysis

All data was merged across gender, because no significant differences were observed between the answers of men and women. Subjects who were not able to perceive a particular stimulus and thereby rate descriptors were excluded from analysis. All data analysis was performed with SPSS (Version 21). The Chi Square test with a Yates correction was used to assess whether there were any differences between the choices of colors made by the French and the Lebanese participants for each odorant. An alpha value of 0.05 was taken as the level of significance throughout the analysis. A principal component analysis (PCA), which is a powerful multivariate statistical technique was used, in order to reduce the data dimensionality, to make visualization possible while retaining as much information as possible and to let us evaluate the variable interdependencies. PCA was used to visualise the multidimensional distribution of the colors selected in both countries for the 16 odors. To visualize the distribution of odors in each country in the multidimensional color space obtained, scatter plot graphs were superimposed to the principal components space derived from the PCA technique.



### 3. RESULTS

In the first part of the present paper, we will be describing and analyzing the results obtained in the present method, where no color charts were used. In the second part, we will compare both methods (with and without color cues).

#### 3.1. Odor -color associations without the presence of color cues

##### 3.1.1. Analysis of color terms

After analyzing the answers of the participants in both countries, and as expected, different names of colors and sub-colors were collected, but when calculating the percentages of each of these colors, and as stated in table III. 1 and 2, we found that only 11 main colors in both Lebanon and France gathered the highest percentages of answers.

**Table. III. 1.** Percentages of the main categories and sub-categories of colors selected in France.

<b>11 main categories of colors selected in France (in a decreasing order)</b>	<b>Percentage of choice of the main colors</b>	<b>Sub-categories for each main color and its percentage of choice</b>	<b>Total of the main color and its sub-categories</b>
Green	16.3%	Light green (1.06%) - dark green (0.7%) - khaki (0.22%) - bright green (0.11%) - bluish green (0.06%) - grayish green (0.06%) - iced green (0.06%) - moss green (0.06%) - meadow green (0.06%)	18.75%
Yellow	13.11%	Sunset yellow (0.5%) - pale yellow (0.3%) - bright yellow (0.22%) - amber (0.16%) - gold yellow (0.06%) - greenish yellow (0.06%)	14.41%
Brown	12%	Dark brown (0.55%) - caramel (0.5%) - light brown (0.3%) - honey (0.11%) - leather brown (0.11%) - bronze (0.06%) - khaki brown (0.06%) - ocher (0.06%) - gray brown (0.06%)	13.81%

Pink	10.1%	Light pink (0.8%) - dark pink (0.22%) - fuchsia (0.06%) - bright pink (0.06%)	11.24%
Red	8%	Bordeaux (0.4%) - bright red (0.2%) - dark red (0.11%) - carmine (0.06%) - red purple (0.06%) - grenadine (0.06%)	8.89%
White	8%	Beige (0.8%) - pearl beige (0.33%)- pastel (0.06%)	9.19%
Violet	6.11%	Mauve (1%) - parma color (0.11%)- magenta (0.11%) - pastel mauve (0.06%) - aubergine (0.06%)	7.45%
Orange	5.5%	Reddish orange (0.06%) - dark orange (0.06%)	5.62%
Blue	4.5%	Light blue (0.2%) - dark blue (0.2%) - cyan (0.11%) - navy blue (0.11%) - indigo (0.06%) - bright blue (0.06%) - aquamarine ( 0.06%) - turquoise (0.02%)	5.32%
Black	3%	No sub categories	3%
Gray	1.9%	Light gray (0.22%) - Grey blue (0.1%)- dark grey (0.1%)	2.32%

**Table. III. 2.** Percentages of the main categories and sub-categories of colors selected in Lebanon.

<b>11 main categories of colors selected in Lebanon(in a decreasing order)</b>	<b>Percentage of the main color</b>	<b>Sub-categories for each main color</b>	<b>Total of the main color and its sub-categories</b>
Green	17.2%	Dark green (0.22%) - light green (0.17%) - bright green (0.06%) - pistachio (0.06%) - yellowish green (0.06%)	17.77%
White	14%	Beige (1.471%) - pinkish white (0.06%)	15.531%

Yellow	13.02%	Pale yellow (0.22%) - sunset yellow (0.11%) - greenish yellow (0.06%)	13.40%
Pink	12.6%	Reddish pink (0.22%) - light pink (0.2%) - violet pink (0.11%)	13.13%
Brown	11.4%	Honey (0.33%) - caramel (0.27%) - dark brown (0.27%) - light brown (0.06%) - leather brown (0.06%) - bronze (0.06%) - gray brown (0.06%)	12.51%
Red	10.022%	Bordeaux (0.55%) - dark red (0.33%) - light red (0.11%) - red purple (0.06%) - sunset red (0.06%).	11.132%
Violet	5.34%	Dark violet (0.06%) - light violet (0.06%)	5.46%
Black	5.011%	No sub categories	5.011%
Orange	3%	Salmon orange (0.06%)	3.06%
Blue	2.35%	Violet bleu (0.22%) - turquoise (0.11%) - light blue (0.06%) - dark blue (0.06%)	2.792%
Gray	0.4%	Greenish gray (0.06%)	0.46%

As can be seen in table III. 1 and 2, participants from France used 66 different color words to describe the odor stimuli while 44 color words were used in Lebanon. These colors can be classified into main categories of colors and sub-categories of the main color. As observed, few participants answered by using sub-colors, so, in both countries, mainly 11 basic colors were quoted by the majority (white, blue, gray, yellow, brown, black, orange, pink, red, green and violet) which is an inferior number to the 24 colors patches used in our first study. In the rest of the study only these 11 colors will be taken into consideration.

### 3.1.2. Differences in colors quoted in both countries

Significant differences ( $p < 0.05$ ) in odor-color associations were found between the 2 countries as listed in table 3.

**Table. III. 3.** Significance of differences in odor-color associations between Lebanon and France using  $\chi^2$  tests with Yates correction and Cramer values (NS: non-significant difference; S: significant difference with  $p < 0.05$ ,  $V_c$ : Cramer Value).

Odors Stimuli	France-Lebanon	
Rose flower	S	$\chi^2(10)=49.14$ , p value<0.0001, $V_c= 0.49$
Violet flower	NS	$\chi^2(9)=14$ , p value =0.12, $V_c= 0.26$
Orange blossom	S	$\chi^2(10)=36.63$ , p value<0.0001, $V_c= 0.42$
Lavender	S	$\chi^2(8)=18.94$ , p value=0.01, $V_c= 0.3$
Cucumber	S	$\chi^2(10)=37.22$ , p value<0.0001, $V_c= 0.43$
Wild strawberry	S	$\chi^2(10)=19.68$ , p value=0.03, $V_c= 0.31$
Lemon	NS	$\chi^2(9)=13.29$ , p value=0.15, $V_c= 0.25$
Lime	S	$\chi^2(9)=23.32$ , p value=0.006, $V_c= 0.341$
Pineapple	S	$\chi^2(10)=24.29$ , p value=0.007, $V_c= 0.348$
Smoked	S	$\chi^2(8)=17.89$ , p value=0.02, $V_c= 0.29$
Shallot	S	$\chi^2(10)=28.58$ , p value=0.001, $V_c= 0.37$
Caramel	S	$\chi^2(7)=27.37$ , p value<0.0001, $V_c= 0.36$

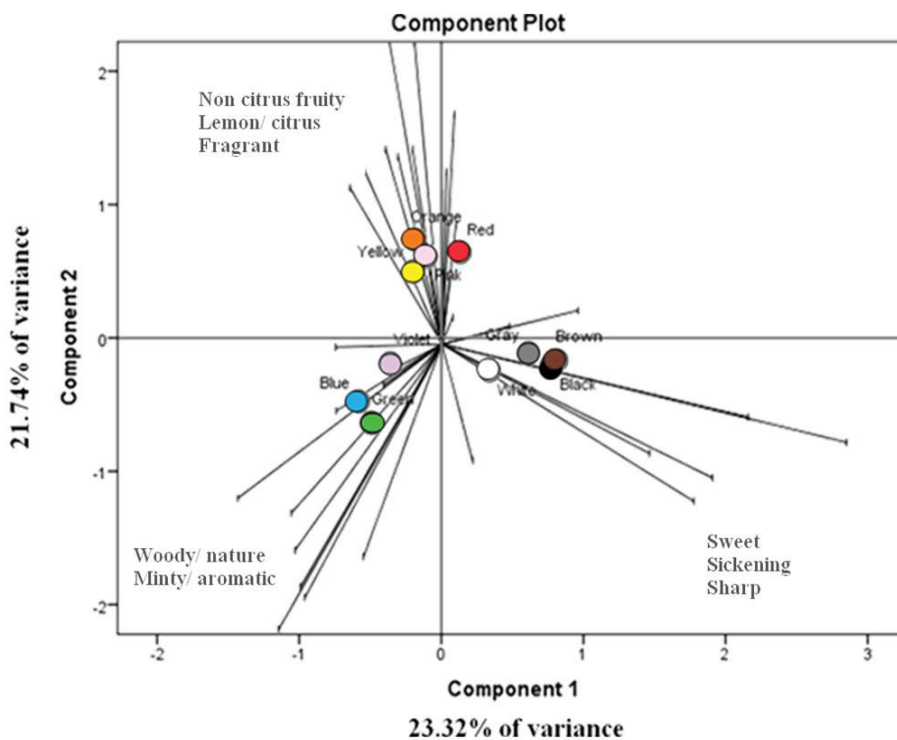
Mint chlorophyll	NS	$\chi^2(8)=9.44,$ p value=0.3, $V_c= 0.21$
Peppermint	NS	$\chi^2(7)=8.25,$ p value=0.31, $V_c= 0.20$
Mirabelle plum (high intensity)	NS	$\chi^2(11)=16.08,$ p value=0.1, $V_c= 0.28$
Mirabelle plum (low intensity)	NS	$\chi^2(11)=18.10,$ p value=0.07, $V_c= 0.3$

As can be seen in table 3, ten significant differences were found between Lebanese and French groups, when tests were made without the use of color charts. Differences were found between the 2 countries for rose, orange blossom, lavender, cucumber, wild strawberry, lime, pineapple, smoked, shallot and caramel odors.

We realized a PCA, upon which we superimposed a scatter plot graph in order to visualize these differences in space. An Eigenvalue higher than 1.0 was selected to choose principal components (PC). Most of the variation in the data set can be explained by the first 5 components. These 5 PCs explained 79.46% of the cumulative variance. The first two PCs explained 45.06% of the cumulative variance and they discriminated the families of odors, as can be seen in figure III. 1.

Figure III. 1 shows the discrimination of three groups of odor families by colors with the first two PCs. Yellow, orange, red and pink colors will discriminate the non-citrus fruity, the lemon/citrus and the fragrant odor families. White, gray, brown and black will discriminate the sweet, sickening and sharp odors. And finally, violet, blue and green colors discriminate woody/nature and minty/aromatic odors.

The other combinations of the 5 PCs revealed the ten significant differences for the odors, in terms of color choice between Lebanon and France (figure III. 2).

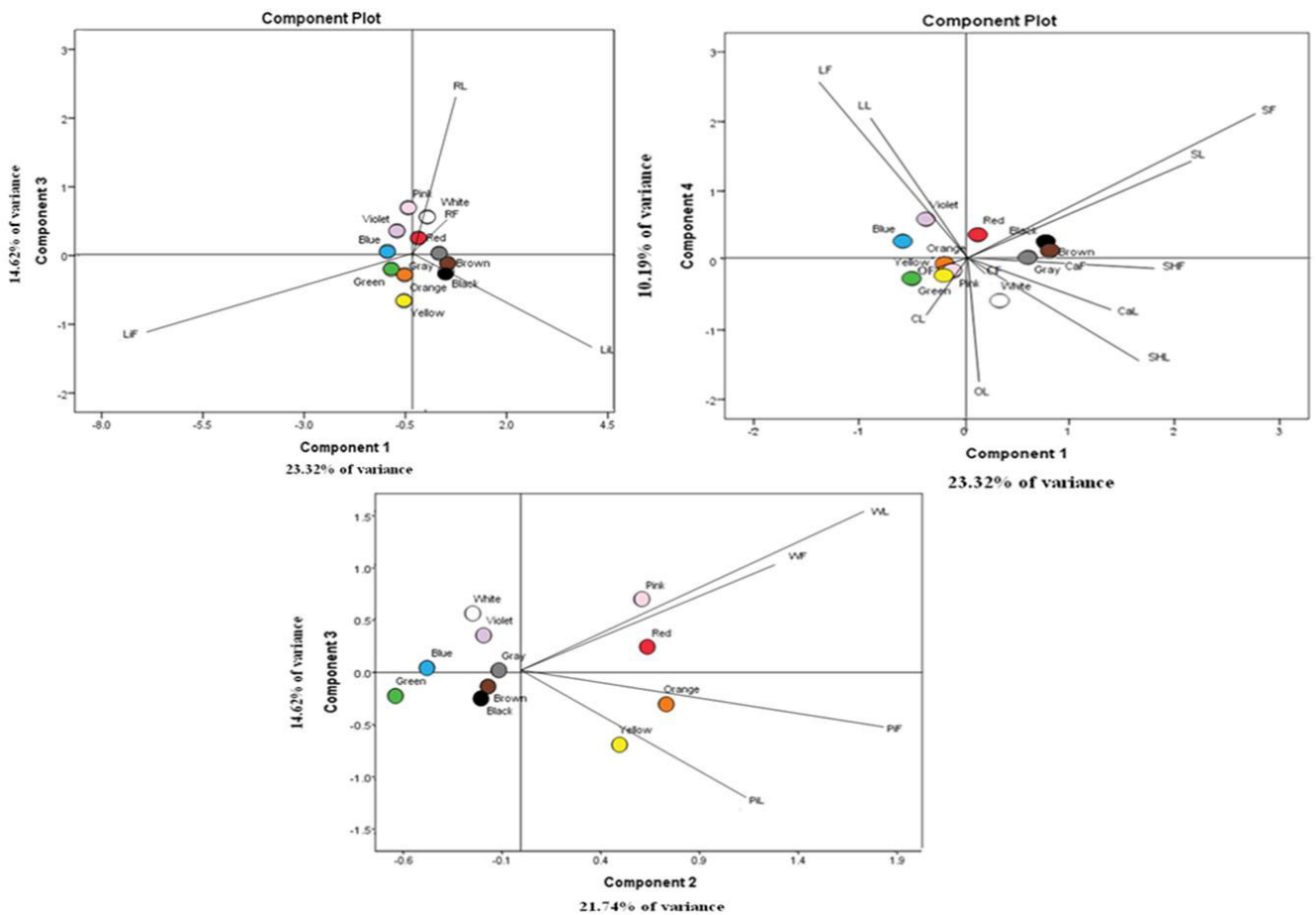


**Fig.III. 1.** Principal components analysis combined with scatter plot visualizing the distribution of odors (represented as bands on the plot) according to the distribution of colors in the first two principal component's space.

Significant differences can be obtained in one or several cases. In fact, this could be due to the differences in the main chosen colors in each country; the differences in the frequency or percentage of choice of the same color; or in the case of differences in most of the selected colors in each country.

Looking at figure III. 2, PC 1 and PC 3 discriminated the differences for Rose and Lime odor. In fact, the differences for French and Lebanese citizens is in the percentage of choice of the same main colors for these two odors.

For rose odor, both countries selected mainly pink and white with differences in the percentage of choice. This association could have been affected by the recognition rate of the odor, 21% of the French subjects recognized the rose odor while in Lebanon 65% of the subjects recognized the rose odor. Lime odor was linked to yellow in both countries, with a difference in the percentages of choice, and as secondary colors, black and brown were more often chosen in Lebanon, while in France after yellow, blue and green were selected. In France, the recognition rate was 31 %, in Lebanon it was 7% due to the fact that it was confused in some cases with the odor of the coca cola soft drink.



**Fig.III. 2.** PCAs combined with scatter plots to visualize the ten odors realizing significant differences between both countries. The first plot discriminating the differences for RL, RF, LiL and LiF in the PC1 and PC3 space. The second plot discriminating the differences for LL, LF, SL, SF, SHL, SHF, CaL, CaF, CL, CF, OL, OF in the PC1 and PC4 space. The third plot discriminating WL, WF, PiL and PiF in the PC2 and PC 3 space. (L: Lebanon, F: France)(respectively R:rose, Li:lime, L:lavender, S:smoked, SH: shallot, Ca: caramel, C:cucumber, O:orange blossom, W: wild starwberry, Pi:pineapple).

PC 1 and PC 4 discriminated lavender, smoked, shallot, caramel, cucumber and orange blossom odor. In fact, orange blossom and shallot odors differed between both countries in the choice of the main color, while the rest of the odors had the same chosen main color in both countries but differed in the percentage of choice.

The main colors selected for orange blossom in France were green, blue and white, while in Lebanon white was the main color selected. The recognition rate may have interfered in the color-odor association. In fact, only 19% of the participants in France recognized the orange blossom, while in Lebanon a higher recognition rate was registered, where 57% of the subjects recognized the odor. Shallot odor registered a significant difference in the main color selected by both

countries. In France, it was mainly linked to brown, black and gray colors while in Lebanon it was mainly linked to white. None of the Lebanese participants recognized the shallot odor, but 35% of the Lebanese recognized the onion odor, and 31% said it was the odor of garlic. In France, one participant recognized the shallot, while 9% of the participants recognized it was the odor of onions, without knowing the species, and 24% said it was garlic.

Cucumber odor in Lebanon was mainly associated to green. In France, it seems to be linked to green as well while being also linked to brown, black and gray. These choices were probably due to the very low recognition rate in France, where only 15% recognized the odor and 67% said they did not know the odor, whereas in Lebanon, 71% recognized the odor. Caramel odor in both countries was linked to brown. The differences reside in the percentage of choice. The association of both countries to brown may be due to the high recognition rates: in Lebanon 69% of the tested population, while in France 65%. Smoked and lavender are also discriminated on the graph. Both of them had differences in the percentage of choice. Smoked was, in both countries, linked mainly to brown, black and gray. Lavender was linked in both populations to violet. In both countries, it was linked to blue and green as well, as secondary colors but more often in France.

PC 2 and PC 3 discriminated both wild strawberry and pineapple odors, they differed between the two countries in the percentage of the main color chosen.

Both countries mainly linked the odor of pineapple to yellow but with differences in the percentage of choice. As secondary colors, in France it was considered more red and orange than in Lebanon. This could be due to the low recognition rate in France (16%) and the high recognition rate in Lebanon (58%). Wild strawberry odor also indicates a discrimination on this graph, both countries mainly linked it to red but in Lebanon it was linked more often to pink and white as secondary colors.

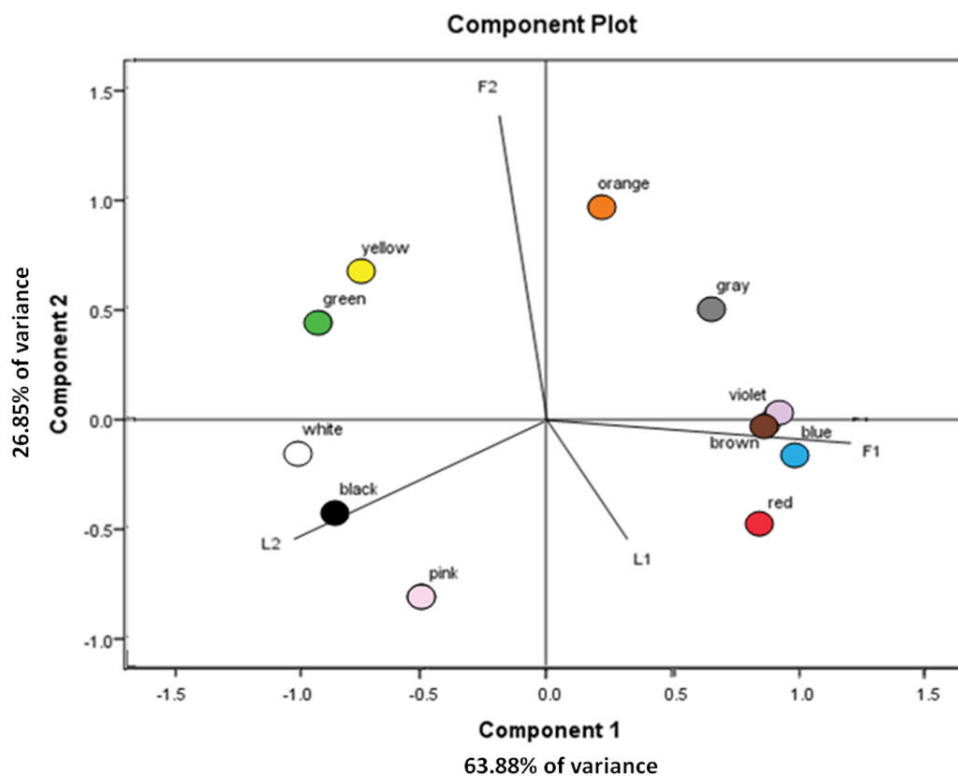
### 3.2. Comparison between both studies

The second part of the present study will focus on the comparison of the two methods used in the present study and in our previous one (Nehmé *et al.*, 2016), to examine the effect of the presence of color cues on the establishment of the color-odor associations. In order to be able to compare both methods, we had to decrease the number of colors used in the first study (Nehmé *et al.*, 2016) from 24 to 11. To do so, using the chromatic field of these 24 colors, we grouped them according to the 11 colors.

Firstly, a PCA test, combined with a scatter plot graph, was used to study the preference in terms of colors for both countries in both methods, by merging all odors as can be seen in figure 3. An



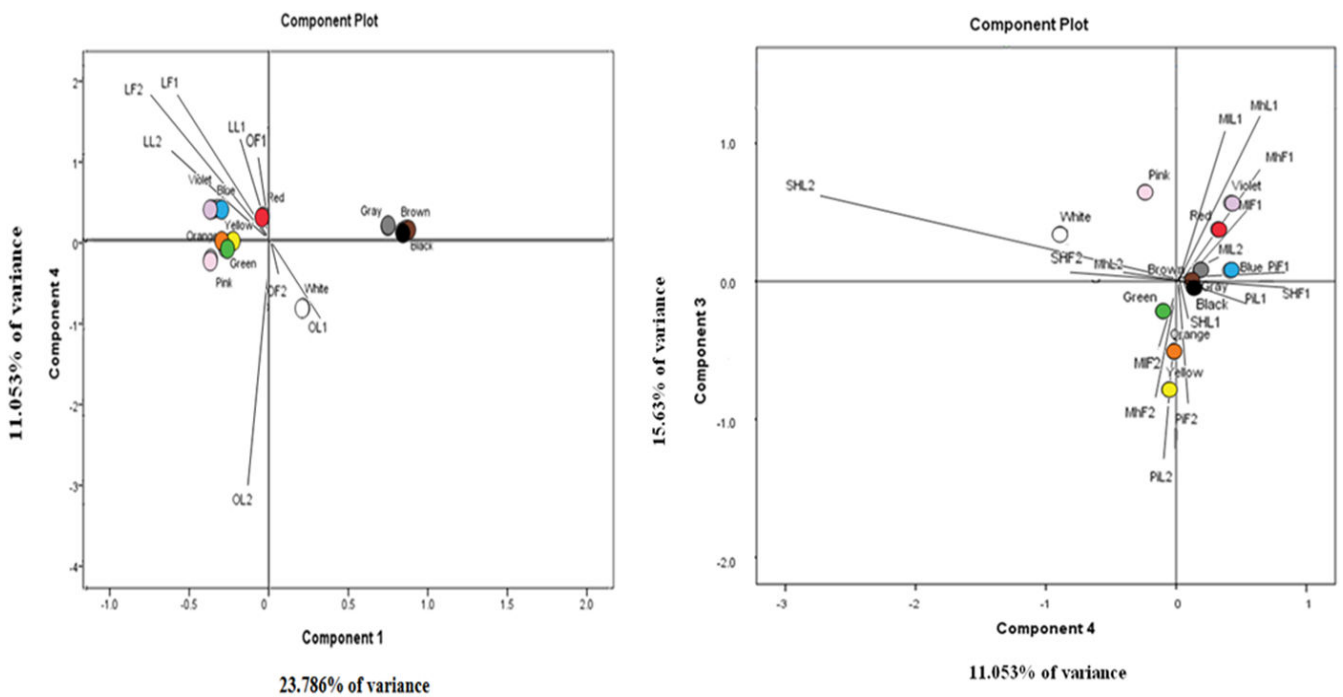
Eigenvalue higher than 1.0 was selected to choose principal components (PC). Most of the variance in the data set was explained by the first two PCs representing 90.74% of the cumulative variance. As can be seen in figure III. 3 representing PC 1 and PC 2, Lebanese in the first study with color cues (L1) tend to choose red, black and pink colors to describe the odors, while in the second study (L2), without color cues, they tend to choose white, green and black. French citizens in the first study (F1), have chosen blue, violet, gray and brown colors, while in the second study (F2) they favored gray and orange.



**Fig.III. 3.** PCA combined with scatter plot visualizing the preference in terms of colors of both countries in both methods (L1: Lebanon with color cues, F1:France with color cues, L2: Lebanon without color cues, F2: France without color cues).

Secondly, the differences obtained in the main colors chosen were analyzed. Six odors have differences in the color-odor associations between the two methods. These six odors are: orange blossom, lavender, pineapple, shallot, mirabelle plum (high intensity) and mirabelle plum (low intensity). PCA analysis, combined with a scatter plot graph, were used to visualize in the multidimensional space, these differences of colors used to describe the six odors. An Eigenvalue higher than 1.0 was selected to choose principal components (PC). Most of the variation in the data set can be explained by the first 4 components. These 4 PCs explained 71.31% of the cumulative variance.

PC 1, PC 3 and PC 4 helped us discriminate the six odors, as can be seen in figure III. 4.



**Fig.III. 4.** PCAs combined with scatter plots to visualize the six odors realizing significant differences between both method. The first plot discriminating the differences for LL1, LL2, LF1, LF2, OL1, OL2, OF1 and OF2 in the PC1 and PC4 space. The second plot discriminating the differences for PiL1, PiL2, PiF1, PiF2,SHL1, SHL2, SHF1, SHF2, MhL1, MhL2, MhF1, MhF2, MIL1, MIL2, MIF1 and MIF2 in the PC4 and PC3 space. (L1: Lebanon with color cues; F1:France with color cues, L2:Lebanon without color cues, F2: France without color cues) (respectively: L:lavender, O:orange blossom, Pi: pineapple, SH: shallot, Mh: mirabelle plum high intensity, MI: mirabelle plum low intensity).

PC 1 and PC4 discriminated the differences for orange blossom and lavender. Orange blossom for Lebanese with color cues (OL1) is mainly associated to white. Orange blossom in Lebanon without color cues (OL2) was also associated mainly to white but in a higher percentage than in OL1, while for French citizens, in the presence of color cues, OF1 seems to be associated to blue and OF2 seems to be associated to white, green and blue. Lavender odor in the previous study for Lebanese (LL1) (Nehmé *et al.*, 2016) was associated to violet, blue and green. French citizens, with color cues (LF1), also associated lavender odor to violet, green and blue. While in the present study LL2 and LF2 seems to be more violet and less green and blue.

PC 4 and PC 3 discriminated the differences for pineapple, shallot, mirabelle plum (high intensity) and mirabelle plum (low intensity). As can be seen in figure III. 4, citizens in Lebanon and France with color cues, tend to link pineapple (PiL1 and PiF1) more to red, pink and violet than to yellow and orange, in opposite to the absence of colors (PiL2 and PiF2). Shallot for Lebanese with the use of color cues (SHL1) was linked to black, brown and gray and less to white, while SHL2 (shallot

for Lebanese without color cues) was mainly linked to white. SHF1 tends to be linked to black, brown and gray, while SHF2 seems to be associated to the same colors, but in France, without color cues, a high percentage of the citizens also linked it to white. Both mirabelle plum high intensity (MhL1 and MhF1) with color cues were mainly linked to violet, red and pink while mirabelle plum high intensity in France without color cues (MhF2) was mainly linked to yellow and orange and MhL2 was mainly linked to pink, violet, red and white. Mirabelle plum low intensity in Lebanon with color cues (MIL1) was mainly linked to violet, red and pink as well as MIL2 but with differences in the percentage of choice of these colors. In France with color cues (MIF1) it was mainly linked to red, violet and pink. But in the absence of colors (MIF2) it was associated mainly to yellow and orange.

#### 4. DISCUSSION

First, unsurprisingly our results confirm the existence of consistent crossmodal associations between specific odors and colors in each tested population, as several studies have demonstrated before (Levitan *et al.*, 2014 ; Maric *et al.*, 2012; Nehmé *et al.*, 2016). In fact, the associations of colors to odors in each population are stable and not random. We can take as an example, orange blossom odor where its association in Lebanon with the same consistent white color in both tests, realized at two years' interval, proves the non-random associations.

The comparison between both methods (with and without color patches) predictably shows differences in the results obtained. We obtained 6 odors showing significant differences in color-odor associations between both methods. These odors were: orange blossom, lavender, pineapple, shallot, mirabelle plum (high intensity) and mirabelle plum (low intensity). When looking closely at these differences, one can clearly notice that semantic and perceptive associations played a role in the creation of the color-odor link. According to Stevenson *et al.*, (2012), to determine whether the crossmodal correspondence arises as a consequence of the semantic and/ or perceptual mechanisms, one must first examine which odor characteristics (intensity, irritancy, hedonics, familiarity, nameability) co-varies with which crossmodal match; if crossmodal correspondences seem to rely on odor characteristics that relate more to semantic processes (nameability, familiarity), one may infer that semantic processes may be involved in mediating that correspondence. Similarly if a crossmodal match were associated with a perceptual (intensity, irritating and hedonics) odour characteristic this would suggest some form of perceptual communality might have mediated that match. In fact, a semantic association in the absence of color cues was observed for orange blossom in both countries, lavender in both countries, pineapple in both countries, shallot in both countries

and both mirabelle plum (high and low intensity) in France. Moreover a semantic association was also observed in Lebanon for orange blossom in the presence of color cues, while a perceptive association was observed in the presence of color cues for lavender in both countries; pineapple in both countries; shallot in both countries and both mirabelle plum (high and low intensity) in France and Lebanon. Furthermore a perceptive association was also observed in Lebanon for both mirabelle plums (high and low) in the absence of color cues.

We can take orange blossom odor as an example. The odor of orange blossom has underlined the importance of odor function in odor-color association. In Lebanon, orange blossom water is a transparent liquid added to most of the Lebanese sweets, pastries, and there is a popular hot beverage in Lebanon called "café blanc" or white coffee, where orange blossom water is added to hot water and served to guests. In fact, in Lebanon orange blossom is usually used in food and pastries in addition to the juice of rose flower, where both are usually mixed and used together. This explains the fact that 21% of the Lebanese confused the odor of orange blossom with the odor of rose in the present study, while in France only one person did. The high recognition rate realized for the odor in Lebanon (57%), in the present study, demonstrates the fact that the white color was chosen on purpose, while in France this odor was associated mainly to green, white and blue in the absence of colors. In fact, after analyzing the answers in details, it was noticed that French subjects confused the orange blossom odor with other food or floral odors colored in green like verbena, peppermint, eucalyptus, ginger etc. So, French citizens linked the odor to the color of the object they thought they recognized. We can thus notice that mainly semantic associations influenced the answers of the French and Lebanese citizens in the absence of color cues. In the presence of color cues, French citizens chose the color blue due to the fact that this odor is mainly used in cosmetics and fragrance industries and in household products, so mainly the function of it affected its association to a color.

The decrease in the percentage of green and blue colors and the increase of the violet color for lavender odor in the absence of color cues, also clearly shows the passage from a perceptive association to a semantic one when no color cues were presented.

In the case of pineapple odor and in the presence of color cues, both countries linked it to red, violet and pink and in the absence of color cues both linked it to the yellow color of the fruit. The odor of pineapple, in the presence of colors, was associated to the sweet character of the fruit rather than the exotic fruit itself. It is why in both country's subjects associated it to the red color typical for sweet fruity odors. In fact, according to Wadhera & Capaldi-Phillips (2014), the type and intensity of color can affect the perceived taste of a solution. Several studies across the years have shown (Johnson *et al.*, 1982; Lavin & Lawless, 1998) that red-colored solutions were rated sweeter than

green or uncolored solutions, and dark red solutions were rated sweeter than light red solutions. On the other hand, adding red color to clear solutions significantly increased detectability of sweetness (Johnson & Clydesdale, 1982). This association is due to our acquired color-flavor associations, where redness indicates ripeness or maturity of a fruit. In addition, Koch & Koch (2003) demonstrated in their study that red colors are positively correlated with fruity odors. It is why after sniffing the odor and looking at the color patches participants thought the red color was more adequate to describe the sniffed odor of the sweet fruit without trying to really recognize the odor. While in the absence of color cues, participants tried to first recognize the odor and to link it later on to the specific color of the recognized object, in fact, Lebanese subjects registered 58% of recognition rates while French realized a much lower recognition rate (16%). In France indeed, the odor was confused with other yellow colored object odors such as banana, lemon, exotic fruits etc. So, in both cases, they linked it to yellow because they recognized the pineapple odor or they thought they recognized the odor of another yellow colored object. So, clearly in the absence of color cues, the association for pineapple odor was semantic and in the presence of colors it was perceptive.

For shallot odor, the passage from black, gray and brown for SHF1 to black, gray, brown and white for SHF2 also indicates that, without color cues, participants focus more on the odor itself to try to recognize it, they do not stop on just recognizing the category to which it belongs.

Both mirabelle plums (high and low intensity) in France, without the presence of color cues, realized a semantic association. Its odor was associated to yellow and orange colors, due to the fact that most of them associated the mirabelle odor to the alcoholic beverage made from it, in fact most of them said it was an alcoholic or a liquor odor, without indicating which alcohol. Noting that mirabelle alcohol is the specialty of French citizens living in Lorraine where the tests were done, and it has a yellow color. Some of the participants who have indicated that it is the odor of the mirabelle fruit itself, could have linked it to the acid aspect of the fruit and the yellow color of the fruit itself. Indeed, Koch and Koch (2003), have demonstrated that people have preconceptions about taste based on color. In their study, they showed that yellow and orange were positively associated with citrus and acid fruit taste. Therefore, in both cases it is a semantic association. While for mirabelle plums (high and low) in France in the presence of color cues and in Lebanon in both methods (presence and absence of color cues) the associations were perceptive. In Lebanon, it could be due to the fact that the mirabelle fruit is neither planted nor exported to the country. Lebanese citizens do not know the fruit their association to the red, pink and violet colors were made because they confused the mirabelle odor with other fruit odors like exotic fruits. So they mainly linked the color to the fruity aspect of the odor, which clearly is a perceptive association,

while in France in the presence of color as we have demonstrated, the participants linked it to the color of the fruity category.

So first of all, in our previous study we demonstrated that semantic and perceptive associations played a role in the color-odor association in the presence of color cues, given that in most of the odors tested, subjects tend to associate the odor to the color of its object when recognized, which is a semantic association. Or they will link the odor to a specific category, to associate it later to the color of this category which we call a perceptive association. And by conducting the present study, we realized that, in both methods, subjects will tend to link the odor stimuli to the color of the recognized object or the recognized category, as Chrea *et al.*, have demonstrated in their studies (2004 and 2005). However, in the absence of color cues, semantic associations are more observed, due to the fact that subjects will focus their attention on recognizing the odor before linking it to a color, which explains the high recognition rates in the majority of the odors. So, mainly according to the method used (with or without colors), the transition from semantic to perceptive association (or the opposite) can be obtained for the same odor.

In fact, according to Dubose *et al.* (1980) and Zellner *et al.*, (1991), the presence of congruent color with the odor, will increase the recognition rates to 70%, while incongruent colors will decrease the recognition rates to 28%. In the first study conducted (Nehmé *et al.*, 2016) we presented color patches containing 24 colors, some of these colors are congruent and some of them are incongruent with each odor presented. Therefore, when participants are looking at these colors, they will be passing from congruent to incongruent colors which will affect their perception of the odor and they might confuse between the color of the object they have in mind and the color of the category to which it belongs. But in the present study, and without the use of colors, we clearly found in most of the 6 differences between both methods, that without color cues, the recognition rates were high because participants searched and focused until recognizing the odor to associate to it the right color of its object. Without colors, subjects are focusing on the odor itself, while in the presence of color patches subjects will look simultaneously to congruent and incongruent colors which will cause their distraction from actually recognizing the odor and linking to it the color. In fact, according to Gottfried and Dolan (2003) the presentation of visual stimuli (i.e., complex pictures) can influence olfactory information processing. They have reported that people detected the presence of an odor more rapidly and accurately when a semantically congruent picture was presented at the same time. But the palettes used in the previous study didn't have only congruent colors but also incongruent ones. Therefore, subjects will no longer focus on the odor but they will be lost looking at both congruent and incongruent colors.

In another study, Zellner (2013) explains that the presence of a color will activate certain odor images and verbal labels in memory that correspond to that color (probably through learning). Rather than having to select from all possible odor images and labels, the subjects now focus their initial search on those odor images and odor labels that correspond to that color. The presented odor is compared to odor images corresponding to that color, until a match is found. Other studies have highlighted the neural mechanisms by which these effects might occur (e.g., Anderson *et al.*, 2003; De Araujo *et al.*, 2005; Veldhuizen and Small 2011). In fact, it has long been known that the orbitofrontal cortex (OFC) contains cells that respond to both visual and olfactory inputs in nonhuman primates (Rolls & Baylis, 1994). More recent neuroimaging studies provide additional support to the idea that extrinsic cues, such as colors and labels, change the perception of odors, rather than simply producing changes in ratings due to response bias. Without a color cue, the subject has to compare the odor with all odor images in memory. Our results are in agreement with these statements, given that, during our tests, the simultaneous presence of both congruent and incongruent colors will cause the subjects to focus on some specific colors and try to find in their memory an image of this color and the odor he is smelling. Subjects will thus associate to the odor the first color they see that could be considered as congruent. For example, a subject could be associating the red color to the fruity side of the pineapple odor because he could have seen the red color first before seeing yellow. For a specific odor many colors could be associated some are more congruent than the others. In fact, the color of the category to which belong the odor is a congruent color, but the color of the main odor's object is a more congruent one. While looking to a palette of colors subjects might link the first congruent color they see, which could be the color of the odor's category, without trying to recognize the odor and to find the more congruent color.

Actually without color cues odors realized higher recognition rates, which contradict the results obtained by Dubose *et al.*, 1980, who stated that without any color recognition rates will only attain 37%. When calculating the mean of the recognition rates in the present study (without color cues) in France and Lebanon, we obtained in France the rate of 38.75 % which is clearly a close value to the rate obtained by Dubose *et al.*, 1980. But in Lebanon a much higher rate of 56.87% was observed. This difference in the mean recognition rate between both countries could be due to the consumption rate of the odor in each country. For example, in Lebanon orange blossom, pineapple, cucumber, rose, lavender, lemon and mint have realized a much higher recognition rate than in France, due to the fact that these odors or products are widely used in Lebanon and on daily bases. In fact, lemon and mint are used every day to prepare some of the specific dishes of the Lebanese *mezze* such as *fattouch* or *tabboulé*. Rose water and orange blossom water are used in the typical pastries of the country. Pineapple is a common juice for all occasions. Cucumber in Lebanon is

usually always present on the table even for breakfast and lavender is a very well-known plant in Lebanon. So most of these odors are more used in Lebanon than in France, which could have led to the higher recognition rate in Lebanon. But in both cases, and in the absence of color cues, the minimal recognition rate that we have obtained is a little higher than the one obtained by Dubose *et al.*, 1980.

Secondly according to Zellner (2013), when colors accompany odors, our perception of odors changes. This was proven in the present study. If colors do not affect color-odor association, we should have obtained the same results in both studies. When asking participants to imagine a color, they could only imagine 11 basic colors. These colors are white, blue, gray, yellow, brown, black, orange, pink, red, green and violet and represent less than the half of the 24 color patches used in the previous study. As answers participants gave basic colors, without describing the shades of the color they had in mind. This is why we would have expected fewer differences in the absence of color patches than with it, but it was not the case. So clearly, the presence of visual cues interferes with color-odor associations.

Although in the presence of color patches less significant differences were found between Lebanon and France (4) (Nehmé *et al.*, 2016), and more in the absence of color patches (statistically 10 but in terms of differences in the main color 5). When looking closer it was found that most of these differences in the presence of colors were perceptively associated, while in the absence of colors the odors were more semantically associated.

In fact, in both methods, subjects will tend to associate the odor to congruent colors. In the presence of color patches these congruent colors could be the congruent colors of the category of odors (due to the fact that the subjects could have seen it first), or the congruent colors of the smelled object, or even an incongruent color. But, in the absence of color cues subjects tend to analyze the odor more precisely and they will realize high recognition rates causing them to make semantic associations.

## 5. CONCLUSION

In conclusion, the present study aimed to investigate first the odor-color associations in two countries: Lebanon and France. As expected, our results confirm the existence of consistent crossmodal associations between specific odors and colors in each tested population as can be demonstrated, for example, by the consistency of choice of the same main color for orange blossom in Lebanon in both studies. In addition, we showed that the link of odors to colors in each country, is related to the function of the odor in the country and to the recognition rates of the odorant object.



Our second aim, in the present study, was to compare two methods that can be used in the investigation of the combination of odors and colors, one method was with the presence of color cues, and the other method, where no color cues were used. When comparing both methods, we obtained in the presence of color cues, fewer differences between both countries(4), while without color cues 10 odors realized significant differences (statistically). 5 of these odors showed significant differences in the choice of the main color. In fact, in the presence of colors fewer differences could be found, but subjects in most of the cases were linking the odor to the congruent color of the category (perceptive association) which could be the first congruent color they see on the palette, and not to the congruent color of the object itself (semantic association). However, in the absence of color cues, subjects had to concentrate and try to recognize the odor, this caused high recognition rates in both countries and made the associations semantic. Further studies should be made to clarify these mechanisms, and recognition rates should always be calculated. This is why, in our future studies we will be focusing on the effect of colors on the color-odor association by an eye tracking device to realize finer analysis and to understand the choice of the participants. Also we suggest the use of the re-situ subjective interview method (Rix & Biache, 2004) which by recording with a camera placed on the glasses of the participants during the test, and later confronting the participant in the presence of the researcher to the video recording, will allow the researcher to have a closer view of the participant's response during the act, and will allow the participant to accompany the researcher in what, at the time of the practice, made sense for him.

*Raw data tables are available upon request.*

## REFERENCES

- ANDERSON, A.K., CHRISTOFF, K., STAPPEN, I., PANITZ, D., GHAREMANI, D.G., GLOVER, G., GABRIELI, J.D.E. and SOBEL, N. 2003. Dissociated neural representations of intensity and valence in human olfaction. *Nature Neuroscience*. 6, 196-202.
- BALLESTER, J., ABDI, H., LANGLOIS, J., PEYRON, D. and VALENTIN, D. 2009. The odor of colors: can wine experts and novices distinguish the odors of white, red, and rosé wines? *Chemosensory Perception*. 2 (4), 203-213.
- BULT, J.H.F., DE WIJK, R.A., and HUMMEL, T. 2007. Investigations on multimodal sensoryintegration: Texture, taste, and ortho- and retronasal olfactory stimuli in concert. *Neuroscience Letters*. 411, 6–10.

- CASTRO, J.B., QUINN, S.P., RAMANATHAN, A. and CHENNUBHOTLA, C.S. 2014. Categorical, low-dimensional decomposition of human odor space with non-negative matrix factorization. *Flavour*. 3, (S1), P3.
- CHARROUD, C., JACQUOT, M., TONNELET, R., BOYER, J., NEHMÉ, L., NOËL, F., FELBLINGER, J., BRAUN, M. and HOSSU, G. (submitted article). Olfactory suggestion capacity of colors: a functional MRI study.
- CHREA, C., VALENTIN, D., SULMONT-ROSSE, C., LY MAI, H., HOANG NGUYEN, D., and ABDI, H. 2004. Culture and odor categorization: agreement between cultures depends upon the odors. *Food Quality and Preference*. 15, 669-679.
- CHREA, C., VALENTIN, D., SULMONT-ROSSÉ, C., HOANG NGUYEN, D., and ABDI, H. 2005. Semantic, typicality and odor representation: Across-cultural study. *Chemical Senses*. 30, 37-49.
- CRUZ, A., and GREEN, B.G. 2000. Thermal stimulation of taste. *Nature*. 403, 889–892.
- DE ARAUJO, I.E., ROLLS, E.T., VELAZCO, M.I., MARGOT, C. and CAYEUX, I. 2005. Cognitive modulation of olfactory processing. *Neuron*. 46, 671-679.
- DELWICHE J.F. 2012. You eat with your eyes first. *Physiology & Behavior*. 107, 502-504.
- DEMATTE, M.L., SANABRIA, D. and SPENCE, C. 2006. Cross-Modal associations between odors and colors. *Chemical Senses*. 31, 531-538.
- DUBOSE, C.N., CARDELLO, A.V. and MALLER, O. 1980. Effects of colorants and flavorants on identification, perceived flavor intensity and hedonic quality of fruit-flavored beverages and cake. *Journal of Food Science*. 45, 1393-1399.
- GILBERT, A.N., MARTIN, R. and KEMP, S.E. 1996. Cross-modal correspondence between vision and olfaction: the color of smells. *American Journal of Psychology*. 109, 335-35.
- GOTTFRIED, J.A. and DOLAN, R.J. 2003. The nose smells what the eye sees: crossmodal visual facilitation of human olfactory perception. *Neuron*. 39, 375-386.
- JACQUOT, M., NOEL, F., VELASCO, C. and SPENCE, C. 2016. On the colours of odours. *Chemosensory Perception*. 9, 79-93.

- JOHNSON, J.L. and CLYDESDALE, F.M. 1982. Perceived sweetness and redness in colored sucrose solutions. *Journal of Food Science*. 47, 747-752.
- JOHNSON, J.L., DZENDOLET, E., DAMON, R., SAWYER, M. and CLYDESDALE, F.M. 1982. Psychological relationships between perceived sweetness and color in cherry- flavored beverages. *Journal of Food Protection*. 45, 601-606.
- KOCH, C. and KOCH, E. 2003. Preconceptions of taste based on color. *The Journal of Psychology*. 137 (3), 233-242.
- LAVIN, J.G. and LAWLESS, H.T. 1998. Effects of color and odor on judgments of sweetness among children and adults. *Food Quality and Preference*. 9, 283-289.
- LEVITAN, C., REN, J., WOODS, A., BOESVELDT, S., CHAN, J., MCKENZIE, K., DODSON, M., LEVIN, J., LEONG, C. and VAN DEN BOSCH, J. 2014. Cross-Cultural Color-Odor Associations. Available at Plosone: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0101651>.
- MARIC, Y., BARBAR, R. and JACQUOT, M. 2012. As pink as an orange blossom odour: a French-Lebanese cross-cultural study. *Proceedings of AIC Colour 2012. Interim Meeting of the International Colour Association*.
- MARIC, Y. and JACQUOT, M. 2013. Contribution to understanding odour-color associations. *Food Quality and Preference*. 27, 191-195.
- MARKS, L.E. 2011. Synesthesia, then and now. *Intellectica*. 55, 47-80.
- MORROT, G., BROCHET, F. and DUBOURDIEU, D. 2001. The color of odors, *Brain Language*. 79, 309-320.
- NEHMÉ, L., BARBAR, R., MARIC, Y. and JACQUOT, M. 2016. Influence of odor function and color symbolism in odor-color associations: A French- Lebanese- Taiwanese cross-cultural study. *Food Quality and Preference*. 49, 31-41.
- RIX, G. and BIACHE, M.J. 2004. Enregistrement en perspective subjective située et entretien en re-situ subjectif: une méthodologie de la constitution de l'expérience. *Intellectica*. 38, 363-396.
- ROLLS, E.T. and BAYLIS, L.L. 1994. Gustatory, olfactory, and visual convergence within the primate orbitofrontal cortex. *Journal of Neuroscience*. 14, 5437-5452.
- SPENCE, C. 2011. Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception & Psychophysics*. 73, 971-995.

- SPENCE, C., LEVITAN, C.A., SHANKAR, M.U. and ZAMPINI, M. 2010. Does Food Color Influence Taste and Flavor Perception in Humans? *Chemosensory Perception*. 3, 68–84.
- SPENCE, C., OKAJIMA, K., CHEOK, A.D., PETIT, O. and MICHEL, C. 2015 In press. Eating with our eyes: From visual hunger to digital satiation. *Brain and Cognition*.
- STEVENSON, R.J., RICH, A. and RUSSELL, A. 2012. The nature and origin of cross-modal associations to odours. *Perception*. 41(5), 606.
- VELDHUIZEN, M.G. and SMALL, D.M. 2011. Modality-specific neural effects of selective attention to taste and odor. *Chemical Senses*. 36(8), 747-760.
- WADHERA, D. and CAPALDI- PHILLIPS, E. 2014. A review of visual cues associated with food on food acceptance and consumption. *Eating Behaviors*. 15, 132-143.
- WAN, X., WOODS, A.T., JACQUOT, M., KNOEFERLE, K., KIKUTANI, M. and SPENCE, C. 2016. The Effects of Receptacle on the Expected Flavour of a Coloured Beverage: Cross-Cultural Comparison among French, Japanese, and Norwegian Consumers. *Journal of Sensory Studies*. 31(3), 233-244.
- ZAMPINI, M., and SPENCE, C. 2010. Assessing the Role of Sound in the Perception of Food and Drink. *Chemosensory Perception*. 3, 57–67.
- ZELLNER, D.A. 2013. Color- odor interactions: A Review and Model. *Chemosensory Perception*. 6, 155-169.
- ZELLNER, D.A., BARTOLI, A.M. and ECKARD, R. 1991. Influence of color on odor identification and liking ratings. *American Journal of Psychology*. 104, 547-561.

# **CHAPITRE IV : LE LIEN ODEUR- COULEUR ET IRMF**

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>99</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>102</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>103</b>
<b>2. MATERIALS AND METHODS .....</b>	<b>105</b>
2.1. POPULATION.....	105
2.2. OLFACTORY EVOCATION FMRI PARADIGM .....	105
2.3. MRI DATA ACQUISITION.....	106
2.4. FMRI DATA PRE-PROCESSING.....	107
2.5. FMRI STATISTICAL ANALYSES .....	107
<b>3. RESULTS .....</b>	<b>109</b>
3.1. VOLUNTEERS FEELING.....	109
3.2. WHOLE-BRAIN ACTIVATION .....	109
3.3. ORBITOFRONTAL CORTEXACTIVATION .....	113
<b>4. DISCUSSION.....</b>	<b>115</b>
4.1. OLFACTORY PROCESSES .....	115
4.2. EMOTIONAL PROCESSES .....	116
4.3. VISUOSPATIAL AND LANGUAGE PROCESSES .....	117
4.4. MEMORY PROCESSES.....	118
4.5. TASTE PROCESSES .....	119
4.6. COMPLEXITY OF COLOR ARRANGEMENT .....	120
4.7. LIMITATIONS .....	121
<b>5. CONCLUSION .....</b>	<b>123</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>124</b>

## INTRODUCTION

Nos cinq sens nous donnent des informations sur le monde qui nous entoure. Les grandes étapes des processus de perception sont les mêmes quel que soit le sens concerné. Des capteurs sensoriels reçoivent une information extérieure qu'ils codent pour la transmettre via des nerfs sensoriels spécifiques à une région déterminée du cerveau chargée d'interpréter ce signal. Les voies de transmission ainsi que les centres correspondants dans le cortex ne sont pas les mêmes. Malgré le fait qu'on parle généralement des sens comme des entités séparées, les informations des diverses modalités sensorielles se combinent constamment afin de pouvoir comprendre et mieux appréhender le monde qui nous entoure. L'apprentissage permet d'affiner et d'optimiser ces processus cognitifs que l'on nomme correspondances intermodales (Spence, 2011). De nombreux travaux ont montré l'existence, chez l'homme, de ces correspondances intermodales. On peut citer quelques exemples des correspondances intermodales: entre l'audition et la vision (Stevens & Marks, 1956), entre audition et le sens du toucher (Yau *et al.*, 2009), audition et odorat (Belkin *et al.*, 1997), odeur et notes musicales (Crisinel & Spence, 2012).

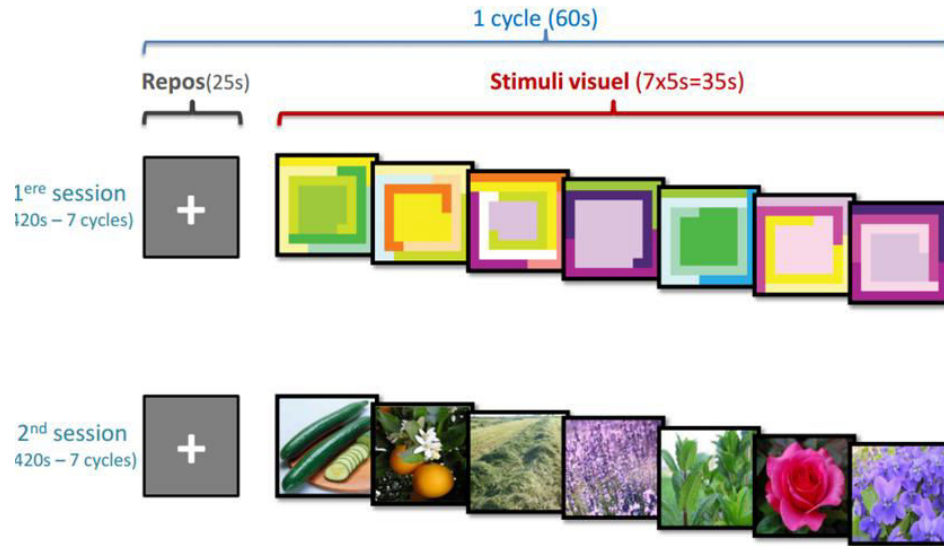
Dans notre étude, nous nous sommes plus particulièrement intéressé à la correspondance existant entre perception olfactive et vision des couleurs. Les tests comportementaux réalisés dans les conditions de l'analyse sensorielle nous ont permis de proposer deux conclusions. La première est que la méthodologie utilisée pour réaliser les tests a un effet aussi important sur le lien odeur-couleur que la culture et la fonction de l'odeur. Elle favorise un type ou un autre d'association. La seconde conclusion est que lors de la présentation de couleurs, comme dans la première étude, ces couleurs vont réduire les différences entre les cultures lors des associations odeurs-couleurs. Il semble donc que les couleurs portent une symbolique, une capacité d'évocation, qui oriente l'interprétation de la perception olfactive et donc la construction du lien odeurs – couleurs.

De ce constat sur la capacité d'évocation olfactive des couleurs, nous avons eu recours à l'IRM fonctionnelle afin d'identifier si l'association de couleurs à des odeurs était différente lorsque les couleurs étaient présentées sous une forme abstraite ou sous une forme figurative (photographie colorée).

Nous nous sommes donc rapproché du laboratoire IADI du CHRU de Nancy-Brabois afin d'effectuer une série de tests sur une cohorte de 30 femmes droitières sans déficience visuelle et avec un odorat normal.

Le paradigme de l'olfaction passive de l'IRM fonctionnelle tenait en deux sessions de 7 minutes chacune où chaque minute comprenait 25 secondes de repos et 35 secondes de stimuli visuels (figure III.1). Lors de la première session les stimuli visuels se résumaient à 7 arrangements

chromatiques. Tandis que dans la seconde session, les stimuli visuels étaient 7 images représentant 7 objets odorants (concombre, fleur d'oranger, herbe, lavande, menthe poivrée, rose et violette). Dans les deux sessions, la consigne était la même : " Concentrez-vous sur les odeurs évoquées par les images".



**Fig. IV. 1.** Paradigme et visuels utilisés lors des tests d'IRMF

Les résultats obtenus ont mis en évidence une différence de traitement cérébral entre les couleurs et les photographies. Il semblerait que les sujets parviennent plus efficacement à imaginer une odeur à partir d'arrangements de couleurs qu'à partir de la représentation figurative d'un objet odorant. Les arrangements colorés semblent engager des processus cognitifs plus complexes que les images. Les régions du cerveau responsables de l'olfaction (cortex orbitofrontal), du langage (lobe pariétal), du goût (insula antérieure) et de la mémoire (hippocampe) ont été plus activées par la vision des couleurs que par celle des images.

L'analyse des résultats a aussi mis en évidence l'activation de certaines régions cérébrales responsable du traitement des émotions, comme le cortex cingulaire antérieur. De même la latéralisation gauche trouvée dans cette étude est en accord avec des études antérieures stipulant que la réponse émotionnelle aux odeurs était située dans l'hémisphère gauche. L'importance de la valence hédonique portée par l'odeur a été préalablement démontrée lors de nos tests comportementaux. Cependant, les tests en IRMF nous autorisent à penser que les couleurs ont aussi la capacité à engendrer des affects qui vont participer à la construction du lien odeurs – couleurs.



**Full Title**

Olfactory evocation capacity of colors: a functional MRI study.

**Short Title**

Olfactory evocation capacity of colors.

**Authors**

Céline Charroud<sup>1</sup>, Muriel Jacquot<sup>2,3</sup>, Romain Tonnelet<sup>4</sup>, Julie Boyer<sup>1</sup>, Léa Nehmé<sup>2</sup>, Faustine Noël<sup>3</sup>, Jacques Felblinger<sup>1,5</sup>, Marc Braun<sup>1,4</sup> and Gabriela Hossu<sup>1,5\*</sup>.

<sup>1</sup>IADI, U947, INSERM, Université de Lorraine, CHRU Nancy, Nancy, France;

<sup>2</sup>InnoCIM,ENSAIA, Université de Lorraine, Nancy, France;

<sup>3</sup>Myrissi, Nancy, France;

<sup>4</sup>Department of Diagnostic and Interventional Neuroradiology, CHRU Nancy, Nancy, France;

<sup>5</sup>CIC 1433 Innovation Technologique, INSERM, Université de Lorraine, CHRU Nancy, Nancy, France.

**\*Corresponding author:**

GabrielaHOSSU

Laboratoire IADI (INSERM U947) & CIC-IT Nancy (INSERM CIC-IT 1433)

Bâtiment Recherche (Ex EFS) – Rez-de-Chaussée

CHRU de Nancy-Brabois

Rue du Morvan

54511 VANDOEUVRE-LES-NANCY

FRANCE

Tél : +33.3.83.15.49.76

Fax: +33.3.83.15.40.62

**Keywords:** Color vision, Functional MRI, Neuroimaging, Odors, Olfactory perception.

## ABSTRACT

**Introduction:** It is known that colors modify the odor's perception. However, the mechanisms that underpin color-smell associations are not well understood. Jacquot *et al.*, (2016) hypothesized that color arrangement could evoke some simple odors, but no neural evidence showed that this color arrangement could evoke an olfactory evocation capacity. Therefore, our goal was to examine the olfactory evocation capacity of color arrangement and to compare it with that of pictures.

**Methods:** We used a block-design functional MRI experiments during task-related passive olfactory stimulation. The task consists of visual stimulations divided in two sessions: (i) color arrangement then (ii) pictures. For each session, whole-brain activation was evaluated. In addition, region of interest activation was assessed in the orbitofrontal cortex in order to compare both session.

**Results:** Results show that color arrangement visualization could evoke an odor more efficiently than picture visualization. Indeed, during color arrangement presentation, the relevant regions were identified as the orbitofrontal cortex, anterior cingulate cortex, prefrontal cortex, parietal lobule, hippocampus and anterior insula which are related to olfactory, emotional, visuospatial, language, memory and taste processes respectively. These results support the involvement of multiple and complex cognitive processes which interact to produce efficient olfactory evocation from color arrangement visualization. Moreover, the left lateralization found is in agreement with previous studies stipulating that emotional response to odors was located in the left hemisphere.

**Conclusion:** Findings have succeeded to establish olfactory evocation capacity of color arrangement by showing that color arrangement visualization could generate greater odor evocation than picture presentation. Therefore, color arrangement could have various applications, from health to the field of marketing.

## 1. INTRODUCTION

Human olfaction implies multiple and complex processes which interact together to influence odor perception (Osterbauer *et al.*, 2005; Karunanayaka *et al.*, 2015). It was demonstrated that consumers flavor perception is produced by various unisensory inputs such as gustatory, olfactory, somatosensory, auditory, visual and trigeminal information (Shankar *et al.*, 2010). Indeed, vision and orthonasal olfaction can provide unique and specific information about the flavor perception prior to consumption. Usually, visual inputs (e.g. color cues) constitute a central part in the taste experimentation, thus, people tend to consistently match odors to colors. These associations have been largely studied (Dubose *et al.*, 1980; Zellner *et al.*, 1991; Gilbert *et al.*, 1996; Maric *et al.*, 2012; Maric and Jacquot, 2013; Spence and Deroy, 2013; Levitan *et al.*, 2014; Nehmé *et al.*, 2016). Findings support the hypothesis that the color-smell associations are adaptable and could be controlled by cognitive mechanisms (learning and practice) (Marks, 2011).

Some studies have identified that colors play an important role in the recognition of odors and even suggested that the nose smells what the eyes sees (Dubose *et al.*, 1980; Morrot *et al.*, 2001; Gottfried and Dolan, 2003; Levitan *et al.*, 2014). For example, Dubose *et al.*, (1980) examined the effect on drinks identification with atypical colors by mixing cherry-flavored drinks with lime-flavored drinks when colored green and with orange-flavored drinks when colored orange. They demonstrated that inappropriate coloring of the drink lead to incorrect flavor responses associated with that color. Furthermore, Morrot *et al.*, (2001) reported that 54 oenologists had described white wine colored in red (without their knowledge) using terms typically reserved for red wine. Levitan *et al.*, (2014) also highlighted that colors influence odor identification as well as its discrimination, intensity and pleasantness. This hypothesis was emphasized by the work of Dubose *et al.* (1980) which observed that strawberry-flavored drinks smell more pleasant when colored red than green. Congruent color-odor combinations could thus be more pleasant than incongruent ones. Therefore, all these studies agree that colors visualization influence olfactory and taste perceptions.

In addition, the existence of a robust explicit and implicit color-flavor association has been observed in product packaging. In the potato chips factory, a variant of the implicit association test methodology was used by Piqueras-Fiszman *et al.*, (2012). They found that people from both Colombia and Britain responded more rapidly when they had to pair congruent flavor-packaging color than incongruent associations. This suggests that some crossmodal associations between odor and color would be consistent across cultures. Another study conducted between France and Lebanon emphasized this hypothesis and applied it to the fragrance industry (Nehmé *et al.*, 2016).

Advertisement for perfumes cannot use smells; therefore the use of congruent colors is crucial to represent the products on the packaging and in the commercials (Schifferstein and Howell, 2015).

In parallel, some researchers used functional magnetic resonance imaging (fMRI) to investigate the large-scale activation pattern associated with these colors/odors processes (Gottfried and Dolan, 2003; Osterbauer *et al.*, 2005; Bensafi *et al.*, 2014; Qu *et al.*, 2016). Gottfried and Dolan (2003) reported that congruent picture-odor combinations (e.g. image of a bus and smell of diesel) enhanced neural activity in the orbitofrontal cortex and the hippocampus. Furthermore, Osterbauer *et al.* (2005) presented colors/odors either in isolation or in combinations. They showed activations in the orbitofrontal cortex and insular cortex, which increased progressively with the perceived congruency of the color-odor pairs. In a recent study, Bensafi *et al.*, (2014) focused on the identification of odors by combining it to their source category label (food and flower) or to practice category label (body lotion). They found that the odor identification in both categories induces activation in perirhinal, piriform, orbitofrontal, insular cortices and cingulate cortex, suggesting that these regions could integrate multimodal sensory input to produce specific olfactory category representations for novel odors. Qu *et al.*, (2016) emphasized this assumption using olfactory-visual paired-associates learning paradigm (new and familiar stimuli) to characterize the emergence of new odor category representations. They demonstrated that regions of perirhinal cortex, orbitofrontal cortex, piriform cortex, insular cortex in combination with limbic areas were engaged to create perceptual representations of odor. Therefore, new odor category-specific ensemble patterns could be created using the processes of the visual stimuli categorization. However, the mechanisms which described encoding of olfactory categories remain unknown.

Jacquot *et al.*, (2016) focused on the graphical representation of a smell, which led to the creation of the color arrangement. Color arrangement are abstract representations of colors generated by a new patented scientific tool (Jacquot *et al.*, 2013). This tool is based on a neural network algorithm for color forecasting. It generates a color arrangement that represents any odor from its chemical composition and sensory description. Behavioral tests realized in France and in England have demonstrated that these colored abstract representations evoked the appropriate odor percept and were significantly associated to their related odors in both of the populations (Jacquot *et al.*, 2016). Indeed, roughly 70 % of French and British participants evoked the intended odor labels (e.g. peppermint color arrangement match with green) and the expected odor sample. These results highlight the questioning about if colored abstract representations could better evoke an odor rather than figurative representations. Is it easier to imagine the smell of mint from the picture of mint leaf rather than from an association of blue and green? Today, we still have not neural evidence that the visualization of colored abstract representations could generate a mental image of odor. However,

fMRI studies (Knauff *et al.*, 2000; Mazard *et al.*, 2005) have examined the visual mental imagery processes. They reported that mental images of object drawings or geometrical shapes could involve visual cortex and adjacent areas as inferior frontal gyrus and temporal regions suggesting that multiple cognitive functions (e.g. visual, verbal, spatial processes) cooperate to facilitate the generation of mental images.

In consequence, the present study examined, for the first time by fMRI analysis, the olfactory evocation capacity of color arrangement. Based on the behavioral study of Jacquot *et al.* 2016, we showed if only colored abstract representations could evoke more effectively an odor than the figurative representation of this odor. To that extent, we compared if color arrangement activates brain regions responsible for the olfaction system – in particular the orbitofrontal cortex – more or less than a figurative representation of an odorous source. Furthermore, we investigated if abstract representations induced by the color arrangement imply cognitive processes different from those of figurative representation.

## 2. MATERIALS AND METHODS

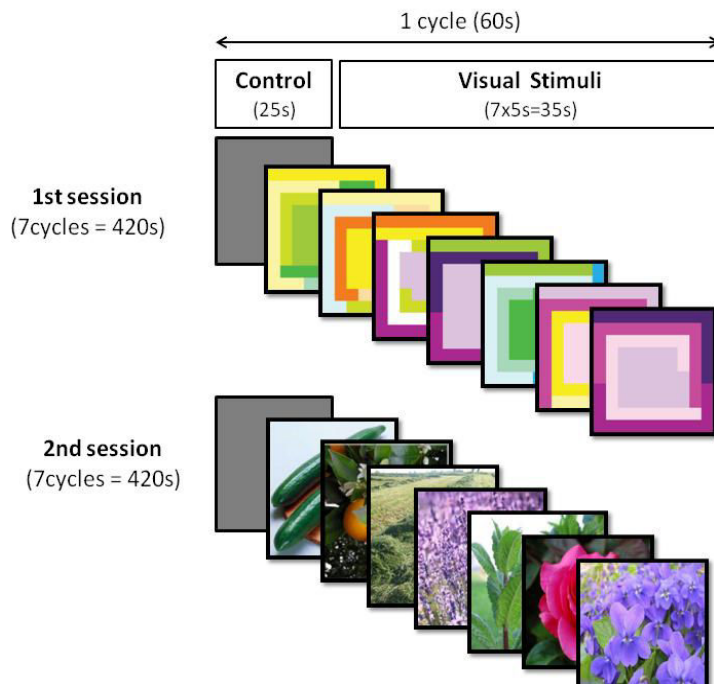
### 2.1. Population

Thirty healthy right-handed women volunteers (age=21.1±1.9 years; mean±SD) participated in this study. All subjects completed the Edinburgh Handedness Inventory test (Oldfield, 1971) defined as above 80% and the Ishihara test (Ishihara, 1918). They had normal or corrected-to-normal vision and reported a normal sense of smell with no olfactory dysfunction. Furthermore, no subjects saw the color arrangement before this study.

The study was conducted according to the Declaration of Helsinki and received ethical approval by the local ethics committee. A written informed consent was obtained from each participant (ClinicalTrials.gov Identifier: NCT02887053).

### 2.2. Olfactory evocation fMRI paradigm

No odor was sent in this experiment. Olfactory evocation fMRI paradigm was constituted of two sessions (figure IV .1). For each session, a block design set up was used, comprising seven cycles of 60 seconds, giving a total duration of 420 seconds (7minutes). Each cycle consisted of one control period (25 seconds) followed by a visual stimuli period (35 seconds).



**Fig.IV.1.** Schematic description of olfactory evocation fMRI paradigm.

Olfactory evocation fMRI paradigm was divided in two sessions comprising seven cycles of 60 seconds. Each cycle consisted of a control period (25 seconds) followed by a visual stimuli period (35 seconds). In the first session, a visual stimulus was composed of a randomized successive presentation of seven color arrangement which represent cucumber, orange blossom, cut grass, lavender, peppermint, rose and violet. In the second session, seven pictures evocative of these same odors were presented. A visual stimuli period was divided into presentation successively of: (i) seven color arrangement in the first session and (ii) seven pictures in the second one. Each card/picture was presented once in a randomized order in each visual stimuli period during 5 seconds. In our study, color arrangement of cucumber, orange blossom, cut grass, lavender, peppermint, rose and violet were presented. In the second session, pictures evocative of these same odors were presented.

In all sessions, participants were instructed to focus on the odor evoked by the visual stimuli.

### 2.3. MRI data acquisition

Task stimuli were forward-projected onto a translucent screen located inside the MRI scanner using a projector placed directly outside the magnet bore. Participants viewed the screen via a mirror located in the head coil. Vision correction was performed using non-magnetic glasses which

can vary in the range of -5 to +5 with 0.5 diopter steps. E-prime software (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA) was used to program visual stimulus presentation and to electronically synchronize task onset with the MRI acquisition computer.

Whole brain functional MR images were acquired using a 3-Tesla magnet (SignaHDxt, GE Healthcare, Milwaukee, WI) equipped with a 8-channel receive-only head coil. One hundred sixty-eight volumes of BOLD Gradient Echo-echo planar images (GE-EPI) were obtained during the functional MRI paradigm with the following imaging parameters: TR=2500ms, TE=30ms, 50 axial slices, slice thickness 3 mm, slices order: interleaved, in plane resolution 3 x 3 mm<sup>2</sup>, no interslice gap, flip angle 77°. 188 slices parallel to the anterior–posterior commissural line, covered the whole brain extending from vertex to the inferior parts of the cerebellum. For all participants, high-resolution anatomical images were acquired using a 3D fast spoiled gradient echo (FSPGR) sequence with the following parameters: TR=11.2 ms; TE=5.1ms; flip angle 20°; in plane resolution 0.97 x 0.97 mm<sup>2</sup>; slice thickness 1.6mm.

After MRI acquisition, an interview was performed with volunteers in order to collect their feelings and observations about experiment.

#### 2.4. fMRI data pre-processing

Statistical Parametric Mapping (SPM8; Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, UK, (Ashburner, 2012) was used as implemented in MatLab (The Mathworks Inc.; MA, USA, R2007b) for image preprocessing and statistical analyses.

It included head motion correction and co-registration to the individual anatomical image. The anatomical images were segmented into gray matter, white matter, and cerebrospinal fluid using a unified segmentation algorithm. Hence functional images were spatially normalized to a MNI template and spatially smoothed using a Gaussian filter with a full width at half maximum of 8mm to accommodate inter-individual anatomical variability.

#### 2.5. fMRI statistical analyses

The GE-EPI time-series were modeled using a first level general linear model (Friston *et al.* 1994) with regressors representing expected BOLD fMRI response to visual stimuli of task (color arrangement or picture), separately for each session. Realignment parameters have been added in

the regression models to remove specific activation due to head movement (translations "right", "forward", "up" and rotations "pitch", "roll", "yaw") and a 128 second high-pass filter was used to remove non-physiological slow signal shifts. Contrasted parameter estimate images (con-images), describing brain activation for all visual stimuli (cucumber, orange blossom, cut grass, lavender, peppermint, rose and violet) were calculated for each subject.

### **(i) Whole-brain analyses**

In the second level, one-sample *t*-tests were calculated separately for each session using the con-images obtained in single subject analysis as input data. Moreover, a paired-sample *t*-test was performed to compare activation between both sessions. According to olfactory fMRI studies, results are presented with a  $p < 0.001$  uncorrected (Arshamian *et al.*, 2013; Gottfried *et al.*, 2002; Gottfried and Dolan, 2003; Morrot *et al.*, 2013; Sezille *et al.*, 2013).

### **(ii) Regions of interest analyses**

In order to clarify whole-brain analyses, ROI analyses were performed to increase statistical power (Mitsis *et al.*, 2008; Poldrack, 2007). This common approach is used to highlight the brain activity specifically in the odor process which can be difficult to discern of other stimuli (e.g. visual stimuli)(Gottfried *et al.*, 2002; Gottfried and Dolan, 2003). Therefore, we focused on the main ROI previously described which have shown to be involved in olfactory process: the orbitofrontal cortex (Royet and Plailly, 2004; Vedaie *et al.*, 2013). ROI masks were generated from the "neuromorphometrics" template (MNI space) introduced in SPM and then, were registered to the functional space. For each brain side, five ROIs were selected: anterior orbitofrontal cortex, lateral orbitofrontal cortex, posterior orbitofrontal cortex, medial orbitofrontal cortex and the orbitofrontal cortex part of inferior frontal gyrus. These masks have been flipped the right/left in order to match with radiological-convention of functional images. The estimated parameter values ('beta' images) were extracted in each ROI for each subject and each session. These were reported as mean  $\pm$  standard deviation. Then, paired Wilcoxon's test was used to compare beta values according to the two presentations and brain side. Significance was set at 5%, and statistical analyses were carried out with the R software, version 3.1.0.



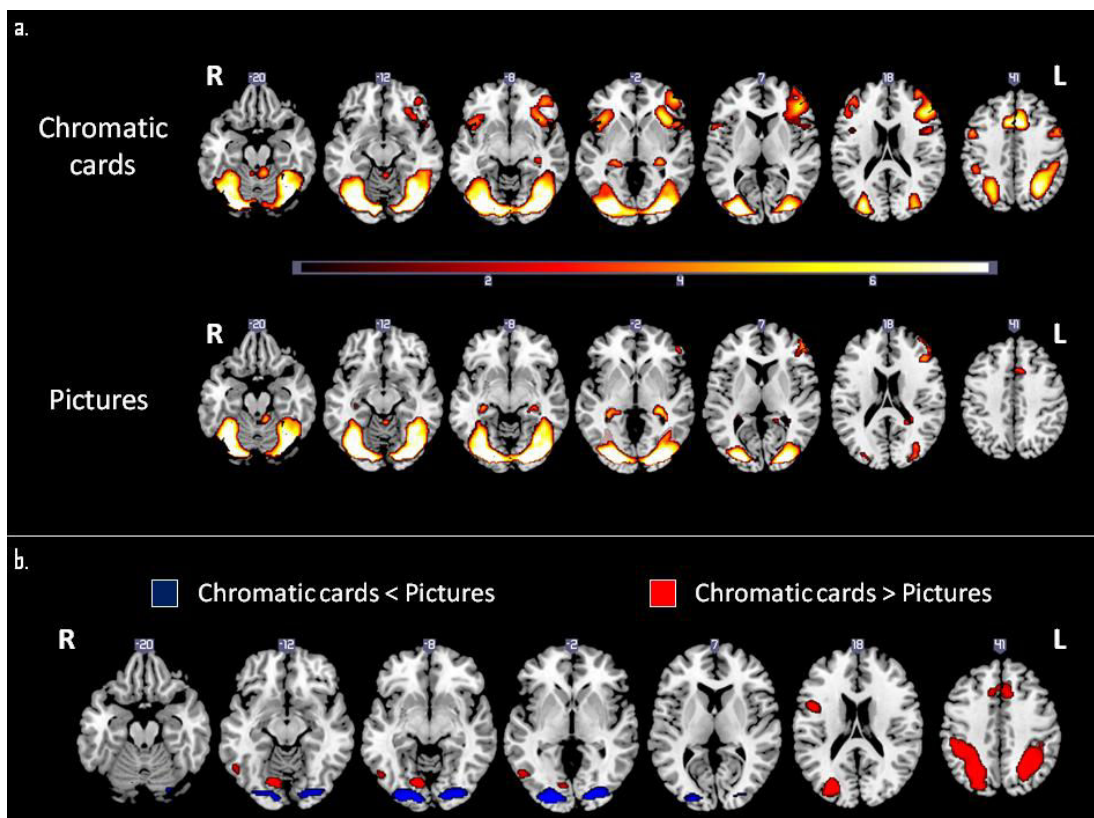
### 3. RESULTS

#### 3.1. Volunteers feeling

Feelings and observations have been collected after experiment for 90% of our subject. They have reported that stronger concentration was provided during color arrangement visualization than pictures visualization. Besides, some volunteers have told that they have used their past experiences of taste and olfactory to associate an odor with a color arrangement.

#### 3.2. Whole-brain activation

Across the color arrangement and picture presentations, brain regions activated are detailed in figure IV. 2.a. and table IV. 1.



**Fig. IV. 2.** Brain areas activated by color arrangement or picture presentation.

Regions have been displayed on transverse slice (MNI space ch256 template, MRICroGL software) for (a) color arrangement and picture presentation and (b) differences between color arrangement and pictures presentation. Statistical threshold was used for a p-value  $p < 0.001$  and a minimum cluster size of 50 voxels, uncorrected. Color bar indicates the T score of activation. (a) During color arrangement presentation, regions are activated bilaterally in cerebellum, inferior occipital gyrus, fusiform gyrus, inferior parietal gyrus, superior and middle frontal gyrus, hippocampus, anterior

insula cortex, precentral gyrus and in right middle occipital gyrus, left superior parietal gyrus, left medial frontal gyrus, left orbitofrontal gyrus and left cingulate gyrus. During picture presentation, activation involves bilateral regions in cerebellum, inferior occipital gyrus, fusiform gyrus, medial frontal gyrus and in left lingual gyrus, left middle and inferior frontal gyrus and left anterior cingulate gyrus. (b) During color arrangement vs picture presentation, a stronger activation was mainly observed in bilateral superior parietal lobule, bilateral medial and inferior frontal gyrus, right precentral gyrus, right inferior temporal gyrus and right lingual gyrus. Picture presentation brought into play a greater activation in the bilateral lingual gyrus compared to color arrangement presentation. Abbreviation: L – Left;R – Right

**Table. IV. 1.** Brain areas activated by color arrangement or picture presentation.

SIDE	CORTEX	STRUCTURE	MNI COORDINATES [X,Y,Z]		CLUSTER SIZE	PEAK SCORE T	
CHROMATIC CARDS (1 <sup>ST</sup> SESSION)							
L	OCCIPITAL	INFERIOR OCCIPITAL GYRUS	-36	-82	-6	14052	15.97
L	OCCIPITAL	INFERIOR OCCIPITAL GYRUS	-32	-82	2	s.c.	14.43
L	OCCIPITAL	FUSIFORM GYRUS	-30	-78	-14	s.c.	14.39
R	OCCIPITAL	INFERIOR OCCIPITAL GYRUS	34	-84	2	s.c.	14.35
R	OCCIPITAL	FUSIFORM GYRUS	36	-72	-14	s.c.	13.94
R	OCCIPITAL	MIDDLE OCCIPITAL GYRUS	28	-88	12	s.c.	13.51
R	CEREBELLUM	DECLIVE	34	-58	-28	s.c.	11.03
R	CEREBELLUM	DECLIVE	12	-82	-20	s.c.	10.35
L	PARIETAL	SUPERIOR PARIETAL LOBULE	-26	-60	46	s.c.	10.22
L	PARIETAL	INFERIOR PARIETAL LOBULE	-32	-62	36	s.c.	7.93
R	PARIETAL	INFERIOR PARIETAL LOBULE	-44	-42	44	s.c.	5.76
L	DMPFC	MEDIAL FRONTAL GYRUS	-6	16	44	2193	11.84
L	LIMBIC	ANTERIOR CINGULATE GYRUS	-10	26	36	s.c.	8.34
R	DLPFC	SUPERIOR FRONTAL GYRUS	6	8	58	s.c.	6.89
L	DLPFC	SUPERIOR FRONTAL	-12	8	64	s.c.	6.30

GYRUS							
L	PM	PRECENTRAL GYRUS	-44	6	30	4169	10.03
L	DLPFC	MIDDLE FRONTAL	-44	28	22	s.c.	9.81
GYRUS							
L	INSULAR	ANTERIOR INSULA	-36	22	-4	s.c.	7.90
L	OPFC	LATERAL	41	44	-13	s.c.	4.82
ORBITOFRONTAL							
GYRUS							
R	PM	PRECENTRAL GYRUS	54	8	38	377	6.59
R	PM	PRECENTRAL GYRUS	44	4	30	s.c.	5.31
R	INSULAR	ANTERIOR INSULA	38	22	-4	584	6.31
R	INSULAR	ANTERIOR INSULA	46	14	-4	s.c.	6.07
L	LIMBIC	HIPPOCAMPUS GYRUS	-28	-30	-2	93	6.03
R	LIMBIC	HIPPOCAMPUS GYRUS	26	-30	-2	61	5.45
R	DLPFC	MIDDLE FRONTAL	42	44	22	210	4.79
GYRUS							
R	DLPFC	MIDDLE FRONTAL	50	30	22	s.c.	4.61
GYRUS							
R	DLPFC	MIDDLE FRONTAL	48	38	22	s.c.	4.32
GYRUS							
R	PARIETAL	INFERIOR PARIETAL	46	-38	42	70	4.62
LOBULE							
PICTURES (2 <sup>ND</sup> SESSION)							
R	Occipital	Fusiform gyrus	20	-86	-14	9228	14.08
L	Occipital	Fusiform gyrus	-20	-90	-10	s.c.	13.83
L	Occipital	Lingual gyrus	-20	-90	0	s.c.	13.44
R	Occipital	Inferior occipital gyrus	30	-88	-6	s.c.	13.09
R	Occipital	Inferior occipital gyrus	36	-84	-10	s.c.	12.93
L	DMPFC	Medial frontal gyrus	-8	10	52	378	5.35
L	Limbic	Anterior cingulate	-4	16	44	s.c.	4.78
gyrus							
R	DMPFC	Medial frontal gyrus	6	-6	-60	s.c.	4.29
L	Cerebellum	Anterior lobule	-8	-44	-34	87	5.13
R	Cerebellum	Anterior lobule	2	-52	-34	s.c.	4.31
L	Cerebellum	Vermis	-2	-48	-36	s.c.	4.04
L	DLPFC	Middle frontal gyrus	-48	46	12	335	5.09
L	VLPFC	Inferior frontal gyrus	-52	42	2	s.c.	4.92
L	DLPFC	Middle frontal gyrus	-52	28	28	s.c.	4.38
L	Cerebellum	Anterior lobule	-6	-44	-16	90	5.05

Significant clusters are reported at  $p < 0.001$ ,  $k = 50$ , uncorrected. Abbreviation: DLPFC – DorsoLateral PreFrontal Cortex; DMPFC – DorsoMesial Prefrontal Cortex; OPFC – Orbital PreFrontal Cortex; PM – Primary Motor; VLPFC – VentroLateral Prefrontal Cortex; s.c. – same cluster.

Compared to the control period, color arrangement presentation showed abilateral significant activation in the cerebellum (declive), occipital lobes (inferior occipital gyrus, fusiform gyrus), parietal lobes (inferior parietal gyrus), frontal lobes (superior and middle frontal gyrus), limbic lobes (hippocampus), anterior insula cortex and precentral gyrus. Lateralized activation was also found in right middle occipital gyrus and mainly on the left hemisphere within the superior parietal gyrus, medial frontal gyrus, lateral orbitofrontal gyrus and anterior cingulate gyrus.

Compared to the control period, picture presentations showed abilateral significant activation in the cerebellum (anterior lobule), occipital lobes (inferior occipital gyrus, fusiform gyrus) and frontal lobes (medial frontal gyrus). A left lateralized activation was also observed in the cerebellum (vermis), lingual gyrus, middle and inferior frontal gyrus and anterior cingulate gyrus.

Compared to picture presentation, color arrangement presentation showed a significantly stronger activation in parietal lobes (bilateral superior parietal lobule), frontal lobes (bilateral medial frontal gyrus, bilateral inferior frontal gyrus), right precentral gyrus and right inferior temporal gyrus. Picture presentation revealed a stronger activation in the bilateral lingual gyrus compared to color arrangement presentation. These findings are reported in figure IV 2.b. and table IV 2.

**Table IV. 1** Differences of brain areas activated between color arrangement and picture presentation.

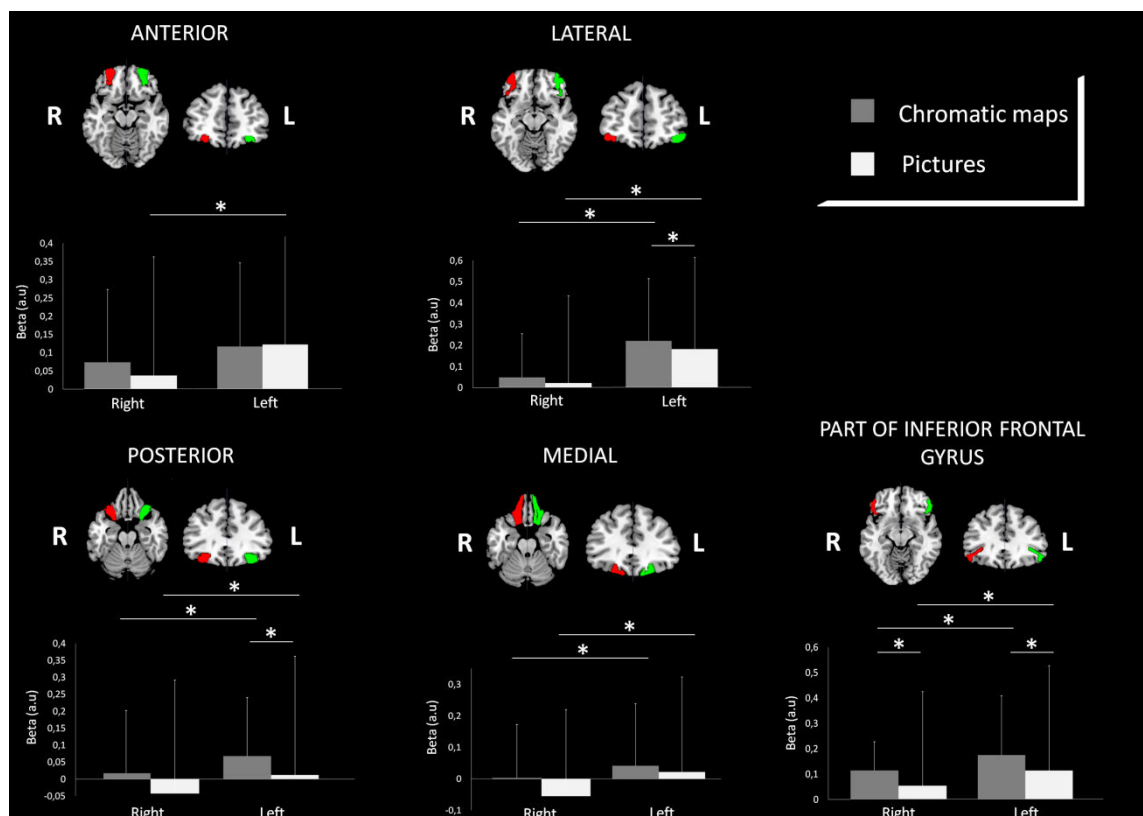
SIDE	CORTEX	STRUCTURE	MNI COORDINATES			CLUSTER SIZE	PEAK SCORE T
			[X,Y,Z]				
CARD CHROMATICS > PICTURES							
R	PARIETAL	SUPERIOR PARIETAL LOBULE	24	-68	56	3243	8.38
R	PARIETAL	SUPERIOR PARIETAL LOBULE	26	-62	50	s.c.	7.35
R	PARIETAL	SUPERIOR PARIETAL LOBULE	22	-78	46	s.c.	7.04
L	PARIETAL	SUPERIOR PARIETAL LOBULE	-26	-62	52	1854	6.26
L	PARIETAL	SUPERIOR PARIETAL LOBULE	-32	-44	36	s.c.	5.80
L	PARIETAL	SUPERIOR PARIETAL LOBULE	-26	-52	38	s.c.	5.67
R	PM	PRECENTRAL GYRUS	42	0	26	432	5.59
R	VLPFC	INFERIOR FRONTAL GYRUS	48	6	20	s.c.	5.40

L	DMPFC	MEDIAL FRONTAL GYRUS	-8	32	32	561	5.32
L	DMPFC	MEDIAL FRONTAL GYRUS	-6	18	46	s.c.	4.64
R	DMPFC	MEDIAL FRONTAL GYRUS	10	20	44	s.c.	4.52
L	VLPFC	INFERIOR FRONTAL GYRUS	-42	6	28	298	4.73
R	TEMPORAL	INFERIOR TEMPORAL GYRUS	54	-64	-4	103	4.21
R	TEMPORAL	INFERIOR TEMPORAL GYRUS	54	-58	-14	s.c.	4.16
R	TEMPORAL	INFERIOR TEMPORAL GYRUS	54	-48	-16	s.c.	3.70
CARD CHROMATICS < PICTURES							
R	OCCIPITAL	LINGUAL GYRUS	18	-94	-4	613	11.96
L	OCCIPITAL	LINGUAL GYRUS	-20	-90	-2	500	8.52

Significant clusters are reported at  $p < 0.001$ ,  $k = 50$ , uncorrected. Abbreviation: DMPFC – DorsoMesial Prefrontal Cortex; PM – Primary Motor; VLPFC – VentroLateral Prefrontal Cortex; s.c. – same cluster.

### 3.3. Orbitofrontal cortex activation

ROI statistical analysis within the orbitofrontal cortices were illustrated in figure IV. 3.



**Fig. IV. 3.** Mean activation within the five regions of orbitofrontal cortex.

Figure IV.3 depicts mean activation (beta value, arbitrary unity – a.u.) and standard errors for five regions of orbitofrontal cortex which were created from the “neuromorphometrics” template (MNI

space). All these regions are displayed on transverse slice (MNI space ch256 template, MRICroGL software) for the left-brain side (green) and the right-brain side (red). Comparisons were analyzed with pairwise Wilcoxon's test. Significance levels are marked with an asterisk ( $p < 0.05$ ). During color arrangement presentation compared to picture presentation, a significant higher activation was identified in the left lateral orbitofrontal cortex, left posterior orbitofrontal cortex and bilateral orbitofrontal cortex part of inferior frontal gyrus. A significant stronger activation in the left-brain side compared to right-brain side was also observed in all regions except for the anterior orbitofrontal cortex during color arrangement presentation. Abbreviation: L – Left; R – Right.

A first analysis was performed to investigate the statistical difference between color arrangement and picture presentations. Compared to picture presentation, color arrangement presentation has shown mean beta values significantly higher in the left lateral orbitofrontal cortex ( $m_{\text{arrangement}} = 0.21 \pm 0.29$ ,  $m_{\text{picture}} = 0.19 \pm 0.28$ ,  $p = 0.003$ ), left posterior orbitofrontal cortex ( $m_{\text{arrangement}} = 0.07 \pm 0.18$ ,  $m_{\text{picture}} = 0.01 \pm 0.17$ ,  $p = 0.01$ ) and bilateral orbitofrontal cortex part of inferior frontal gyrus (Left:  $m_{\text{arrangement}} = 0.18 \pm 0.23$ ,  $m_{\text{picture}} = 0.12 \pm 0.23$ ,  $p = 0.005$ ; Right:  $m_{\text{arrangement}} = 0.11 \pm 0.21$ ,  $m_{\text{picture}} = 0.05 \pm 0.37$ ,  $p = 0.03$ ). Mean beta values was not statistically different between both presentations in medial and anterior orbitofrontal cortex.

A second analysis was conducted to examine statistical difference between the left- and right-brain sides in each ROI. Regarding color arrangement presentation, mean beta value in the left-brain side was significantly higher compared to the right-brain side in lateral orbitofrontal cortex ( $m_{\text{Left}} = 0.21 \pm 0.29$ ,  $m_{\text{right}} = 0.05 \pm 0.20$ ,  $p = 0.0003$ ), posterior orbitofrontal cortex ( $m_{\text{Left}} = 0.07 \pm 0.17$ ,  $m_{\text{right}} = 0.02 \pm 0.18$ ,  $p = 0.02$ ), medial orbitofrontal cortex ( $m_{\text{Left}} = 0.04 \pm 0.18$ ,  $m_{\text{right}} = 0.003 \pm 0.15$ ,  $p = 0.02$ ) and orbitofrontal cortex part of inferior frontal gyrus (color arrangement:  $m_{\text{Left}} = 0.18 \pm 0.23$ ,  $m_{\text{right}} = 0.11 \pm 0.21$ ,  $p = 0.02$ ). Mean beta value difference was not observed between both brain sides in the anterior orbitofrontal cortex ( $m_{\text{Left}} = 0.11 \pm 0.22$ ,  $m_{\text{right}} = 0.07 \pm 0.19$ ,  $p = 0.1$ ). Concerning picture presentation, mean beta value in the left-brain side was significantly higher compared to the right-brain side in lateral orbitofrontal cortex ( $m_{\text{Left}} = 0.19 \pm 0.28$ ,  $m_{\text{right}} = 0.02 \pm 0.40$ ,  $p = 0.0001$ ), posterior orbitofrontal cortex ( $m_{\text{Left}} = 0.01 \pm 0.17$ ,  $m_{\text{right}} = -0.04 \pm 0.33$ ,  $p = 0.02$ ), medial orbitofrontal cortex ( $m_{\text{Left}} = 0.02 \pm 0.18$ ,  $m_{\text{right}} = -0.05 \pm 0.25$ ,  $p = 0.001$ ), orbitofrontal cortex part of inferior frontal gyrus ( $m_{\text{Left}} = 0.12 \pm 0.23$ ,  $m_{\text{right}} = 0.05 \pm 0.37$ ,  $p = 0.002$ ) and anterior orbitofrontal cortex ( $m_{\text{Left}} = 0.12 \pm 0.22$ ,  $m_{\text{right}} = 0.03 \pm 0.31$ ,  $p = 0.02$ ).

## 4. DISCUSSION

The aim of this study was to show, using fMRI, that color arrangement visualization leads to olfactory evocation capacity. Findings reveal the involvement of bilateral anterior insula, bilateral hippocampus, left anterior cingulate gyrus and left orbitofrontal cortex during color arrangement presentation. These regions, especially the orbitofrontal cortex, are known to be involved in olfactory processes (Royet and Plailly, 2004; Vedaï et al., 2013). Thus, our results are consistent with the hypothesis that color arrangement visualization could evoke efficiently an odor. In addition, a significant stronger activation has been observed in different part of orbitofrontal cortex during color arrangement presentation compared to picture presentation assuming that color arrangement visualization would generate more odor evocation than picture presentation. The left-brain side lateralization found is in agreement with previous studies which stipulate that emotional response to odors was located in the left hemisphere (Royet and Plailly, 2004; Billot et al., 2016). Moreover, the multimodal processes influencing an odor perception reported in literature (Osterbauer et al., 2005; Karunanayaka et al., 2015) is also observed in our study by showing that color arrangement visualization leads to complex interactions of olfactory, emotional, visuospatial, language, memory and taste processes in order to produce an odor evocation. Therefore, this is the first fMRI study which demonstrates an olfactory evocation capacity without sending odor, but only using the colors visualization.

### 4.1. Olfactory processes

During smelling of an odorant, fMRI studies have reported the recruitment of bilateral orbitofrontal cortex (Sobel et al., 1998; Gottfried et al., 2002; Anderson et al., 2003; Osterbauer et al., 2005; Vigouroux et al., 2005; McGlone et al., 2013; Morrot et al., 2013; Sezille et al., 2013; Karunanayaka et al., 2015; Billot et al., 2016). Some authors have shown that lateral part were brought into play during an odor detection tasks alternating the presence and absence with an odorant (Sobel et al., 1998; Sezille et al., 2013) or pleasant and unpleasant odorant (Anderson et al., 2003; Vigouroux et al., 2005; McGlone et al., 2013). Using whole-brain analyses, we have also identified activations in the left lateral orbitofrontal cortex during color arrangement presentation compared to control period. As participants were instructed to focus on the evoked odor by the visual stimuli, our results are consistent with these authors and suggest that color arrangement visualization could evoke efficiently an odor (without sending an odor). This assumption was enhanced by our ROIs analyses which have exhibited a significant stronger activation in the left

lateral orbitofrontal cortex, left posterior orbitofrontal cortex and bilateral orbitofrontal cortex part of inferior frontal gyrus during color arrangement presentation compared to picture presentation. Therefore, color arrangement visualization seems to generate greater odor evocation than picture presentation. Considering our mean beta values estimated from statistical general linear model, we have identified near zero values in the left medial and posterior orbitofrontal cortex ( $0.01 < \beta < 0.07$ ). Even if these values were near zero, other studies have also reported near zero mean beta values (Gottfried *et al.*, 2002; Gottfried and Dolan, 2003). In fact, using similar method, they have shown a significant activation in the centroposterior and rostromedial orbitofrontal cortex with beta values in the range of 0.04 during fMRI tasks with odorants varying in pleasantness. Our results were thus expected in these both regions, especially as no odor was sent in our experiment. Findings presented here offer thus evidences that color arrangement visualization leads to olfactory evocation capacity without delivered odor.

#### 4.2. Emotional processes

There is evidence that odor perception engages multiple processes especially emotional one (Ou *et al.*, 2004; Goethe, 2006; Kadohisa, 2013; Elliot, 2015; Silver and Bilker, 2015; Dael *et al.*, 2016). Indeed, it is known that responses to odors can elicit emotion with the influence of physiological states. For example, rose essential oil can reduce stress (Fukada *et al.*, 2012) and ambient odor of orange and lavender can attenuate anxiety and improve mood in a dental office (Lehrner *et al.*, 2000, 2005). In addition, other researchers have shown that colors have an effect on our emotions and moods. Red/yellow colors would be associated to warmth, excitement and joy expressions whereas the cyan/black colors would be more appropriate for fear expressions and aggressive behavior (Nakshian, 1964; Frank and Gilovich, 1988; Soldat *et al.*, 1997). Besides, "despondent, dejected, unhappy, melancholy" terms were associated with black, brown, purple and blue colors while "excited, stimulating" terms were linked to yellow, red and orange colors (Gilbert *et al.*, 2016). Recently, Silver and Bilker, 2015 have also demonstrated that colors influence facial emotion perception using emotion recognition test with color and monochromatic pictures. In parallel, fMRI studies have demonstrated a left-lateralization in the orbitofrontal cortex which would reflect emotional processes (Gottfried *et al.*, 2002; Royet and Plailly, 2004). They have shown the specific involvement of left orbitofrontal cortex during emotional processes whereas the right-brain side was engaged in recognition memory processes. Using a fMRI task combining pleasant/unpleasant odors and attractive/unattractive faces, McGlone *et al.*, (2013) have found that



left medial and lateral orbitofrontal cortex were involved in interaction between odor-face. In our study, this left-lateralization was observed in all regions of orbitofrontal cortex during both color arrangement and picture presentations – except in the anterior orbitofrontal cortex during color arrangement presentation. Consequently, left hemispheric dominance in orbitofrontal cortex could reflect an emotional response to chromatic card and picture stimuli. Even if color arrangement is only constituted of multiple colors, they could thus elicit olfactory evocation and induce emotional responses. Moreover, a large fMRI literature is consistent to report that the limbic areas, in particular the anterior cingulate gyrus, are engaged in emotional (Devinsky *et al.*, 1995; Whalen *et al.*, 1998; Davidson *et al.*, 1999; Yücel *et al.*, 2003; Vogt, 2005; Etkin *et al.*, 2015) and olfactory processes (Gottfried and Dolan, 2003; Royet and Plailly, 2004; Osterbauer *et al.*, 2005; Morrot *et al.*, 2013; Vedaei *et al.*, 2013; Karunanayaka *et al.*, 2015). Our findings have also identified the involvement of left anterior cingulate gyrus during both color arrangement and picture presentations, in agreement with these authors. Therefore, these results confirm the relationship between colors and emotions. Visual information would transit to the left limbic regions and left orbitofrontal cortex in order to produce emotional processes. Indeed, imaging studies have highlighted that the orbitofrontal cortex receives projections from visual and limbic areas, such as the cingulate cortex (Rolls, 2004; Zald and Rauch, 2006; Kadohisa, 2013). The orbitofrontal cortex can be considered as responsible for integration of external and internal information, suggesting that his role is essential in the distinction of emotional events. Color and picture visualization could thus generate an olfactory evocation capacity with synergistic effects of emotion.

#### 4.3. Visuospatial and language processes

On the other hand, in our study, it is necessary to point out that the color arrangement visualization cannot be considered as a usual integration process of visual information. Color arrangement is composed of multiple colors which are arranged geometrically in order to match a specific odor (Jacquot *et al.*, 2016). Even if it represents any odor from its chemical composition and sensory description, its visualization may initially seem surprising and produce a graphic interpretation. In this way, color arrangement has been presented to 64 participants who had to observe these cards and write that it evoked them. Twenty-nine participants (45%) have described the card like a labyrinth or a game (i.e. tetris), confirming that volunteers have characterized colors and shapes displayed. Literature has described that brain regions of prefrontal cortex and parietal lobule constitute neural substrates for spatial cognition processes (Bremmer *et al.*, 2001; Sack,

2009; Kravitz *et al.*, 2011; Jerde and Curtis, 2013). For example, Carpenter *et al.*, 1999 have indicated the engagement of parietal areas and dorsolateral prefrontal cortex during grid presentation with different spatial orientations. Furthermore, Dojat *et al.*, 2006 have shown the involvement of posterior parietal areas during comparison of chromatic and achromatic visual stimuli (square arrangement). In accordance with these authors, our results have also exhibited activation in the left parietal lobule and left dorsolateral prefrontal cortex during color arrangement presentation but not during picture presentation. Frontal regions in combination with parietal areas may thus help to compute spatial information in order to decode the abstract topography of shapes and colors. Therefore, color arrangement visualization could lead to characterize evoked odors by the interpretation of the way in which colors are spatially distributed.

Besides, it is well established that characterization of an event cannot be achieved without using the language processes. Studies have demonstrated that left-hemisphere of prefrontal cortex and parietal lobule regions contribute to language network (Binder *et al.*, 1997; Bremmer *et al.*, 2001; Sack, 2009; Price, 2010; Kravitz *et al.*, 2011; Jerde and Curtis, 2013; Bašnáková *et al.*, 2014; Egorova *et al.*, 2016). Thus, after visual integration of color arrangement, volunteers could interpret this topography using semantic properties of language processes. As a reminder, volunteers had to focus on the odor evoked by color arrangement during experiment. Therefore, we can hypothesize that volunteers could use language processes to distinguish and identify evoked odors using mental verbal representation. Consequently, language processes would interact with visuospatial processes in order to produce visual and verbal olfactory mental representation of evoked odors by color arrangement.

#### 4.4. Memory processes

Interestingly, several studies have asked whether it was really possible to imagine an odor (Bensafi and Rouby, 2007; Rinck *et al.*, 2009; Plailly *et al.*, 2012). Plailly *et al.*, 2012 have examined the brain activity in novice and experienced perfumers while they smell or imagine an odor. They have shown that neural substrates were similarly recruited during both conditions, suggesting that all participants have succeeded to imagine an odor. Moreover, they have observed that novices have been less efficient than experts in mentally imagining odors which could be attributable to increase activation in bilateral hippocampus gyrus. Given that an extensive literature has reported an essential role of the hippocampus region in memory processes (Cerf-Ducastel and Murphy, 2001; Poellinger *et al.*, 2001; Gottfried and Dolan, 2003; Royet and Plailly, 2004;

Osterbauer *et al.*, 2005; Arshamian *et al.*, 2013; Karunanayaka *et al.*, 2015), results assume that the mentally imagining odor have been highly influenced by learning and memory processes. In addition, other authors are agreed to provide the evidence that the odor recognition is influenced by learning and memory (Herz and Engen, 1996; Levy *et al.*, 2004; Frank *et al.*, 2011; Miranda, 2012; Kadohisa, 2013; Saive *et al.*, 2014). For example, studies have related that exposure to wine or beer improves novices' ability to detect flavors (Owen and Machamer, 1979; Peron and Allen, 1988; Castriota-Scanderbeg *et al.*, 2005). Therefore, mentally imagining odor is particularly influenced by autobiographical memory which is evocative in reminding of past emotional experiences (Herz and Engen, 1996; Rinck *et al.*, 2009; Kadohisa, 2013; Saive *et al.*, 2014). Indeed, it is necessary to have a particular sensory experience related to a specific odor in order to perceive this odor by the creation of memory representations of visual events. In our study, we have found activation in bilateral hippocampus gyrus during color arrangement presentation and not with picture. This result could suggest that volunteers have relied on their experience to mentally evoke smells from color arrangement. Thus, they would use their memory in order to imagine odors from visual stimuli by collecting familiar smells known to associate the displayed colors. Consequently, when volunteers focus on evoked odor by color arrangement, they would produce olfactory mental images not only using emotional, visuospatial and verbal processes as described above, but also using autobiographical memory processes.

#### 4.5. Taste processes

In addition, literature has reported that odor perception is strongly related to taste processes. Indeed, flavor of food is predominantly influenced by smell and not taste (Cerf-Ducastel and Murphy, 2001; Katz and Sadacca, 2011). Authors have investigated interactions between taste stimuli (sucrose and monosodium glutamate) and olfactory stimuli (strawberry and chicken) using event-related fMRI (De Araujo *et al.*, 2003). They have demonstrated that a part of anterior insular cortex was activated in response to both taste and olfactory stimuli. Anatomical studies have reported that insula receives direct projection from gustatory system and that anterior part is recruited in response to taste stimulation such as the salt (Norgen, 1990; Kinomura *et al.*, 1994; Cerf-Ducastel and Murphy, 2001; Osterbauer *et al.*, 2005; Katz and Sadacca, 2011; Gasquoine, 2014). Our findings have also identified the activation of bilateral anterior insular cortex during color arrangement presentation and not during pictures presentation, in concordance with these authors. Therefore, volunteers could associate a gustatory experience in order to recognize evoked

odor by color arrangement. Indeed, some volunteers have told after the experiment that they have sometimes associated color arrangement with a gustative taste (for example, orange blossom corresponding to cakes), enhancing our assumption. Thus, color arrangement visualization could generate affective recollections of smell and taste. Phillips *et al.*, 1997 have also demonstrated the involvement of anterior insular cortex during facial expressions visualization of disgust suggesting that perception of disgust is closely linked to the perception of unpleasant/pleasant tastes and smells. Consequently, emotional response could strongly influence smell perception as mentioned above, but also taste perception. Indeed, it has been shown that the anterior insular cortex is commonly engaged in emotional (Phan *et al.*, 2004; Menon and Uddin, 2010; Gasquoin, 2014; Eisenberger, 2015; Etkin *et al.*, 2015) and olfactory processing (Cerf-Ducastel and Murphy, 2001; Poellinger *et al.*, 2001; Gottfried *et al.*, 2002; Royet and Plailly, 2004; Osterbauer *et al.*, 2005; Sezille *et al.*, 2013; Vedaei *et al.*, 2013), confirming the essential role of this region to interpret evoked odor by color arrangement. Moreover, other researchers have demonstrated that the lateral part of the orbitofrontal cortex receives major projection from the primary taste cortex suggesting that it participate in taste processes (De Araujo *et al.*, 2003; Rolls, 2004; Kringelbach, 2005; Zald and Rauch, 2006; Kadohisa, 2013). Functional MRI studies have also indicated that the lateral orbitofrontal cortex was activated by sweet taste and vanilla odor (Francis *et al.*, 1999; Rolls, 2004) or salt taste (O'Doherty *et al.*, 2001). This region being activated only during color arrangement presentation, we can hypothesize that the anterior insular cortex and lateral orbitofrontal cortex could interact to prompt the convergence between tastes and olfactory in order to contribute in the detection of evoked odor by color arrangement.

#### 4.6. Complexity of color arrangement

By focusing on the difference between both presentations – using paired-sample *t*-test analysis – we have shown a significant stronger activation in bilateral parietal lobule, bilateral prefrontal cortex and right temporal lobule during color arrangement presentation compared to picture presentation. These results could reflect the complexity of information from color arrangement, as already mentioned above. Color arrangement being more abstract than pictures, volunteers have had more difficulties to integrate and interpret information. Thus, they have focused more strongly on odor-evoked by the color arrangement which required a greater cognitive processing. Indeed, volunteers have stated after the experiment, that they have provided more concentration during the first session in order to accomplish the task and associate a smell to a color arrangement, enhancing

our assumption. In addition, previously detailed findings have showed that both color arrangement and pictures stimulations have involved olfactory and emotional processes and only color arrangement stimulation have brought into play visuospatial, language, memory and taste processes in order to produce evoked odor. Therefore, we can hypothesize that color arrangement visualization would generate multiple processes due to the complexity of information, unlike picture visualization of this odor. Moreover, using paired-sample *t*-test, we have shown a significant stronger activation in bilateral lingual gyrus during picture presentation compared to color arrangement presentation. This region participating in the visual processes (Mort *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2015) suggests that pictures visualization has not involved complex processes in information integration, according to our assumption. Due to the very subjective nature of pictures, volunteers could directly interpret evoked odor from visual information (for example, seeing a lavender field could lead to smell his scent). Consequently, color arrangement visualization would generate an olfactory evocation capacity which is produced by complex and multiple integration processes unlike picture visualization which directly modulates visual information in evoked odor.

#### 4.7. Limitations

It is well established that the piriform cortex constitutes the primary olfactory cortex and plays an active role in olfactory processes (Poellinger *et al.*, 2001; Gottfried *et al.*, 2002; Royet and Plailly, 2004; Osterbauer *et al.*, 2005; Vigouroux *et al.*, 2005; Bensafi, 2011; Sezille *et al.*, 2013). In this study, the piriform cortex has been intentionally excluded due to the fact that no odor was sent. Indeed, all studies have reported an activation in piriform cortex using fMRI task with odorants (Gottfried *et al.*, 2002; Osterbauer *et al.*, 2005; Vigouroux *et al.*, 2005; Sezille *et al.*, 2013) and anatomical studies have shown that piriform cortex not use a thalamic tract but it receives a projection from olfactory bulb which responds to direct odor stimulation (Scott *et al.*, 1980; Purves *et al.*, 2001; Bensafi, 2011). In addition, activation in the piriform cortex is discussed because studies have pointed a rapid habituation process when odor is delivered (Poellinger *et al.*, 2001; Royet and Plailly, 2004). In our study, the lack of activation in piriform was thus awaited because no odor was administrated in our fMRI task. Further approach could thus be to implement the odorants delivery in the paradigm presented here in order to investigate functional organization of odor-visual association.

Moreover, we have not observed the amygdala areas which are usually observed in olfactory studies (Cerf-Ducastel and Murphy, 2001; Poellinger *et al.*, 2001; Gottfried *et al.*, 2002; Royet and Plailly, 2004; Osterbauer *et al.*, 2005; McGlone *et al.*, 2013; Sezille *et al.*, 2013; Vedaei *et al.*,

2013). Zald's works were interested about the role of amygdala. They have shown that right side was involved in facial emotional (Zald, 2003) whereas left side was engaged in the perceived aversiveness (Zald and Pardo, 1997). Consequently, our findings could be explained by our fMRI task design which presents only pleasant odors. Our work did not aim to explore the hedonic judgments with pleasant and unpleasant odorants; nevertheless, it could be the topic of a further work.

To finish, our study was based on a relatively lower sample (30 subjects) although other studies have also included smaller samples (10 to 28 subjects) (Gottfried *et al.*, 2002; Karunanayaka *et al.*, 2015; McGlone *et al.*, 2013; Poellinger *et al.*, 2001; Royet and Plailly, 2004; Vedaei *et al.*, 2013). Therefore, our results can be limited by a lower powerful statistical which could explain that thalamus areas – involved in olfactory process – have been not identify in this study. Furthermore, our sample was restricted by the age (young between 18-25 years) which could limited our findings, especially that sense of smell is not the same at 20 years to 80 years (Doty and Kamath, 2014). Besides, we have included only women due to the fact that women have superior sense of smell than men (Garcia-Falgueras *et al.*, 2006; Oliveira-Pinto *et al.*, 2014). Therefore, it could be attractive to extent our results in broader population.

## 5. CONCLUSION

The current study has succeeded, for the first time, to establish the olfactory evocation capacity of color arrangement by showing that color arrangement visualization could generate greater odor evocation than picture presentation. Relevant brain regions have been identified during color arrangement presentation especially in the orbitofrontal cortex, anterior cingulate cortex, dorsolateral prefrontal cortex, parietal lobule hippocampus and anterior insula which are related to olfactory, emotional, visuospatial, language, memory and taste processes respectively. These results support the involvement of multiple and complex cognitive processes which interact to produce efficiently olfactory evocation from color arrangement visualization. Regarding these findings, color arrangement applications are very varied. The first application could be in the health field. Indeed, all fMRI researches on olfactory processes explore the functional reorganization in response to odorants delivered using olfactometer device. Given that color arrangement visualization could evoke an odor, it could be an alternative for the use of an olfactometer device which can be expensive, difficult to implement in fMRI exams and restricted to a specific population. So, color arrangement may offer a new way to investigate alteration of olfactory cortex in diseases such as Agnosia, Alzheimer or Parkinson. The second application could be in the marketing field and consumer behavior study. It is well known that consumers perceive products on the basis of packaging design using color-flavor association. However, no tools are usually available to understand how this association can influence consumer choices. Therefore, color arrangement could be a new way to improve the communication between consumer and companies in order to contribute to the consumer product satisfaction.

### **Acknowledgements**

The authors acknowledge the financial help of the FEDER program and the “Région Lorraine”.

**REFERENCES**

- Anderson, A.K., Christoff, K., Stappen, I., Panitz, D., Ghahremani, D.G., Glover, G., Gabrieli, J.D.E., Sobel, N., 2003. Dissociated neural representations of intensity and valence in human olfaction. *Nat. Neurosci.* 6, 196–202. doi:10.1038/nn1001
- Arshamian, A., Iannilli, E., Gerber, J.C., Willander, J., Persson, J., Seo, H.-S., Hummel, T., Larsson, M., 2013. The functional neuroanatomy of odor evoked autobiographical memories cued by odors and words. *Neuropsychologia* 51, 123–131. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2012.10.023
- Ashburner, J., 2012. SPM:ahistory. *NeuroImage* 62, 791–800. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.10.025
- Bašnáková, J., Weber, K., Petersson, K.M., van Berkum, J., Hagoort, P., 2014. Beyond the language given: the neural correlates of inferring speaker meaning. *Cereb. Cortex N. Y. N* 1991 24, 2572–2578. doi:10.1093/cercor/bht112
- Bensafi, M., 2011. The Role of the Piriform Cortex in Human Olfactory Perception: Insights from Functional Neuroimaging Studies. *Chemosens. Percept.* 5, 4–10. doi:10.1007/s12078-011-9110-8
- Bensafi, M., Croy, I., Phillips, N., Rouby, C., Sezille, C., Gerber, J., Small, D.M., Hummel, T., 2014. The effect of verbal context on olfactory neural responses. *Hum. Brain Mapp.* 35, 810–818. doi:10.1002/hbm.22215
- Bensafi, M., Rouby, C., 2007. Individual Differences in Odor Imaging Ability Reflect Differences in Olfactory and Emotional Perception. *Chem. Senses* 32, 237–244. doi:10.1093/chemse/bjl051
- Billot, P.-E., Andrieu, P., Biondi, A., Vieillard, S., Moulin, T., Millot, J.-L., 2016. Cerebral bases of emotion regulation toward odours: A first approach. *Behav. Brain Res.* 317, 37–45. doi:10.1016/j.bbr.2016.09.027
- Binder, J.R., Frost, J.A., Hammeke, T.A., Cox, R.W., Rao, S.M., Prieto, T., 1997. Human Brain Language Areas Identified by Functional Magnetic Resonance Imaging. *J. Neurosci.* 17, 353–362.
- Bremmer, F., Schlack, A., Duhamel, J.R., Graf, W., Fink, G.R., 2001. Space coding in primate posterior parietal cortex. *NeuroImage* 14, S46-51. doi:10.1006/nimg.2001.0817
- Carpenter, P., Just, M., Keller, T., Eddy, W., Thulborn, K., 1999. Graded functional activation in the visuospatial system with the amount of task demand. *J. Cogn. Neurosci.* 11, 9–24.



- Castriota-Scanderbeg, A., Hagberg, G.E., Cerasa, A., Committeri, G., Galati, G., Patria, F., Pitzalis, S., Caltagirone, C., Frackowiak, R., 2005. The appreciation of wine by sommeliers: a functional magnetic resonance study of sensory integration. *NeuroImage* 25, 570–578. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.11.045
- Cerf-Ducastel, B., Murphy, C., 2001. fMRI activation in response to odorants orally delivered in aqueous solutions. *Chem. Senses* 26, 625–637.
- Dael, N., Perseguers, M.-N., Marchand, C., Antonietti, J.-P., Mohr, C., 2016. Put on that colour, it fits your emotion: Colour appropriateness as a function of expressed emotion. *Q. J. Exp. Psychol.* 2006 69, 1619–1630. doi:10.1080/17470218.2015.1090462
- Davidson, R.J., Abercrombie, H., Nitschke, J.B., Putnam, K., 1999. Regional brain function, emotion and disorders of emotion. *Curr. Opin. Neurobiol.* 9, 228–234.
- De Araujo, I.E.T., Rolls, E.T., Kringelbach, M.L., McGlone, F., Phillips, N., 2003. Taste-olfactory convergence, and the representation of the pleasantness of flavour, in the human brain. *Eur. J. Neurosci.* 18, 2059–2068. doi:10.1046/j.1460-9568.2003.02915.x
- Devinsky, O., Morrell, M.J., Vogt, B.A., 1995. Contributions of anterior cingulate cortex to behaviour. *Brain* 118, 279–306. doi:10.1093/brain/118.1.279
- Dojat, M., Pieltre, L., Delon-Martin, C., Pachot-Clouard, M., Segebarth, C., Knoblauch, K., 2006. Global integration of local color differences in transparency perception: An fMRI study. *Vis. Neurosci.* 23, 357–364. doi:10.1017/S0952523806233200
- Doty, R.L., Kamath, V., 2014. The influences of age on olfaction: a review. *Front. Psychol.* 5, 20. doi:10.3389/fpsyg.2014.00020
- Dubose, C.N., Cardello, A.V., Maller, O., 1980. Effects of Colorants and Flavorants on Identification, Perceived Flavor Intensity, and Hedonic Quality of Fruit-Flavored Beverages and Cake. *J. Food Sci.* 45, 1393–1399. doi:10.1111/j.1365-2621.1980.tb06562.x
- Egorova, N., Shtyrov, Y., Pulvermüller, F., 2016. Brain basis of communicative actions in language. *NeuroImage* 125, 857–867. doi:10.1016/j.neuroimage.2015.10.055
- Eisenberger, N.I., 2015. Social pain and the brain: controversies, questions, and where to go from here. *Annu. Rev. Psychol.* 66, 601–629. doi:10.1146/annurev-psych-010213-115146
- Elliot, A.J., 2015. Color and psychological functioning: a review of theoretical and empirical work. *Front. Psychol.* 6. doi:10.3389/fpsyg.2015.00368
- Etkin, A., Büchel, C., Gross, J.J., 2015. The neural bases of emotion regulation. *Nat. Rev. Neurosci.* 16, 693–700. doi:10.1038/nrn4044

- Francis, S., Rolls, E.T., Bowtell, R., McGlone, F., O'Doherty, J., Browning, A., Clare, S., Smith, E., 1999. The representation of pleasant touch in the brain and its relationship with taste and olfactory areas. *Neuroreport* 10, 453–459.
- Frank, M.G., Gilovich, T., 1988. The dark side of self- and social perception: black uniforms and aggression in professional sports. *J. Pers. Soc. Psychol.* 54, 74–85.
- Frank, R.A., Rybalsky, K., Brearton, M., Mannea, E., 2011. Odor Recognition Memory as a Function of Odor-Naming Performance. *Chem. Senses* 36, 29–41. doi:10.1093/chemse/bjq095
- Fukada, M., Kano, E., Miyoshi, M., Komaki, R., Watanabe, T., 2012. Effect of “rose essential oil” inhalation on stress-induced skin-barrier disruption in rats and humans. *Chem. Senses* 37, 347–356. doi:10.1093/chemse/bjr108
- Garcia-Falgueras, A., Junque, C., Giménez, M., Caldú, X., Segovia, S., Guillamon, A., 2006. Sex differences in the human olfactory system. *Brain Res.* 1116, 103–111. doi:10.1016/j.brainres.2006.07.115
- Gasquoine, P.G., 2014. Contributions of the insula to cognition and emotion. *Neuropsychol. Rev.* 24, 77–87. doi:10.1007/s11065-014-9246-9
- Gilbert, A.N., Fridlund, A.J., Lucchina, L.A., 2016. The color of emotion: A metric for implicit color associations. *Food Qual. Prefer.* 52, 203–210. doi:10.1016/j.foodqual.2016.04.007
- Gilbert, A.N., Martin, R., Kemp, S.E., 1996. Cross-modal correspondence between vision and olfaction: the color of smells. *Am. J. Psychol.* 109, 335–351.
- Goethe, J.W. von, 2006. *Theory of Colours*. Dover Publications, Mineola, N.Y.
- Gottfried, J.A., Deichmann, R., Winston, J.S., Dolan, R.J., 2002. Functional heterogeneity in human olfactory cortex: an event-related functional magnetic resonance imaging study. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* 22, 10819–10828.
- Gottfried, J.A., Dolan, R.J., 2003. The nose smells what the eye sees: crossmodal visual facilitation of human olfactory perception. *Neuron* 39, 375–386.
- Herz, R.S., Engen, T., 1996. Odor memory: Review and analysis. *Psychon. Bull. Rev.* 3, 300–313. doi:10.3758/BF03210754
- Ishihara, S., 1918. Tests for color blindness. *Am. J. Ophthalmol.* 1, 457. doi:10.5555/uri:pii:S0002939418901303
- Jacquot, M., Maric, Y., Lambert, T., 2013. Method for transcribing an odor or aroma into color information, and method for transcribing color information into a list of molecules. PCT/EP2013/062388.

- Jacquot, M., Noel, F., Velasco, C., Spence, C., 2016. On the Colours of Odours. *Chemosens. Percept.* 9, 79–93. doi:10.1007/s12078-016-9209-z
- Jerde, T.A., Curtis, C.E., 2013. Maps of space in human frontoparietal cortex. *J. Physiol. Paris* 107, 510–516. doi:10.1016/j.jphysparis.2013.04.002
- Kadohisa, M., 2013. Effects of odor on emotion, with implications. *Front. Syst. Neurosci.* 7. doi:10.3389/fnsys.2013.00066
- Karunanayaka, P.R., Wilson, D.A., Vasavada, M., Wang, J., Martinez, B., Tobia, M.J., Kong, L., Eslinger, P., Yang, Q.X., 2015. Rapidly acquired multisensory association in the olfactory cortex. *Brain Behav.* 5, n/a-n/a. doi:10.1002/brb3.390
- Katz, D.B., Sadacca, B.F., 2011. Taste, in: Gottfried, J.A. (Ed.), *Neurobiology of Sensation and Reward*, *Frontiers in Neuroscience*. CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton (FL).
- Kinomura, S., Kawashima, R., Yamada, K., Ono, S., Itoh, M., Yoshioka, S., Yamaguchi, T., Matsui, H., Miyazawa, H., Itoh, H., 1994. Functional anatomy of taste perception in the human brain studied with positron emission tomography. *Brain Res.* 659, 263–266.
- Knauff, M., Kassubek, J., Mulack, T., Greenlee, M.W., 2000. Cortical activation evoked by visual mental imagery as measured by fMRI. *Neuroreport* 11, 3957–3962.
- Kravitz, D.J., Saleem, K.S., Baker, C.I., Mishkin, M., 2011. A new neural framework for visuospatial processing. *Nat. Rev. Neurosci.* 12, 217–230. doi:10.1038/nrn3008
- Kringelbach, M.L., 2005. The human orbitofrontal cortex: linking reward to hedonic experience. *Nat. Rev. Neurosci.* 6, 691–702. doi:10.1038/nrn1747
- Lehrner, J., Eckersberger, C., Walla, P., Pötsch, G., Deecke, L., 2000. Ambient odor of orange in a dental office reduces anxiety and improves mood in female patients. *Physiol. Behav.* 71, 83–86.
- Lehrner, J., Marwinski, G., Lehr, S., Jöhren, P., Deecke, L., 2005. Ambient odors of orange and lavender reduce anxiety and improve mood in a dental office. *Physiol. Behav.* 86, 92–95. doi:10.1016/j.physbeh.2005.06.031
- Levitan, C.A., Ren, J., Woods, A.T., Boesveldt, S., Chan, J.S., McKenzie, K.J., Dodson, M., Levin, J.A., Leong, C.X.R., Bosch, J.J.F. van den, 2014. Cross-Cultural Color-Odor Associations. *PLOS ONE* 9, e101651. doi:10.1371/journal.pone.0101651
- Levy, D.A., Hopkins, R.O., Squire, L.R., 2004. Impaired odor recognition memory in patients with hippocampal lesions. *Learn. Mem.* 11, 794–796. doi:10.1101/lm.82504
- Maric, Y., Barbar, R., Jacquot, M., 2012. As pink as an orange blossom odour: a French-Lebanese cross-cultural study. *Proc. AIC Colour*.

- Maric, Y., Jacquot, M., 2013. Contribution to understanding odour–colour associations. *Food Qual. Prefer.*, Ninth Pangborn Sensory Science Symposium 27, 191–195. doi:10.1016/j.foodqual.2012.05.001
- Marks, L.E., 2011. Synesthesia, then and now. *Intellectica* 47–80.
- Mazard, A., Laou, L., Joliot, M., Mellet, E., 2005. Neural impact of the semantic content of visual mental images and visual percepts. *Cogn. Brain Res.* 24, 423–435. doi:10.1016/j.cogbrainres.2005.02.018
- McGlone, F., Österbauer, R.A., Demattè, L.M., Spence, C., 2013. The Crossmodal Influence of Odor Hedonics on Facial Attractiveness: Behavioural and fMRI Measures. InTech.
- Menon, V., Uddin, L.Q., 2010. Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function. *Brain Struct. Funct.* 214, 655–667. doi:10.1007/s00429-010-0262-0
- Miranda, M.I., 2012. Taste and odor recognition memory: the emotional flavor of life. *Rev. Neurosci.* 23, 481–499. doi:10.1515/revneuro-2012-0064
- Mitsis, G.D., Iannetti, G.D., Smart, T.S., Tracey, I., Wise, R.G., 2008. Regions of interest analysis in pharmacological fMRI: How do the definition criteria influence the inferred result? *NeuroImage* 40, 121–132. doi:10.1016/j.neuroimage.2007.11.026
- Morrot, G., Bonny, J.-M., Lehallier, B., Zanca, M., 2013. fMRI of human olfaction at the individual level: interindividual variability. *J. Magn. Reson. Imaging JMRI* 37, 92–100. doi:10.1002/jmri.23802
- Morrot, G., Brochet, F., Dubourdieu, D., 2001. The color of odors. *Brain Lang.* 79, 309–320. doi:10.1006/brln.2001.2493
- Mort, D.J., Malhotra, P., Mannan, S.K., Rorden, C., Pambakian, A., Kennard, C., Husain, M., 2003. The anatomy of visual neglect. *Brain* 126, 1986–1997. doi:10.1093/brain/awg200
- Nakshian, J.S., 1964. The effects of red and green surroundings on behavior. *J. Gen. Psychol.* 70, 143–161. doi:10.1080/00221309.1964.9920584
- Nehmé, L., Barbar, R., Maric, Y., Jacquot, M., 2016. Influence of odor function and color symbolism in odor-color associations: A French- Lebanese- Taiwanese cross-cultural study. *Food Qual. Prefer.* 31–41.
- Norgen, R., 1990. Gustatory system., in: *The Human Nervous System*. Academic Press, New York, pp. 845–861.
- O’Doherty, J., Rolls, E.T., Francis, S., Bowtell, R., McGlone, F., 2001. Representation of Pleasant and Aversive Taste in the Human Brain. *J. Neurophysiol.* 85, 1315–1321.
- Oldfield, R.C., 1971. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9, 97–113.

- Oliveira-Pinto, A.V., Santos, R.M., Coutinho, R.A., Oliveira, L.M., Santos, G.B., Alho, A.T.L., Leite, R.E.P., Farfel, J.M., Suemoto, C.K., Grinberg, L.T., Pasqualucci, C.A., Jacob-Filho, W., Lent, R., 2014. Sexual Dimorphism in the Human Olfactory Bulb: Females Have More Neurons and Glial Cells than Males. *PLOS ONE* 9, e111733. doi:10.1371/journal.pone.0111733
- Osterbauer, R.A., Matthews, P.M., Jenkinson, M., Beckmann, C.F., Hansen, P.C., Calvert, G.A., 2005. Color of scents: chromatic stimuli modulate odor responses in the human brain. *J. Neurophysiol.* 93, 3434–3441. doi:10.1152/jn.00555.2004
- Ou, L.-C., Luo, M.R., Woodcock, A., Wright, A., 2004. A study of colour emotion and colour preference. Part I: Colour emotions for single colours. *Color Res. Appl.* 29, 232–240. doi:10.1002/col.20010
- Owen, D.H., Machamer, P.K., 1979. Bias-free improvement in wine discrimination. *Perception* 8, 199–209.
- Peron, R.M., Allen, G.L., 1988. Attempts to train novices for beer flavor discrimination: a matter of taste. *J. Gen. Psychol.* 115, 403–418. doi:10.1080/00221309.1988.9710577
- Phan, K.L., Wager, T.D., Taylor, S.F., Liberzon, I., 2004. Functional neuroimaging studies of human emotions. *CNS Spectr.* 9, 258–266.
- Phillips, M.L., Young, A.W., Senior, C., Brammer, M., Andrew, C., Calder, A.J., Bullmore, E.T., Perrett, D.I., Rowland, D., Williams, S.C.R., Gray, J.A., David, A.S., 1997. A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature* 389, 495–498. doi:10.1038/39051
- Piqueras-Fiszman, B., Velasco, C., Spence, C., 2012. Exploring implicit and explicit crossmodal colour–flavour correspondences in product packaging. *Food Qual. Prefer.* 25, 148–155. doi:10.1016/j.foodqual.2012.02.010
- Plailly, J., Delon-Martin, C., Royet, J.-P., 2012. Experience induces functional reorganization in brain regions involved in odor imagery in perfumers. *Hum. Brain Mapp.* 33, 224–234. doi:10.1002/hbm.21207
- Poellinger, A., Thomas, R., Lio, P., Lee, A., Makris, N., Rosen, B.R., Kwong, K.K., 2001. Activation and habituation in olfaction--an fMRI study. *NeuroImage* 13, 547–560. doi:10.1006/nimg.2000.0713
- Poldrack, R.A., 2007. Region of interest analysis for fMRI. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2, 67–70. doi:10.1093/scan/nsm006
- Price, C.J., 2010. The anatomy of language: a review of 100 fMRI studies published in 2009. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1191, 62–88. doi:10.1111/j.1749-6632.2010.05444.x

- Purves, D., Augustine, G.J., Fitzpatrick, D., Katz, L.C., LaMantia, A.-S., McNamara, J.O., Williams, S.M., 2001. Central Projections of the Olfactory Bulb.
- Qu, L.P., Kahnt, T., Cole, S.M., Gottfried, J.A., 2016. De Novo Emergence of Odor Category Representations in the Human Brain. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* 36, 468–478. doi:10.1523/JNEUROSCI.3248-15.2016
- Rinck, F., Rouby, C., Bensafi, M., 2009. Which format for odor images? *Chem. Senses* 34, 11–13. doi:10.1093/chemse/bjn060
- Rolls, E.T., 2004. The functions of the orbitofrontal cortex. *Brain Cogn.* 55, 11–29. doi:10.1016/S0278-2626(03)00277-X
- Royet, J.-P., Plailly, J., 2004. Lateralization of olfactory processes. *Chem. Senses* 29, 731–745. doi:10.1093/chemse/bjh067
- Sack, A.T., 2009. Parietal cortex and spatial cognition. *Behav. Brain Res.* 202, 153–161. doi:10.1016/j.bbr.2009.03.012
- Saive, A.-L., Royet, J.-P., Ravel, N., Thévenet, M., Garcia, S., Plailly, J., 2014. A unique memory process modulated by emotion underpins successful odor recognition and episodic retrieval in humans. *Front. Behav. Neurosci.* 8. doi:10.3389/fnbeh.2014.00203
- Schifferstein, H.N.J., Howell, B.F., 2015. Using color–odor correspondences for fragrance packaging design. *Food Qual. Prefer.* 46, 17–25. doi:10.1016/j.foodqual.2015.06.012
- Scott, J.W., McBride, R.L., Schneider, S.P., 1980. The organization of projections from the olfactory bulb to the piriform cortex and olfactory tubercle in the rat. *J. Comp. Neurol.* 194, 519–534. doi:10.1002/cne.901940304
- Sezille, C., Messaoudi, B., Bertrand, A., Jousain, P., Thévenet, M., Bensafi, M., 2013. A portable experimental apparatus for human olfactory fMRI experiments. *J. Neurosci. Methods* 218, 29–38. doi:10.1016/j.jneumeth.2013.04.021
- Shankar, M.U., Levitan, C.A., Spence, C., 2010. Grape expectations: the role of cognitive influences in color-flavor interactions. *Conscious. Cogn.* 19, 380–390. doi:10.1016/j.concog.2009.08.008
- Silver, H., Bilker, W.B., 2015. Colour influences perception of facial emotions but this effect is impaired in healthy ageing and schizophrenia. *Cognit. Neuropsychiatry* 20, 438–455. doi:10.1080/13546805.2015.1080157
- Sobel, N., Prabhakaran, V., Desmond, J.E., Glover, G.H., Goode, R.L., Sullivan, E.V., Gabrieli, J.D.E., 1998. Sniffing and smelling: separate subsystems in the human olfactory cortex. *Nature* 392, 282–286. doi:10.1038/32654

- Soldat, A.S., Sinclair, R.C., Mark, M.M., 1997. Color as an Environmental Processing Cue: External Affective Cues Can Directly Affect Processing Strategy Without Affecting Mood. *Soc. Cogn.* 15, 55–71. doi:10.1521/soco.1997.15.1.55
- Spence, C., Deroy, O., 2013. How automatic are crossmodal correspondences? *Conscious. Cogn.* 22, 245–260. doi:10.1016/j.concog.2012.12.006
- Vedaei, F., Fakhri, M., Harirchian, M.H., Firouznia, K., Lotfi, Y., Ali Oghabian, M., 2013. Methodological considerations in conducting an olfactory fMRI study. *Behav. Neurol.* 27, 267–276. doi:10.3233/BEN-120320
- Vigouroux, M., Bertrand, B., Farget, V., Plailly, J., Royet, J.P., 2005. A stimulation method using odors suitable for PET and fMRI studies with recording of physiological and behavioral signals. *J. Neurosci. Methods* 142, 35–44. doi:10.1016/j.jneumeth.2004.07.010
- Vogt, B.A., 2005. Pain and Emotion Interactions in Subregions of the Cingulate Gyrus. *Nat. Rev. Neurosci.* 6, 533–544. doi:10.1038/nrn1704
- Whalen, P.J., Bush, G., McNally, R.J., Wilhelm, S., McInerney, S.C., Jenike, M.A., Rauch, S.L., 1998. The emotional counting Stroop paradigm: a functional magnetic resonance imaging probe of the anterior cingulate affective division. *Biol. Psychiatry* 44, 1219–1228.
- Yang, Y., Deng, H., Xing, G., Xia, X., Li, H., 2015. Brain functional network connectivity based on a visual task: visual information processing-related brain regions are significantly activated in the task state. *Neural Regen. Res.* 10, 298–307. doi:10.4103/1673-5374.152386
- Yücel, M., Wood, S.J., Fornito, A., Riffkin, J., Velakoulis, D., Pantelis, C., 2003. Anterior cingulate dysfunction: Implications for psychiatric disorders? *J. Psychiatry Neurosci.* 28, 350–354.
- Zald, D., Rauch, S. (Eds.), 2006. *The Orbitofrontal Cortex*. Oxford University Press.
- Zald, D.H., 2003. The human amygdala and the emotional evaluation of sensory stimuli. *Brain Res. Brain Res. Rev.* 41, 88–123.
- Zald, D.H., Pardo, J.V., 1997. Emotion, olfaction, and the human amygdala: amygdala activation during aversive olfactory stimulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 94, 4119–4124.
- Zellner, D.A., Bartoli, A.M., Eckard, R., 1991. Influence of color on odor identification and liking ratings. *Am. J. Psychol.* 104, 547–561.





# **CHAPITRE V : LE LIEN ODEUR- COULEUR ET LES AFFECTS**

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>135</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>138</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>140</b>
<b>2. MATERIAL AND METHODS .....</b>	<b>142</b>
2.1. PARTICIPANTS .....	142
2.2. OLFACTORY STIMULI.....	142
2.3. TASK LOCATION AND PROCEDURE.....	143
2.4. DATA ANALYSIS .....	145
<b>3. RESULTS .....</b>	<b>145</b>
3.1. DIFFERENCES OR SIMILARITIES OBTAINED INTER- AND INTRA- CULTURALLY IN THE CHARACTERIZATION OF ODORS (QUANTITATIVELY, QUALITATIVELY, HEDONICALLY AND AFFECTIVELY).....	145
3.2. THE CHOICE OF AFFECT TERMS IN EACH COUNTRY AND REGION.....	149
<b>3. DISCUSSION.....</b>	<b>150</b>
<b>4. CONCLUSION .....</b>	<b>156</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>157</b>

## INTRODUCTION

L'étude d'IRMf précédente, qui visait à comparer le pouvoir d'évocation olfactive des couleurs seules à celui de représentations colorées figuratives (photographies), a montré que certaines régions cérébrales responsables du traitement des émotions étaient activées plus fortement durant la visualisation des couleurs / photographies. Nous nous sommes donc intéressé à l'impact des affects en général (émotions et autres sentiments) sur l'association odeur-couleur en effectuant une étude comportementale en France et dans deux régions, urbaine et rurale, du Liban (Kaslik et Zahle respectivement).

Selon Klaus Scherer, les affects sont des états d'esprit. Selon leur force et leur valence, ils s'expriment sous forme d'émotions, d'humeurs, de dispositions affectives, de postures interpersonnelles ainsi que d'attitudes (Scherer, 2005). L'apparition d'un affect va influencer notre corps et notre mental et ainsi modifier notre capacité d'agir soit en l'augmentant soit en la diminuant. Les affects sont généralement opposés à la cognition, cependant, il est incontestable qu'ils contribuent à toute prise de décision.

L'homme qui est un être de culture a montré au cours des siècles une capacité à se transformer et à transformer ce qui l'entoure, à influencer et se faire influencer par son environnement, et si l'activité humaine a modifié par endroit la géographie ou a été à l'origine de changements climatiques, l'entourage géographique et climatique de l'être humain influence aussi en grande partie son psychisme, ses affects et par voie de conséquence les correspondances intermodales entre nos sens mises en place par l'apprentissage.

C'est fort de ce constat que nous nous sommes intéressés à comprendre si au sein d'un petit pays comme le Liban, une différence environnementale et sociétale (milieu rural *versus* milieu urbain) pouvait avoir une influence sur le lien odeurs-couleurs malgré une culture et une histoire commune. Une nouvelle étude a donc été mis en œuvre en France et dans deux régions libanaises (Kaslik et Zhalé). Dans cette nouvelle expérience, nous avons intégré l'identification des affects liés à la perception des odeurs. Pour cela, nous nous sommes basés sur la méthode de EsSence Profile de King et Meiselman (2010) pour étudier ces affects. Une liste de 39 termes affectifs a donc été systématiquement proposée à chaque participant et il devait sélectionner un ou plusieurs affects pour chaque odeur du set d'étude. A noter que 16 des 18 odeurs testées sont restées les mêmes que dans les études précédentes (fragrance (rose, violette), boisé/ nature (concombre), fruits non agrumes (fraise des bois, ananas, mirabelle à forte intensité, mirabelle à faible intensité), citron/ agrumes (citron, citron vert, fleur d'oranger), odeur tranchante (échalote), menthe/ aromatique (menthe, menthe poivrée, lavande), sucrée (caramel), mauvaise odeur (fumé)). A ce set initial, nous

avons ajouté 2 odeurs typiquement libanaises: jellab et mélasse de grenade classées respectivement dans les deux familles parfumé et sucré. Pour chaque odeur, un ou plusieurs des 39 affects pouvaient être sélectionnés et par la suite l'intensité, la familiarité, la comestibilité et l'agréabilité de l'odeur ont été évaluées.

Pour l'analyse, les affects sélectionnés ont été traités séparément puis classés dans 5 groupes selon la classification de Scherer (Scherer, 2005) et en 3 groupes de valence.

Les résultats ont montré que 6 de ces odeurs étaient liées aux mêmes valences d'affects et/ou descripteurs entre les deux pays (échalote, fumé, fraise des bois, mirabelle à forte intensité, mirabelle à faible intensité et caramel). 9 de ces odeurs (concombre, jellab, lavande, menthe, fleur d'oranger, menthe poivrée, ananas, rose et violette) étaient perçues différemment entre la France et le Liban. Et enfin, 3 de ces odeurs étaient perçues différemment entre Kaslik et Zahle mais identiquement entre une de ces régions et la France (mélasse de grenade, citron vert, citron). Comme dans nos études précédentes, plusieurs facteurs peuvent expliquer ces différences, à savoir la fonction de l'odeur dans chaque pays, son agréabilité et sa familiarité dans le pays. Ainsi, par exemple, l'odeur de fleur d'oranger et de rose étaient perçues différemment en raison des différentes fonctionnalités de l'odeur entre les deux pays. Au Liban, ces produits sont utilisés dans les aliments en France, ils sont utilisés dans les cosmétiques et les parfums.

Dans la seconde partie de l'étude, on a étudié les affects majoritaires sélectionnés dans chaque pays, chaque région et toutes odeurs confondues. 9 affects ont été choisis en commun par la France et les deux régions du Liban. Ces affects sont: actif, agressif, calme, dégoûté, énergique, bonne humeur, joyeux, doux et sauvage. Ils représentent des affects positifs, négatifs et neutres. Ils représentent des humeurs, des émotions, des attitudes et des postures interpersonnelles, mais aucun de ces affects majoritaires communs ne représentait une disposition affective. Ainsi, les Français et les Libanais diffèrent dans leurs dispositions affectives, ce qui signifie qu'ils diffèrent dans leurs traits de personnalité et leurs tendances à l'action. Ce qui est normal parce que même si le Liban était sous un mandat français et que les deux pays se ressemblent, ils restent deux pays différents.

Après avoir repéré les similitudes, les affects choisis uniquement en France, au Liban, à Kaslik et à Zahlé ont été identifiés pour dresser le "profil affectif majoritaire", toutes odeurs confondues, de chaque pays et de chaque région.

Ainsi, on a trouvé que l'affect "désireux" était l'un des affects qui prédominait dans le profil affectif du Liban sans doute dû à l'instabilité économique et à l'écart de plus en plus grandissant entre des revenus faibles et un coût élevé de la vie. Cette instabilité économique a influencé le choix de l'affect visant la recherche de conditions meilleures de vie.

De même l'affect "intéressé" prédomine dans les régions rurales (Zahle) alors que l'affect "satisfait" prédomine lui dans les régions urbaine (Kaslik) reflétant également l'instabilité économique actuelle du pays, plus grande dans les régions rurales dont les habitants doivent souvent migrer vers les grandes métropoles urbaines à la recherche d'une vie plus aisée.

Concernant la France l'un des affects majoritaires exprimé par les personnes interrogées était l'affect "nostalgie". Plusieurs articles paru dans la presse Française, notamment un publié le 24 Janvier 2011 dans le Figaro par Anthony Palou, reflètent ce sentiment nostalgique et l'amour du patrimoine très présent dans la société française aujourd'hui.

Pour conclure, cette étude nous montre la complexité des mécanismes engagés dans des tâches parfois aussi simples que sentir une odeur ainsi que la difficulté d'interprétation d'un terme tel que "culture ". Un effet d'échelle est donc nécessaire et le niveau d'urbanisation de la ville dans laquelle les tests sont réalisés est à prendre en considération puisqu'il joue sur les affects des participants et par voie de conséquence sur l'interprétation qu'ils font d'une odeur. Dans notre travail, cette dernière étude, nous montre donc qu'il serait plus judicieux de comparer, par exemple, les résultats des tests odeurs-couleurs réalisés dans la première étude entre Nancy, Kaslik et Taipei qu'entre France, Liban et Taiwan.

## Study of the effect of culture on the description and characterization of odors

Léa NEHMÉ<sup>1</sup>, Reine BARBAR<sup>2</sup> and Muriel JACQUOT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LIBio (Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules), Université de Lorraine, 2 avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54505 Vandoeuvre-lès-Nancy, France.

<sup>2</sup>Department of Food Science, Faculty of Agricultural and Food Sciences, Holy Spirit University of Kaslik, Lebanon, P.O.BOX 446, Jounieh, Lebanon

<sup>3</sup>Innovative Crossmodal Interactions Modeling (InnoCIM), ENSAIA, Université de Lorraine, 2 av. de la Forêt de Haye, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

### ABSTRACT

The purpose of the present study was to assess the impact of cultures on the characterization and the description of odors (hedonically, qualitatively, quantitatively, affectively). Tests were conducted in two countries Lebanon and France. In Lebanon, tests aimed two regions, a rural region Zahle and an urban region Kaslik. The present study used the EsSence Profile, which is a method developed to measure affects associated with food (King and Meiselman, 2010), to investigate the affective description of the 18 odors stimuli. Qualitative, quantitative and hedonic descriptors were used to describe the odors. In Lebanon, 101 subjects from Kaslik, 100 from Zahle and 100 participants from France were tested. Participants had to link the 18 odors stimuli to the different affects and descriptors. PCA tests combined with scatter plots graphs made the visualization of the interdependencies possible. Six odors have been described similarly in both countries (France - Lebanon), nine have been described differently in both countries and three have been characterized differently in Kaslik and Zahle but, similar in one of these areas and France. The differences and similarities in the characterization and description were based on the functionality of the odor in the country, the pleasantness of the odor, the rate and way of consumption and the presence or absence of the odor's product in the country. In the second part of the study, the affective profile of each country and area were made. In conclusion, the culture of the person can influence his characterization and description of an odor qualitatively, quantitatively, hedonically and affectively. People will characterize an odor based on different criterion such as the odor functionality in their country, their economical situation etc... So the person being "the fruit" of his culture, all the aspects in his life are influenced by this culture. Which lead us to the definition of culture from the international institution UNESCO: "Culture can be considered today as the set of distinctive spiritual, material, intellectual and emotional characteristics that characterize a society or a group social. It encompasses, in addition to the arts, letters and sciences, lifestyles, laws, value systems,

traditions and beliefs". It is therefore very difficult to interpret the word "culture" and understanding its effect on the judgment of a person still requires several studies on all the social and economical aspects.

**Keywords:** affects; culture; characterization; descriptors; evaluation; odor.

## 1. INTRODUCTION

One of the main challenges for marketing and consumer studies, with the competitiveness in the markets today, is understanding the main leading drivers of consumer food choice behavior (Spinelli *et al.*, 2014). In fact, throughout the years, the main measure to understand preference and food choice behavior has been the sensory acceptance (liking) of the product (Schutz, 1957; Peryam & Pilgrim, 1957; Pilgrim, 1961; Kamen, 1962, De Graaf *et al.*, 2005). Unquestionably, a product with a higher liking score will be preferred over a product with a lower liking score (De Graaf *et al.*, 2005). But, since measuring the acceptability alone is not a plentiful criterion, the level of emotional responses evoked during the product consumption is also crucial (Thomson *et al.*, 2010). As a matter of fact, emotions are a natural component within a product testing: when asking someone their feelings during or immediately after their exposure to a product, it is plausible and justifiable to assume that the product outgrew the emotion (Meiselman, 2015). So both consumers liking and emotional responses to food should be coupled together in order to evaluate a product position in a competitive market. It is why recently, researchers are becoming more aware of the connection between sensory perception and the emotional experiences elicited during product consumption (King & Meiselman, 2010). Many studies have been conducted on the subject, within a specific product category, such as dark chocolate (Thomson *et al.*, 2010), softeners (Porcherot *et al.*, 2010) or while comparing different product categories (Cardello *et al.*, 2012).

Emotions can be associated with a product by the brand or obtained by specific sensory properties that characterize it (e.g. sweet makes one feel happy etc.), and especially by odors (Soudry *et al.*, 2011), for example a strong nostalgic feeling is evoked when exposed to apple pie odor or baby powder odor (Reid *et al.*, 2014). Indeed, smell has been connoted as a "sensory emotion" (Den Uijl *et al.*, 2016) and olfaction is an associative and emotional sense (Xiang *et al.*, 2016). Odors are able to change and adjust the perception of the world around us in a positive or negative way through emotions processes and thus adjust behavior (Millot *et al.*, 2001). They can even evoke autobiographical memories that are emotionally intense and long forgotten (Chu and Downes, 2002). It could be due to the close anatomical location in the brain of the olfactory system and the systems for learning, memory, emotion, and language (Shepherd, 2006). Therefore, olfaction is firmly linked to emotional processes, sharing some same neural bases (Billot *et al.*, 2017). Projections from the olfactory bulb connect directly to periamygdaloid region, subnuclei of the amygdala that form parts of the primary olfactory cortex. In addition, the orbitofrontal cortex is well identified as part of the secondary olfactory cortex as well as a nexus for sensory integration, modulation of autonomic reactions and the making of decisions involving emotional components



(Kringelbach, 2005). The hippocampal formation, the insula and the anterior cingulate cortex are other brain structures recruited by olfactory perception and also involved in different emotion processing (Soudry *et al.*, 2011). Indeed, during processing, people recognize odor qualities and consequently alter their psychological responses and emotions (Olofsson *et al.*, 2012).

When defining the field of the study of emotion, according to Scherer (2005) and Piolat & Bannour (2008), psychologists usually compare it to many different affects such as mood, attitude, affective dispositions and interpersonal postures. Ekman (1994), in his book "The nature of emotion" stated that many authors specialized in the emotion discipline such as Davidson, Ekman, Frijda, Lazarus, Watson, Clark and Pankseep, differentiate between these different affects by the analysis of these criteria: the speed of initiation, the frequency of occurrence, the aptitude to identify the elements of initiation, the duration, the effect on the attention, the presence of a physiological and behavioral component, its properties and intentionality. According to Robbins & Judge (2011), an affect is a generic term that encompasses a wide range of experienced feelings. While an emotion is an intense feeling generated by an event or an interaction with someone then directed to that someone or something (Robbins & Judge, 2011). A state of mood is generally a less intense feeling than emotion and is denuded of contextual stimulus (Scherer, 2005). Whereas, according to Scherer (2005), an attitude is a relatively enduring belief as well as a predisposition to objects, persons and groups or classes of individuals. An affective disposition is defined as personality traits and tendencies to action. These dispositions describe human tendencies to experience certain moods and the trends to experience certain types of emotions, even when the stimulation is low (Scherer, 2005). An interpersonal posture refers to the emotional style that the person will spontaneously develop in interrelation with one or many persons. In addition, these affects can be divided into positive and negative valence, in fact they could be identified on strength lines going from the negative to the positive (Robbins & Judge, 2011)

In parallel to studies on affects, a growing number of researches started to investigate cross-cultural differences in the way people match gustatory information with non-gustatory ones. For example studies conducted in Europe and Asia argue that bright green and red hues are considered to be the most preferred colors for food (Prokop and Fančovičová, 2012; Lee *et al.*, 2013). Levitan *et al.*, (2014) investigated odor-color association between 6 different cultural groups. Nehmé *et al.*, (2016) conducted a study in Lebanon, France and Taiwan and showed that odor-color associations are culturally dependent. On the other hand, Jacquot *et al.* (2016) studied the existence of cross-cultural differences between two European countries with geographic proximity and shared history: France and England.

Mainly several studies have been directed to investigate the role of affects (especially emotions) in food product experience (Spinelli *et al.*, 2014, Gutjar *et al.*, 2015), or how odors influence emotions (Xiang *et al.*, 2016) or the role of colors on emotions (Gilbert *et al.*, 2016). Additionally several studies have aimed to debate the influence of culture on odor-color associations (Levitan *et al.*, 2014). But, rare studies have inspected the effect of cultures on the objective and affective characterization of odors.

The aim of the present study is to investigate the role of culture on the odor characterization (qualitative, quantitative, hedonic and affective) intraculturally in rural and urban areas of Lebanon (Zahle and Kaslik) and interculturally between Lebanon and France.

## 2. MATERIAL AND METHODS

### 2.1. Participants

Sensory analysis have been conducted in both countries, 100 naïve subjects were recruited in France (University of Lorraine), 101 were recruited from the urban area of Lebanon, Kaslik (Holy Spirit University of Kaslik, USEK) and 100 subjects from the rural area of Lebanon, Zahle (Holy Spirit University of Kaslik, USEK Zahle). Participants had a mean age of 27 years old. All were naïve with regard to the stimuli and the purpose of the study. The participants were instructed not to wear any fragrance on the day of the sessions and not to have a meal, coffee, or to smoke in the 30 minutes preceding their session. Only participants who reported having normal sense of smell with no olfactory dysfunction were tested.

### 2.2. Olfactory stimuli

18 food and floral natural aromas (Laboratoires Mathé, Maxéville, France) were selected as olfactory stimuli: rose, violet, orange blossom, lavender, cucumber, wild strawberry, lemon, lime, smoke, shallot, pineapple, caramel, mint, peppermint, pomegranate molasses (Lebanese odor), jellab (Lebanese odor based on date molasses) and mirabelle plum (a small yellow plum, specialty of the French region of Lorraine). Sixteen odors had the same aromatic intensity. The same odor of mirabelle plum was presented twice with two different aromatic intensities (low and high intensity). Olfactory stimuli were thus prepared by injecting 1mL of each odorant into a small piece of carded cotton, previously placed into a small opaque glass bottle. No salient visual cues were therefore available to participants. We have classified our odors according to Castro *et al.*, (2014) as

following: fragrant (rose, violet, jellab), woody/ nature (cucumber), non-citrus fruity (wild strawberry, pineapple, mirabelle plum), lemon/citrus (lemon, lime, orange blossom), sharp (shallot), minty/ aromatic (mint, peppermint, lavender), sweet (caramel, pomegranate molasses), sickening (smoked).

### 2.3. Task location and procedure

In both countries, sessions were conducted in sensory testing facilities with individual booths. Each testing booth had white walls and standardized white light source (D65). Each subject was presented with the 18 olfactory stimuli in a random order. For each olfactory stimulus, participants were asked to open the glass bottle and smell its content. After each olfactory stimulus it was recommended to rest for 1 min and to smell coffee beans presented in a glass bottle. Participants had to answer a questionnaire after sniffing each odor stimuli. Subjects had to characterize each odors according to 4 dimensions: qualitatively (familiarity, edibility), quantitatively (intensity), hedonically (pleasantness) and affectively (EsSense profile).

The affective characterization was based on the EsSense Profile, which is a method published in 2010 by King and Meiselman to measure emotions associated with food.

We classified the 39 affects of the EsSense profile into different affects families and into different valences based on the definitions of Scherer (2005) and Robbins & Judge (2011) (table. V. 1 and table. V.2). Some of them could alternate between two valences but mainly are linked to a specific valence.

**Table. V. 1.** Categorizing the affects into emotions and other affective phenomena

<b>Emotions</b>	<b>Moods</b>	<b>Interpersonal Postures</b>	<b>Affective Dispositions</b>	<b>Attitudes</b>
Bored	Active	Friendly	Nostalgic	Adventurous
Disgusted	Agressive	Mild	Tame	Affectionate
Glad	Calm	Polite		Daring
Guilty	Enthusiastic	Tender		Eager
Interested	Good	Understanding		Energetic

Joyful	Good- natured	Warm		Free
Pleasant	Happy			Loving
Pleased	Merry			Quiet
Satisfied	Peaceful			Secure
Worried	Steady			Whole
				Wild

**Table. V. 2.** Valence of the 39 affects

Negative Affects	Neutral Affects	Positive Affects	
Agressive	Calm	Active	Loving
Bored	Quiet	Adventurous	Merry
Disgusted	Steady	Affectionate	Mild
Eager	Whole	Daring	Peaceful
Guilty		Energetic	Pleasant
Interested		Enthusiastic	Pleased
Nostalgic		Friendly	Polite
Tame		Free	Satisfied
Wild		Glad	Secure
Worried		Good	Tender
		Good-natured	Understanding
		Happy	Warm
		Joyful	

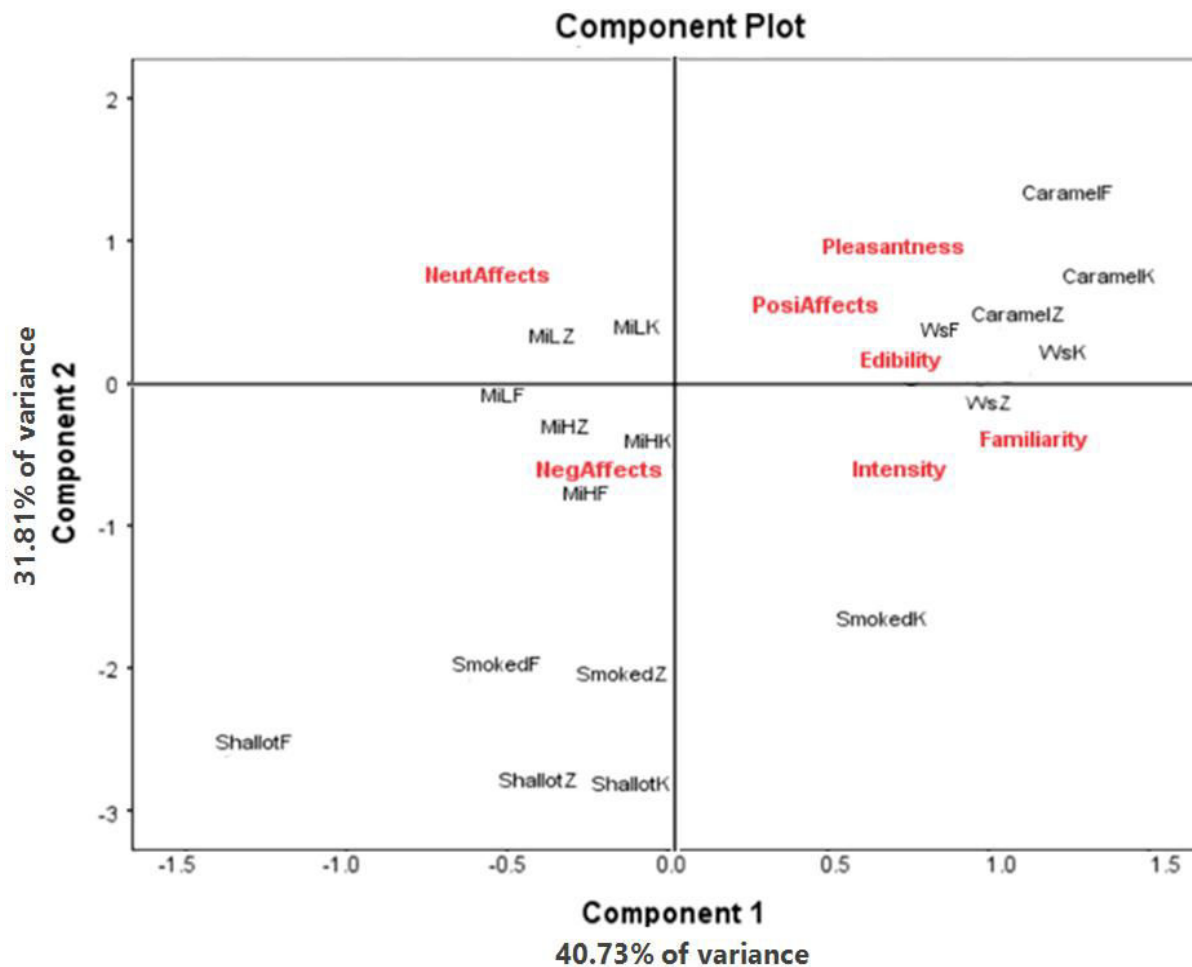
#### 2.4. Data analysis

All data was merged across gender, because no significant differences were observed between the answers of men and women. Subjects who were not able to perceive a particular stimulus and thereby rate descriptors were excluded from analysis. All data analysis were performed with SPSS (Version 21). A principal component analysis (PCA), which is a powerful multivariate statistical technique, was used, in order to reduce the data dimensionality, to make visualization possible while retaining as much information as possible, and to allow the evaluation of variable interdependencies. PCA was used to visualize the multidimensional distribution of the affect valences and descriptors selected to describe the 18 odors in each country. To highlight the distribution of odors in each country in the multidimensional valence and descriptor space obtained, scatter plot graphs were superimposed to the principal components space derived from the PCA technique.

### 3. RESULTS

#### 3.1. Differences or similarities obtained inter- and intra- culturally in the characterization of odors (quantitatively, qualitatively, hedonically and affectively)

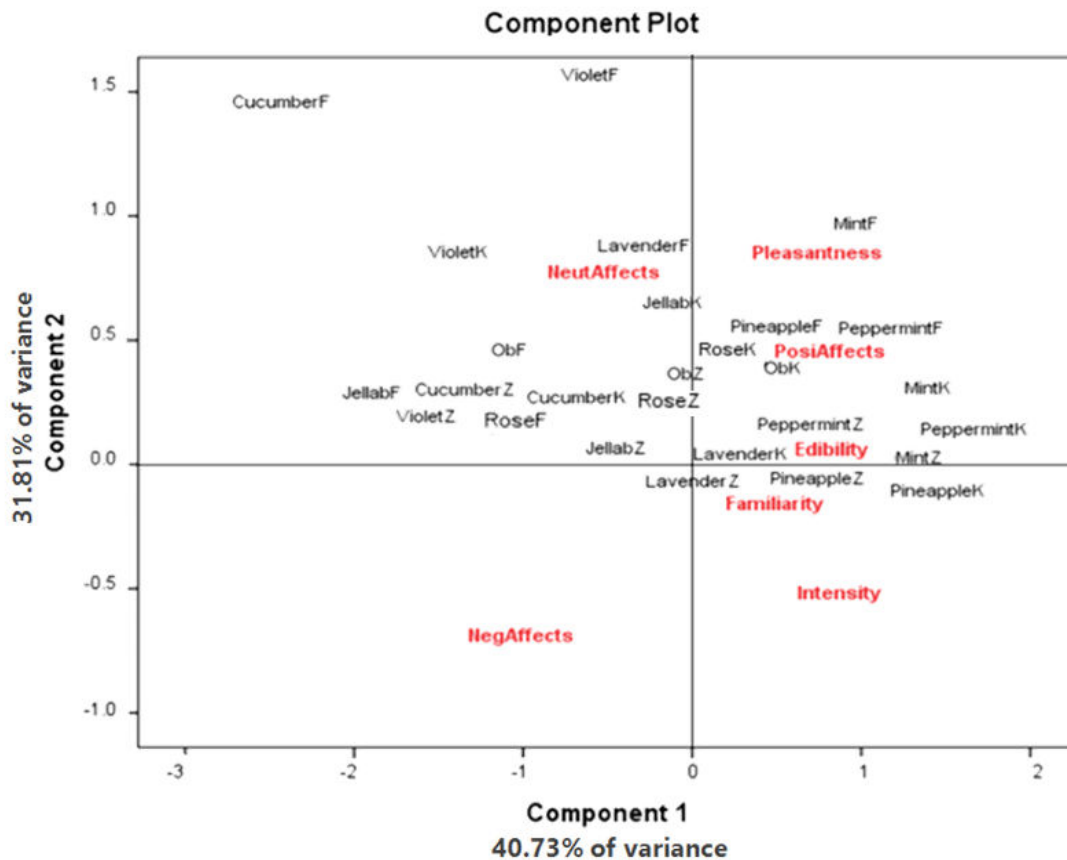
We realized a PCA test to which we superimposed a scatter plot graph, in order to visualize the intra- and inter- cultural differences or similarities in the characterization. Eigenvalues higher than 1.0 were selected to choose the principal components (PCs). PC1 and PC2 explained 72.54% of the cumulative variable. PC1 and PC2 helped us visualizing the similarities in the associations of odors to same valences or descriptors as can be seen in figure V.1.



**Fig.V. 1.** PCAs combined with a scatter plot to visualize similarities in the associations of some odors to same valences and/or descriptors between both countries or within the same country. The odors are Caramel, MiH, MiL, Shallot, Smoked and Ws. (F: France, K:Kaslik, Z:Zahle) (respectively: MiH: mirabelle plum high intensity, MiL: mirabelle plum low intensity, Ws: wild strawberry). The descriptors are: Edibility, Familiarity, Intensity and the valences are: NegAffects, NeutAffects, PosiAffects (respectively: NegAffects: Negative affects, NeutAffects: Neutral affects, PosiAffects: Positive affects).

As can be seen in figure V. 1., sharp odor (shallot) and sickening (smoked) odors have been mainly correlated to an affective characterization in both countries in fact both of them were linked to negative affects in Zahle, Kaslik and France. The sweet odor caramel was associated to an affective (positive affects), hedonic (pleasantness) and qualitative (edibility) characterization in both countries. Non-citrus fruity odor (wild strawberry), has been associated to qualitative descriptors (edibility, familiarity) in both countries and areas. In opposite to MiL (another non-citrus fruit), which was projected on the opposite of wild strawberry on the graph so mainly it was considered non edible and not familiar, which is also a qualitative association. Finally, MiH was associated to negative affects in France and Lebanon (Kaslik-Zahle) so it was an affective characterization.

Differences between France and Lebanon in the association to valences or descriptors can be seen in figure 2.



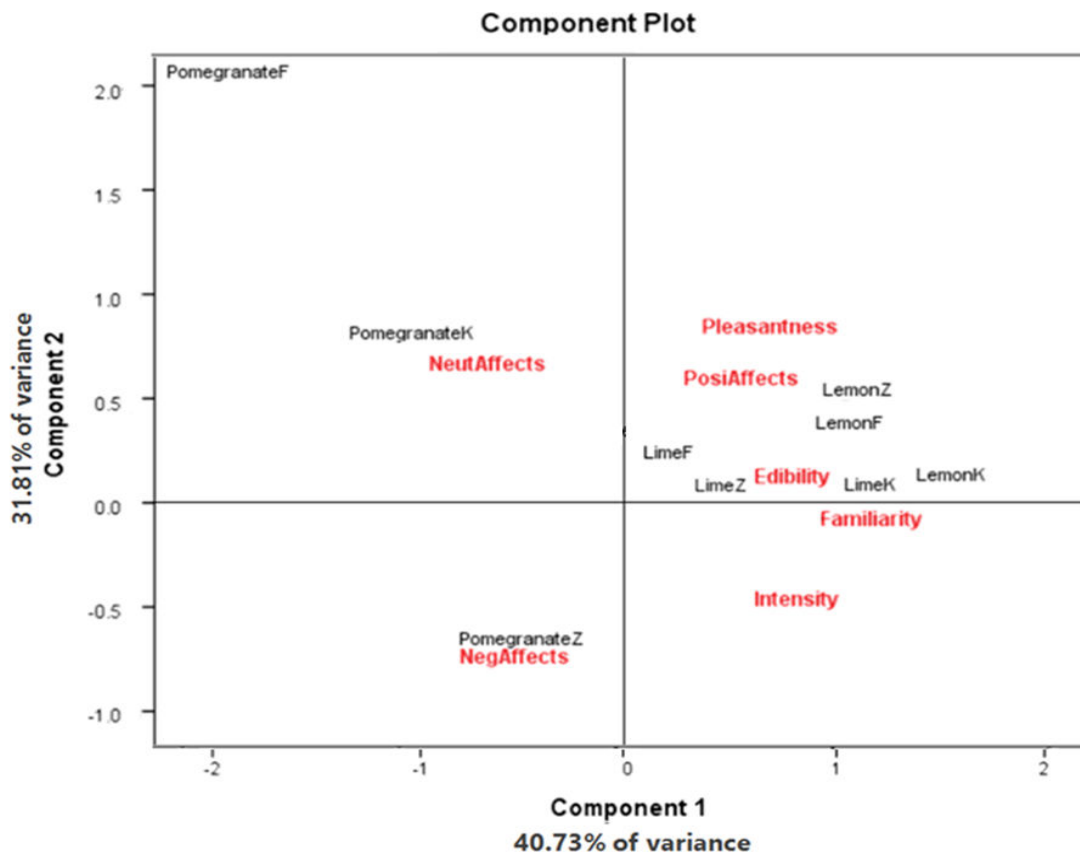
**Fig.V. 2.** PCAs combined with a scatter plot graph to visualize intercultural differences in the association of some odors to valences and/or descriptors. The odors are: Cucumber, Jellab, Lavender, Mint, Ob, Peppermint, Pineapple, Rose and Violet. (F: France, K: Kaslik, Z: Zahle) (Ob: orange blossom). The descriptors are: Edibility, Familiarity, Intensity and the valences are: NegAffects, NeutAffects, PosiAffects (respectively: NegAffects: Negative affects, NeutAffects: Neutral affects, PosiAffects: Positive affects).

In figure V. 2, PC1 (40.73%) and PC2 (31.81%) visualized the intercultural differences in term of characterization between both countries Lebanon and France. The characterization of cucumber's odor in France was very different from the one in Lebanon. In France, it was associated to an affective description (neutral affects) while in Lebanon (in Kaslik and in Zahle), it was associated to a qualitative description (non edible and non familiar). Both mint and peppermint were linked to hedonic and affective descriptors (pleasant and positive affects) in France, while being linked to a qualitative description in both areas of Lebanon (edibility). Pineapple odor in Lebanon was considered in a qualitative way (familiar and edible), but, in France it was associated to an affective description (positive affects). Jellab odor in France was characterized qualitatively (non edible and

not familiar) when in Lebanon it was characterized affectively (neutral affects) while being also considered qualitatively (non edible and not familiar) but lesser than in France.

Rose odor and orange blossom odors in France were described qualitatively (non edible and not familiar), while being linked in Lebanon to positive affects mostly in Kaslik and less in Zahle (affective description). The characterization of lavender odor in France was very different from the one in Lebanon, in France it was described affectively (neutral affects), when in Lebanon it was described qualitatively (familiar). Finally for violet odor, French citizens characterized it affectively (neutral affects) and Lebanese citizens characterized it both affectively (neutral affects) and qualitatively (non edible and not familiar).

Three odors registered intra-cultural differences (K- Z) or inter-cultural differences (F- K or F-Z), these differences are visualized in figure V.3 by PC1 and PC2.



**Fig.V. 3.** PCAs combined with scatter plots to visualize the inter- or intra- cultural differences for Lemon, Lime and Pomegranate molasses. (F: France, K: Kaslik, Z: Zahle). The descriptors are: Edibility, Familiarity, Intensity and the valences are: NegAffects, NeutAffects, PosiAffects (respectively: NegAffects: Negative affects, NeutAffects: Neutral affects, PosiAffects: Positive affects).



As can be seen in figure 3, pomegranate molasses, lime and lemon registered differences inter- or intra- culturally. In fact, pomegranate molasses odor in France and in Kaslik were described affectively (neutral affects), and also affectively in Zahle but with negative affects. Lime and lemon were characterized in France and Zahle qualitatively and affectively (edible (lime) and positive affects (lemon)), while being associated to just qualitative descriptors in Kaslik (familiarity and edibility)

### 3.2. The choice of affect terms in each country and region

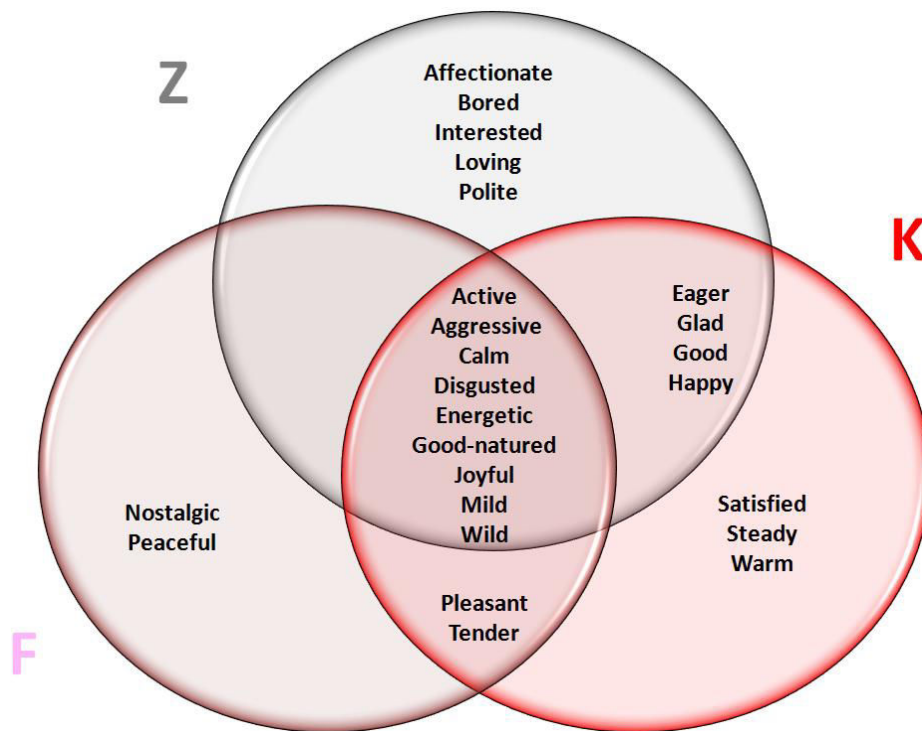
When analyzing the frequency of use of the terms to describe the odors in each country and each area, we noticed that in each country three main affects were selected the most. These affects along with the number of odors linked to them are presented in table V. 3.

**Table. V. 3.** The three main affects selected in France, Kaslik and Zahle and the number of odors they have been linked to.

France		Kaslik		Zahle	
Pleasant	15 odors	Pleasant	12 odors	Good	14 odors
Calm/ Mild	7 odors	Calm	8 odors	Calm/ Active	11 odors
Good-natured	6 odors	Glad	6 odors	Happy	5 odors

As can be seen in table V. 3, pleasant was the main affect selected to describe 15 odors in France and 12 odors in Kaslik. While in Zahle the main affect was good, and it was linked to 14 odors. Calm affect was the second main affect used by the three populations along with mild (used to describe seven odors) in France and active (16 odors) in Zahle. Good-natured was used in the third place to describe six odors in France. While in Kaslik, glad came in the third position describing six odors as well and happy was used in Zahle to describe five odors. So, we can notice that the "pleasant" affect term is not present in Zahle in opposite to France and Kaslik. And we notice as well that the neutral affect term "calm" is present in the both areas and countries.

After analyzing the 3 main affects used for all the odors combined, we intended to create the affective profile for each area and country. In order to do so, we selected the 3 main affect terms used for each odor in each country and we combined them together. The results are visualized in figure V.4.



**Fig.V. 4.** The combination of the 3 main affect terms used for each odor in each country and area.

When combining the three main affects selected in each country for each odor, we notice that 13 affect terms were selected in France, 18 terms in Kaslik and 18 terms in Zahle. We can notice as well the presence of intersections in the terms used. In fact, there is four intersections between Kaslik and Zahle. The terms intersecting are: eager, glad, good and happy and they represent the Lebanese affect profile characterizing the Lebanese people. We notice two intersections between Kaslik and France: pleasant and tender while there are no intersections between Zahle and France. Nine intersections exist between France, Kaslik and Zahle, the affects intersecting are: active, aggressive, calm, disgusted, energetic, good-natured, joyful, mild and wild. The remaining affects are satisfied, steady and warm representing the affect profile for Kaslik citizens. Nostalgic, and peaceful representing the French citizens affect profile and, finally the affect terms selected only in Zahle are: affectionate, bored, interested, loving and polite representing the affect profile of Zahle citizens.

### 3. DISCUSSION

First and as expected, we found differences in the characterization of odors inter- and intra-culturally. Nine odors have been interpreted differently between both countries Lebanon and France. Whereas, three odors have realized differences in their analyses within the same country, Lebanon, between both areas, Kaslik and Zahle, and six odors have been interpreted similarly by the citizens of the three areas.

Indeed, it has been demonstrated by several studies that culture specific experiences do influence enormously the interpretation of an odor (Ayabe-Kanamura *et al.*, 1998; Ferdenzi *et al.*, 2011; Maricet *et al.*, 2012). More recently, Nehmé *et al.* (2016) have compared the odor-color association between three populations France, Lebanon and Taiwan, and they have showed differences in these associations. In addition, Jacquot *et al.*, 2016, have showed differences in the association of colors to odors in two countries (France and England) sharing geographic proximities and histories. Therefore, it may be reasonable to expect differences in the description of odors and in their associations to different affects valence interculturally due to the differences in the function of odors, in the culinary habits or even in the symbolism of the odor in each culture.

The six odors perceived similarly in both countries were: shallot, smoked, wild strawberry, both mirabelle plums and caramel.

Two of these odors (shallot and smoked) belong to sharp and sickening families. Both of these families are considered as unpleasant families. Unpleasant odors are usually perceived similarly by most people, so, mainly people will use the same affect terms and judgment criteria's to describe an unpleasant odor. In fact, many studies have demonstrated that negative odors are detected not only faster but also more accurately than other odor categories. It could generate from the fact that humans since the beginning of time learned to differentiate, for their survival good from bad odors, especially that unpleasant odors are often a signal of danger like toxins or spoiled food (Dielenberg and McGregor, 2001). Even shallot which is a food odor is considered unpleasant, along with garlic, when smelled alone (Knaapila *et al.*, 2017).

Caramel and wild strawberry odors as well, have been described the same between the 2 countries, due to the fact that they share the same function in these areas. Both are used to produce sweets, chocolate, and even beverages (wild strawberry). They are widely recognized in the 2 countries who gave them the same valence and descriptors.

Both mirabelle plums were considered alike in both countries. Mirabelle plum is an unknown fruit in Lebanon and very regional fruit in France. According to Knaapila *et al.*, (2017), given that the most important function of human olfaction, as previously explained, is associated with ingestion and avoiding hazards, it is logical that a new food odor will not immediately be experienced as pleasant. Because a person will not be sure whether the new odor source is safe or not. It is why MiL in Lebanon was considered non edible and not familiar and MiH, more intense, was associated to negative affects.

Nine odors have been described differently between both countries and similarly within the same country Lebanon. These odors are: cucumber, jellab, lavender, mint, orange blossom, peppermint, pineapple, rose and violet.

Cucumber, jellab, lavender and violet are described differently due to the presence or absence of the odor in the country. In fact, cucumber in Lebanon are present in different species and are consumed widely in opposite to France, lavender as well is widely present in Lebanon, while jellab is a traditional beverage of Lebanon, nonexistent in France. The violet however is a flower rarely planted in Lebanon.

On the opposite, the difference realized for pineapple, mint and peppermint are related to the consumption rate. In Lebanon, they are frequently consumed and less in France. In parallel rose and orange blossom odors differed due to the different functionalities of the odor between Lebanon and France. In Lebanon, these products are used in food while in France they are used in cosmetics and perfumes. The way of consumption interfered mainly in rose odor, because Lebanese are used to the artisanal odor of the flower and an industrial one was used so they considered the odor not edible but still was linked to positive affects. The same explanation is applicable for orange blossom and cucumber odors. In conclusion, these intercultural differences seem related to different causes: the difference in the functionality between both countries, the consumption rate, presence or absence of the product in the country, the way of consumption (artisanal or industrial).

Differences between Lebanon and France have been expected due to the differences in the culture in both countries. But in Lebanon, less differences were expected between both rural and urban areas, because Lebanon is after all a small country of 10 452 km<sup>2</sup> total surface. However, three odors have been characterized differently in both areas of Lebanon but, similarly between one of these areas and France. These odors are: pomegranate molasses, lime and lemon.

Lemon and lime in Kaslik were considered edible and familiar because Kaslik citizens are familiar with the essential oil of these products. Zahle and French citizens linked lemon to positive affects and lime to edibility and positive affects but less familiarity.

Pomegranates molasses is an unknown odor in France, it is a traditional product of Lebanon, it is why they linked it to neutral affects as well as Kaslik citizens who usually use it less often than in Zahle. Zahle citizens are used to produce the pomegranate molasses manually, it is why they associated the industrial one to negative affects.

Therefore, we conclude that the odor-affect-descriptor association will be modulated as expected by culture. Nevertheless, even within the same small country, which is supposed to have a same

culture in all of its areas, we can still find differences between one region and another. That was observed in the unexpected "high" number of differences between Zahle and Kaslik.

Second, because there is a strong overlap between olfactory pathways and limbic brain structures, odors can color and change the perception about the world through affect processes (Billot *et al.*, 2017). As humans, usually we are confronted to different stimuli. These will be received by the receptors of the organ stimulated to get to the central nervous system in order to generate a sensation that will lead to the perception. The characterization of an odor can be hedonic, qualitative, affective or quantitative. Billot *et al.*, (2017) explained that the perceptual processing of affects and odors is dominated by its hedonic feature (pleasantness/ unpleasantness). We should mention that the hedonic aspect and the affective aspect of an odor are two different aspects. The hedonic aspect describe the odor as being pleasant or unpleasant. This hedonic aspect will than generate for humans positive affects if it was a pleasant odor or negative affects if it was an unpleasant one. In the present study some of our odors like shallot, came along with the statement of Billot *et al.*, (2017). In fact these odors were directly linked to negative affects. So, mainly unpleasant odors are directly associated to the affective descriptors after being unconsciously associated first to the hedonic feature. Some other odors were also directly categorized based on their affective description like cucumber, so mainly their hedonic feature unconsciously generated the affective descriptors. So odors being first characterized by their hedonic features or not. The fact that they were linked to an affective association means that they were first judged by their hedonic aspects.

In parallel, some of the odors were directly perceived by their qualitative features like wild strawberry. This could be due to the fact, that when trying to describe an odor qualitatively it is hard to characterize later its affective side, because participants will be focusing only on this qualitative side. So mainly the position of these odors on the graphs shows that the hedonic aspect had a small role to play in their characterization. None of the odors was perceived mainly by the quantitative feature.

We can conclude that based on culture, an odor will be characterized by an hedonic, qualitative, quantitative or affective descriptors. When categorizing explicitly or implicitly the hedonic aspect of an odor, this categorization will lead to an affective one. But categorizing the qualitative aspect less lead to an affective description.

In the second part of the study the affective profile of each country and region was created. In France and Kaslik, the main term was pleasant. Lebanese in Kaslik and French citizens tend to

judge the odor first by its hedonic feature to develop the judgment later on. While Zahle citizens do not have the hedonic feature in their judgment, which is unexpected and surprising. Calm affect term was the second main affect chosen for the three groups, so mainly neutral affects do exist in both countries but most of all in Zahle (where the term was used to describe 16 odors).

Then we combined the 3 main affects selected in each country and area for each odor to realize the affective profile. In France, mainly 13 affect terms were used to characterize the odors. In Kaslik and Zahle, 18 affects were used in each. We obtained 9 positive, negative and neutral affect terms intersecting between the 3 regions. They represent mood, emotions, attitudes and interpersonal postures, but there are no affective dispositions in common. Therefore, French and Lebanese differ in their affective dispositions, which means they differ in their personality traits and tendencies to action.

Four other affect terms are intersecting between Kaslik and Zahle, these affects represent the affect profile of Lebanese people. Lebanese are happy, good, glad and eager. All these affects are positive except eager. As we have explained urban areas of Lebanon are economically more stable than rural areas, but still, according to an article published in *l'Orient le jour* on the 19th September 2016 by Celine Haddad, Lebanon is characterized in general by low incomes and high cost of living. So the eager feeling is explainable by the fact that Lebanese are eager to a better life. So, even if we found some discrepancies in the culture linked to the social / economic level, both regions in Lebanon still share common traits after all it is the same culture.

In parallel, two affects are in common between Kaslik and France: tender and pleasant. As explained before French and Kaslik citizens due to their higher income can afford to think first of the hedonic feature of the food odor.

There are no affect terms in common between Zahle and France, due to the fact that Kaslik is a city and cities tend more to globalization than rural areas. So, Kaslik will be closer than Zahle to France.

Lebanese, in the urban area, mainly used emotions, moods and interpersonal postures. While Zahle citizens designated their feeling by attitudes, emotions and interpersonal postures. In France, they used only moods and affective dispositions.

These exclusive affects used in each region represents the affect profile of France and rural and urban areas of Lebanon. The negative term used by French citizen's is "nostalgic", which represent a sentimental or wistful yearning for the happiness felt in a former place, time or situation. French citizens in their majority tend to have nostalgic feelings to their past, according to an article published in *le Figaro* on the 24th of January 2011 by Anthony Palou. The culture in France is

nourished on the celebration of the past, sometimes to excess. It is in this perspective that one must read the nostalgia today, due to rapid technological progress. This nostalgic feeling clearly influenced as well the association of French participants of affects to odors.

While in Zahle the negative affect terms were "bored" and "interested". Interested term is considered as a negative affect because it represents a feeling of interest that could be influenced by personal or selfish motives. In Kaslik no negative affect terms were selected exclusively.

The difference between both rural (Zahle) and urban areas (Kaslik) of Lebanon, could be related to the economic situation of the citizens in these areas or, more specifically their income. According to Saso *et al.*, (2015), this criteria was relevant when comparing between low incomes (LI) and middle incomes (MI) populations in Argentina in order to analyze their food choice and emotions. Negative emotions were checked more frequently by LI respondents than by MI respondents. And, the income level was an important factor in food-choice motives. For example, soup was associated to positive emotions by LI such as active and secure because it meant having a hot plate on the table to share with the family, while, MI associated it with "bored" because it represents a boring alternative to other more exciting menus.

Rare official documents exist on the comparison of the income in regions of Lebanon but according to Verdeil *et al.*, 2007, it is in the central region of Beirut (the capital) and Mount Lebanon (Kaslik is in Mount Lebanon) that we can find the highest and middle incomes. While in Bekaa (Zahle is in Bekaa) we have extreme poverty. Which can explain the fact that in Zahle, predominant affects were "bored" and "interested" while in Kaslik they were more in the categories "satisfied", "stable" and "warm". So we can deduce as hypotheses that the average income in these regions may have interfered in their interpretation of the odors.

Finally, as can be seen, a culture can affect all the aspects in the life of the citizens even their characterization and description of an odor. The complexity of this notion of culture, lead us to the conclusion that in order to understand its effect one must first study all its assets and aspects.

#### 4. CONCLUSION

Humans are closely linked to their culture, entourage and this needs to be taken into consideration while studying the description and characterization of odors. EsSence Profile questionnaires (King and Meiselman, 2010) were realized inter and intra culturally while asking the participants to describe quantitatively, qualitatively, hedonically and affectively the 18 odors. Differences and similarities were registered. In fact, some odors have been perceived similarly interculturally (France - Lebanon), some have been perceived differently interculturally (France - Lebanon) and other differently intraculturally (Zahle-Kaslik). The affect profile of each country and region have been realized by using the specific affects selected in each region. We have demonstrated that these affects were not selected randomly. In opposite, they are related to the cultural and economic situation of the participants. In fact, all the aspects of the characterization of an odor are affected by the culture. The functionality of the odor, the ease of access to the product of the odor, the way of consumption in the country and many different criteria's in addition to the economic stability in the country or area will in fact proceed to modulate the response and perception of a consumer towards an odor.

As a result, to be able to be a competitor in the market today, industrials should take all these criteria's into consideration even within the same country. Unfortunately, rare studies have been made to understand the economical and social effects on the characterization and description of odors. Due to the lack in the exploitation of these social and economical effects, more studies should be conducted in the future in order to understand the consequences for example of the political stability in each country, the mean population age, the unemployment rate or other socio-economical aspects on the odor perception and affects. In conclusion, this study shows the complexity of the mechanisms involved sometimes in tasks, as simple as, smelling an odor. As well as the difficulty of interpretation of a term such as 'culture '. A scale effect is thus necessary and the degree of urbanization of the city in which the tests are performed is to be considered as it plays a role on the affects of the participants and consequently on their interpretation of the odor.



## REFERENCES

- Ayabe-Kanamura, S., Schicker, I., Laska, M., Hudson, R., Ditsel, H., Kobayakawa, T., & Saito, S. (1998). Differences in perception of everyday odors: a Japanese- German cross- cultural study. *Chemical Senses*, *23*, 31-38.
- Billot, P.E., Andrieu, P., Biondi, A., Vieillard, S., Moulin, T. & Millot, J.L. (2017). Cerebral bases of emotion regulation toward odours: A first approach. *Behavioural Brain Research*, *317*, 37-45.
- Cardello, A.V., Meiselman, H.L., Schitz, H.G., Craig, C., Given, Z., Leshner, L.L and Eicher, S. (2012). Measuring emotional responses to foods and food names using questionnaire. *Food Quality and Preference*, *24*, 243-250.
- Castro, J.B., Quinn, .S.P., Ramanathan ,A. & Chennubhotla, C.S. (2014). Categorical, low-dimensional decomposition of human odor space with non-negative matrix factorization. *Flavour*, *3: (S1)*, P3.
- Chu, S. & Downes, J.J. (2002). Proust nose best: odor are better cues of autobiographical memory. *Memory & Cognition*, *30 (4)*, 511-518.
- De Graaf, C., Cardello, A.V., Kramer, F.M., Leshner, L.L., Meiselman, H.L. & Schutz, H.G. (2005). Food acceptability in field studies with US army men and women: Relationship with food intake and food choice after repeated exposures. *Appetite*, *44(1)*, 23-31.
- Den Uijl, L.C., Jager, G., De Graaf, C., Meiselman, H.L. & Kremer, S. (2016). Emotion, olfaction, and age: A comparison of self-reported food-evoked emotion profiles of younger adults, older normosmic adults, and older hyposmic adults. *Food Quality and Preference*, *48*, 199-209.
- Dilenberg, R.A. & McGregor, I.S. (2001). Defensive behavior in rats towards predatory odors: a Review. *Pergamon-Elsevier Science Ltd*, 597-609.
- Ekman, P. (1994). All emotions are basic. In: Davidson, R.J., Ekman, P., Scherer, K. (Series Eds.), Ekman, P., Davidson, R.J. (Vol Eds.), *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*. Oxford, New York, pp. 15-19.
- Ferdenzi, C., Schirmer, A., Roberts, S.C., Delplanque, S., Porcherot, C., Cayeux, I., Velazco, M.I., Sander, D., Scherer, K.R. & Grandjean, D. (2011). Affective dimensions of odor perception: a comparison between Swiss, British, and Singaporean populations. *Emotion*, *11*, 1168-1181.

- Gilbert, A., Fridlund, A. and Lucchina, L. (2016). The color of emotion: A metric for implicit color associations. *Food Quality and Preference*, 52, 203-210.
- Gutjar, S., De Graaf, C., Kooijman, V., De Wijk, R., Nys, A., Horst, G. and Jager, G. (2015). The role of emotions in food choice and liking. *Food Research International*, 76, 216-223.
- Haddad, C. (Liban, 2016, 19 Septembre). "Comment l'économie libanaise pousse les jeunes à émigrer". *L'Orient le Jour on the site www.lorientlejour.com*. Consulted on the 17th of February 2017. <https://www.lorientlejour.com/article/1007857/comment-leconomie-libanaise-pousse-les-jeunes-a-emigrer.html>.
- Jacquot, M., Noel, F., Velasco, C. & Spence, C. (2016). On the colours of odours. *Chemosensory Perception*, 9, 79-93.
- Kamen, J.M. (1962). Reasons for non-consumption of food in the army. *Journal of the American Dietetic Association*, 41, 437-442.
- King, S. and Meiselman, H. (2010). Development of a method to measure consumer emotions associated with foods, *Food Quality and Preference*, 21, 168-177.
- Knaapila, A., Laakson, O., Virtanen, M., Yang, B., Lagström, H. & Sandell, M. (2017). Pleasantness, familiarity and identification of spice odors are interrelated and enhanced by consumption of herbs and food neophilia. *Appetite*, 109, 190-200.
- Kringelbach, M. (2005). The human orbitofrontal cortex: linking reward to hedonic experience. *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 691-702.
- Lee, S.-M., Lee, K.-T., Lee, S.-H., Song, J.-K. (2013). Origin of human colour preference for food. *Journal of Food Engineering*. 119, 508–515.
- Levitan, C., Ren, J., Woods, A., Boesveldt, S., Chan, J., McKenzie, K., Dodson, M., Levin, J., Leong, C., Van den Bosch, J. (2014). Cross-Cultural Color-Odor Associations. Available at Plosone: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0101651>.
- Maric, Y., Barbar, R. & Jacquot, M. (2012). As pink as an orange blossom odour: a French-Lebanese cross-cultural study. Proceedings of AIC Colour 2012. Interim Meeting of the International Colour Association.

- Meiselman, H.L. (2015). A review of the current state of emotion research in product development. *Food Research International*, 76, 192-199.
- Millot, J.L. & Brand, G. (2001). Effects of pleasant and unpleasant ambient odors on human voice pitch. *Neuroscience letters*, 297, 61-63.
- Nehmé, L., Barbar, R., Maric, Y. & Jacquot, M. (2016). Influence of odor function and color symbolism in odor-color associations: A French- Lebanese- Taiwanese cross-cultural study. *Food Quality and Preference*, 49, 31-41.
- Olofsson, J.K., Bowman, N.E., Khatibi, K. & Gottfried, J.A. (2012). A time-based account of the perception of odor objects and valences. *Psychological Science*, 23 (10), 1224-1232.
- Palou, A. (Paris, 2011, 24 Janvier). " Pourquoi tant de nostalgie?". *Le Figaro*. On the site [lefigaro.fr](http://www.lefigaro.fr). Consulted in the 24th of Juin 2016. <http://www.lefigaro.fr/culture/2011/01/24/03004-20110124ARTFIG00431-pourquoi-tant-de-nostalgie.php>.
- Peryam, D.R. & Pilgrim, F.J. (1957). Hedonic scale method of measuring food preferences. *Food Technology*, 11, 9-14.
- Pilgrim, F.J. (1961). What foods do people accept or reject? Group attitudes and behavior toward food. *Journal of American Dietetic Association*, 38, 439-443.
- Piolat, A. & Bannour, R. (2008). Emotions et affects: Contribution de la psychologie cognitive. In Nagy, P. & Boquet, D. (eds). *Le sujet des émotions au Moyen Age*. Paris: Beauchesse Editeur, pp. 53-84.
- Porcherot, C., Delplanque, S., Raviot-Derrien, S., Calvé, B.L., Chrea, C., Gaudreau, N. & Cayeux, I. (2010). How do you feel when you smell this? optimization of a verbal measurement of odor-elicited emotions. *Food Quality and Preference*, 21, 938-947.
- Prokop, P. & Fančovičová, J. (2012). Beautiful fruits taste good: the aesthetic influences of fruit preferences in humans. *AnthropologischerAnzeiger*. 69, 71–83.
- Reid, C.A., Green, J.D., Wildschut, T. & Sedikides, C. (2014). Scent-evoked nostalgia. *Memory*, 22, 1-10.

- Robbins, S. & Judge, T. (2011). *Comportements organisationnels*. Pearson Education France.
- Scherer, K. R. (2005). What are emotions? And how can they be measured? *Social Science Information, 44*, 693-727.
- Schutz, H.G. (1957). Performance ratings as predictors of consumption. *American Psychologist, 12*, 380.
- Shepherd, G.M. (2006). Smell images and the flavour system in the human brain. *Nature, 444*, 316-321.
- Sosa, M., Cardinal, P., Contarini, A., & Hough, G. (2015). Food choice and emotions: Comparison between low and middle income populations. *Food Research International, 76*, 253-260.
- Soudry, Y., Lemogne, C., Malinvaud, D., Consoli, S.M., & Bonfils, P. (2011). Olfactory system and emotion; Common substrates. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck diseases, 128*, 18-23.
- Spinelli, S., Masi, C., Dinnella, C., Zoboli, G.P. and Monteleone, E. (2014). How does it make you feel? A new approach to measuring emotions in food product experience, *Food Quality and Preference, 37*, 109-122.
- Thomson, D.M.H., Crocker, C., Marketo, C.G. (2010). Linking sensory characteristics to emotions: An example using dark chocolate. *Food Quality and Preference, 21*, 1117-1125.
- Verdeil, E., Faour, G. & Velut, S. (2007). *Atlas du Liban*. Presse de l'Ifpo, CNRS Liban.
- Unesco. (1982). Déclaration de Mexico sur les politiques culturelles. Conférence mondiale sur les politiques culturelles, Mexico City, 26 juillet - 6 août 1982.
- Xiang, W., Chen, S., Sun, L., Cheng, and Bove Jr. M. (2016). Odor emoticon: An olfactory application that conveys emotions. *International Journal of human computer studies, 91*, 52-61.

**CONCLUSION**

## CONCLUSION

---

## CONCLUSION

---

L'objectif de cette thèse était de contribuer à une meilleure compréhension des liens intermodaux entre les odeurs et les couleurs. Pour cela, nous nous sommes intéressés plus spécifiquement à plusieurs variables connues pour moduler le lien comme la culture des répondants ou la méthodologie de test employée. Mais aussi, afin de mieux comprendre les phénomènes observés, l'impact de cette culture sur les affects véhiculés par les odeurs et enfin le pouvoir de suggestion olfactive des couleurs.

Ces objectifs ont été adressés par la réalisation de 4 études à la fois comportementales et neuronales.

La première étude avait comme but de contribuer à la compréhension de l'implication de la culture dans les correspondances intermodales odeur-couleur. Elle a été réalisée dans trois pays qui ont été choisis essentiellement parce qu'ils reflètent une certaine diversité en termes d'habitudes notamment alimentaires, mais aussi parce qu'ils présentent des différences environnementales et sociétales importantes. Ces 3 pays étaient la France, le Liban et Taiwan. Notre première hypothèse était donc que ces différences allaient moduler le lien entre les odeurs et les couleurs.

Les résultats obtenus dans cette première étude ont mis en évidence, comme prévu, l'effet des différences culturelles sur le lien odeur-couleur. En effet, 4 odeurs ont été significativement différentes en terme d'association odeur-couleur entre le Liban et la France, 10 odeurs ont été significativement différentes entre le Liban et Taiwan et 10 autres odeurs entre la France et Taiwan. De même, cette étude nous a permis de mettre en évidence des variables d'intérêt qui vont moduler ces associations. Ainsi nos résultats ont montré que la première variable est la fonction de l'odeur dans un pays déterminé, elle-même influencée par le milieu culturel de ce pays. La seconde variable est le type même de l'association entre l'odeur et la couleur, qui peut être soit du type sémantique soit du type perceptif. Une association sémantique a lieu lorsque le participant va lier l'odeur à la couleur de l'objet odorant qu'il a reconnu. Alors que l'association perceptive prend place lorsque ce participant liera l'odeur à la couleur de la famille olfactive à laquelle appartient cette odeur sans reconnaissance d'un objet odorant. Cette seconde variable semble moins dépendante du milieu culturel que la fonction de l'odeur.

Ces deux types d'associations, sémantiques ou perceptives, ont été observées dans les résultats de la première étude. Mais, la prédominance de l'un des deux n'a pas été facile à mettre en évidence. L'utilisation de l'un ou l'autre des modes d'association semble, en effet, directement corrélée à la reconnaissance, réelle ou non, de l'objet odorant. Cependant, dans cette première étude nous avons volontairement évité de questionner nos participants sur cette reconnaissance afin de ne pas les influencer. Cette mesure n'ayant pu être réalisée dans un second temps, notamment à Taiwan, nous avons décidé de réaliser une nouvelle expérience seulement en France et au Liban.

## CONCLUSION

---

Cette seconde étude avait deux objectifs :

- mieux comprendre le mode d'association perceptif ou sémantique
- déterminer si le changement de la méthodologie utilisée lors des tests affectait ces associations en permettant la dominance d'un type sur un autre.

En effet, l'impact des méthodologies de tests est peu adressé dans les travaux de la littérature. Peu de tests ont été effectués avec les mêmes odeurs, les mêmes populations mais avec deux méthodologies différentes. Pourtant, la méthodologie est généralement la cause de résultats divergents pour un même questionnement. Nous avons donc estimé que ce point nécessitait un meilleur approfondissement.

Pour cela, nous avons utilisé les mêmes odeurs que la première étude et demandé aux participants libanais et français de leur associer une couleur mais cette fois aucune information visuelle ne leur était présentée. Chaque participant devait donc sentir l'odeur et lui associer un nom de couleur ou un objet coloré qu'il jugeait le plus en accord avec sa perception olfactive. Il devait aussi indiquer s'il avait, ou non, reconnu l'odeur.

La comparaison des deux études nous a permis de mieux comprendre la prédominance d'un type d'association et de mettre en évidence le pouvoir d'évocation olfactive des couleurs. En effet, en présence des couleurs, les personnes interrogées ont passé plus de temps à examiner la palette et moins à identifier l'odeur. Il apparaît donc que l'information visuelle (les patches de couleur) ait interféré et pris le dessus sur l'information olfactive. Cette information visuelle va donc être utilisée pour catégoriser plus rapidement l'information olfactive ce qui conduit à des mécanismes d'associations plus souvent perceptifs. En absence de couleurs, les participants se sont plus concentrés sur la reconnaissance de l'odeur et moins sur la catégorisation. Cette hypothèse est soutenue par des taux de reconnaissance moyens de l'ordre de 38.75% en France et de 56.78% au Liban, mais pouvant atteindre 75% en France et 91 % au Liban pour certaines odeurs.

Cependant, les résultats obtenus par Chrea *et al.*, (2005), en faisant sentir les odeurs aux participants et en leur demandant de faire des groupes d'odeurs, montrent que la catégorisation des odeurs était principalement perceptive et non sémantique. Le même résultat a été aussi observé lors de nos tests en présence des patches de couleurs. Ainsi en demandant d'associer un patch de couleur à une odeur, les participants vont catégoriser ces odeurs perceptivement, de la même manière que pour le classement de ces odeurs dans des catégories. Mais en absence de couleurs, les participants essaieront de reconnaître les odeurs. Ils feront donc des associations plutôt sémantiques. Par conséquent, il apparaît clairement que pour un même questionnement, la méthodologie de test a un



## CONCLUSION

---

effet tout aussi important sur le lien odeur-couleur que notre variable d'étude qu'était la culture . Elle va favoriser un type ou l'autre d'association et ainsi conduire à des conclusions très différentes. Le second point d'intérêt de cette comparaison est que lorsque l'on présente des couleurs, ces couleurs vont réduire les différences culturelles lors de l'association avec des odeurs. Il semble donc que les couleurs portent des percepts olfactifs basés sur une symbolique qui semble être interprétée de façon équivalente par les Français et les Libanais. Ainsi, même si il y a des différences dans la symbolique des couleurs entre les pays, il y aura toujours une grande symbolique commune qu'on pourra appeler la symbolique archétypale des couleurs. Citons par exemple la couleur blanche pour les produits laitiers (Pothet, 2004)

La mise en évidence par nos tests comportementaux de cette symbolique olfactive portée par les couleurs n'était que très peu documentée dans la littérature. C'est pourquoi, nous avons décidé de compléter nos observations par une étude en IRMf. Notre objectif principal était de voir si les couleurs sous une forme abstraite portaient ce percept olfactif ou si des couleurs apportées sous une forme figurative (photographie couleur d'objets odorants) étaient encore plus performantes pour véhiculer un percept olfactif.

Les résultats obtenus ont mis en évidence une différence de traitement cérébral entre les couleurs et les photographies. De façon inattendue, il semblerait que les sujets parviennent plus efficacement à imaginer une odeur à partir d'arrangements de couleurs abstraits qu'à partir de la représentation figurative d'un objet odorant. En effet, ces arrangements colorés abstraits semblent engager des processus cognitifs plus complexes que les images. Ainsi plusieurs régions du cerveau responsables de l'olfaction (cortex orbitofrontal), du langage (lobe pariétal), du goût (insula antérieur) et de la mémoire (hippocampe) ont été significativement plus activées par la vision des couleurs que par celle des images. Ces résultats viennent soutenir les observations réalisées lors des études 1 et 2. En effet, suite à ces tests, nous avons émis l'hypothèse que la présence des couleurs favorisait une catégorisation et une analyse plus rapide de l'odeur qu'en absence de supports visuels. Le phénomène qui explique cette observation semble donc plus complexe qu'une simple « aide » à la catégorisation. Les couleurs ont une capacité propre d'évocation olfactive mise en évidence par IRMf, et c'est probablement en se basant sur cette capacité d'évocation que les juges réalisent l'association odeurs – couleurs.

Un second point intéressant mis en évidence par cette étude IRM est l'implication claire de certaines régions cérébrales impliquées dans le traitement des émotions, comme le cortex cingulaire antérieur, lors de cette tâche virtuelle d'association odeurs – couleurs. De même la latéralisation gauche trouvée dans cette étude est en accord avec des études antérieures stipulant que la réponse émotionnelle aux odeurs était située dans l'hémisphère gauche. Au-delà du fait de démontrer que le

## CONCLUSION

---

percept olfactif porté par les couleurs est complexe car il porte aussi une valence hédonique, ce résultat souligne l'importance de la part émotionnelle dans le traitement de l'information colorée ou olfactive.

Plusieurs travaux, présentés dans l'état de l'art, ont mis en évidence le rôle fondamental des émotions dans l'interprétation des odeurs ou des couleurs. Cependant, peu d'études se sont intéressées à l'interprétation émotionnelle des odeurs dans différentes cultures ou, pour une même culture, selon le niveau d'urbanisation du lieu de vie du répondant. Nous nous sommes donc intéressés à l'impact de la culture sur les affects (émotions et autres sentiments) associés à des odeurs.

Notre quatrième étude comportementale a donc été réalisée en France et dans deux régions, urbaine et rurale, du Liban (Kaslik et Zahle respectivement). Cette étude ciblait les effets culturels mais aussi « micro-cultures » au sein d'un même pays sur la caractérisation (hédonique, qualitative, quantitative et affective) d'un set d'odeurs. Nos résultats ont montré des différences culturelles entre les deux pays, mais aussi des différences au sein du même pays. La caractérisation des odeurs variait tant sur des aspects qualitatifs (familiarité, comestibilité), quantitatifs (intensité perçue) qu'hédoniques (agréabilité perçue). De même le choix des termes affectifs pour décrire les odeurs était différent selon la localisation géographique du répondant. Nous avons ainsi pu construire des « profils affectifs » spécifiques à chaque zone de test. Ces profils reflètent souvent des traits culturels, comme la nostalgie des français ou l'optimisme des libanais, mais aussi des traits liés à des facteurs plus sociologiques tels que le niveau de vie du répondant. Ces derniers résultats soulignent donc la complexité à définir le mot culture ou même à essayer d'étudier son effet et son impact sur une relation, qui pourrait sembler simple aux premiers abords, telle que le lien odeurs - couleurs. Généraliser des résultats à un pays semble très hasardeux et probablement le couplage de nos études comportementales à des études socio-culturelles permettrait d'apporter un éclairage nouveau sur certains de nos résultats.

En conclusion, ce doctorat apporte quelques éléments de réponse qui contribuent à une meilleure compréhension du lien odeurs – couleurs. Mais il souligne aussi quelques points de vigilance qu'il est nécessaire de maîtriser lorsque l'on s'intéresse à cette problématique. L'approche, si elle n'est pas conventionnelle, s'est voulue très transdisciplinaire car plus l'on étudie ce lien plus l'on prend conscience de la complexité et de la diversité des variables impliquées. Mon sentiment désormais est que pour avancer dans la compréhension de ce lien odeurs – couleurs, il me serait nécessaire de pouvoir m'entourer de compétences diverses en neurosciences, psychologie expérimentale, sociologie et physico-chimie. Je rapporterai donc chez moi cette certitude de la nécessité d'un travail transdisciplinaire pour développer ma recherche.

## CONCLUSION

---

Pourquoi, est-il important selon moi de poursuivre une recherche sur le lien odeur – couleur ? Une première partie de réponse est bien évidemment l'acquisition de nouvelles connaissances mais, avec une approche plus mercatique, l'exploitation de toutes les applications commerciales de ce type de connaissance scientifique. La couleur restant la première information captée par le consommateur, maîtriser sa communication au-delà des symboliques traditionnelles ouvre tout un champ d'application notamment en développement d'emballages.

L'internationalisation des biens de consommation s'accompagne de la nécessité de bien comprendre la culture cible. Une association odeur-couleur non congruente ciblant une culture inadéquate pourra être catastrophique pour la mise sur le marché d'un nouveau produit. D'autre part pour tester ces associations, pour un certain produit, la méthode utilisée ne semble-t-elle pas aussi importante que l'étude de la culture à cibler? De même que la fonction de l'odeur dans le pays et l'état socio-économique de la personne? Enfin, l'effet de la culture sur les affects et la caractérisation des odeurs, ne montre-t-il pas que des études hédoniques ou descriptives seules peuvent ne pas être suffisantes lors de la réalisation des concepts pour le marché ? Et que les études affectives doivent être eux aussi faites de plus en plus souvent?

Toutes ces questions nous ramènent à une évidence que lancer un produit dans un marché est un processus complexe et long qui demande des études comportementales, culturelles, affectives, sur le produit lui-même et sur l'emballage. Tout ceci dans le but final d'avoir un emballage et un produit adéquats aux affects et attentes des consommateurs dans une culture donnée, dans un marché de plus en plus concurrentiel. Pour appuyer cette conclusion et son ouverture mercatique, les pages suivantes présentent une étude de cas réalisée pour un ouvrage en cours de publication dédié à l'emballage et coordonné par le RMT (Réseau Mixte Technologique) Propack Food de l'ACTIA.

## CONCLUSION

---

**CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

---

### **Zoom sur : Le lien odeur couleur**

*Muriel Jacquot & Léa Néhmé*

Dans son rôle technique, l'emballage contient, protège, préserve les produits tout au long de la chaîne de distribution. Dans sa fonction marketing, l'emballage doit informer, séduire, convaincre le consommateur afin de vendre le produit (Paine & Paine, 1992). Les emballages réussis ne créent pas seulement le désir mais ils deviennent une véritable raison d'acheter un produit (Klimchuk & Krasovec, 2013). Dans un environnement hautement concurrentiel, où le shopper passe devant près de 300 articles par minute et fait 40-70% de ses décisions d'achat directement sur le lieu de vente, l'emballage est aujourd'hui devenu pour les professionnels le second élément d'importance après la publicité pour réussir un lancement du produit (Armstrong & Kotler, 2013). Il est également un outil clé du marketing stratégique pour le succès global d'un produit, en particulier dans l'industrie alimentaire (Rundh, 2005).

L'emballage devient donc packaging, vecteur de communication privilégié avec le consommateur. C'est l'identité même du produit et c'est à lui que revient d'emporter l'adhésion du consommateur, directement sur le lieu de vente.

#### **1. LE ROLE DE L'INTUITION**

On aime à penser que nous sommes tous parfaitement conscients des motivations dirigeant nos comportements et nos choix. Mais les travaux réalisés en psychologie ont montré que les individus ne sont jamais aussi rationnels qu'ils l'imaginent (Friese *et al.*, 2008, Friese *et al.*, 2006). De nombreuses études ont démontré l'influence des processus non conscients sur les sentiments humains, le comportement et la prise de décision (Bargh & Ferguson, 2000, Dijksterhuis *et al.*, 2006). Le comportement alimentaire n'échappe pas à cette règle. En fait, cette idée a été reprise dans plusieurs publications. Dans une première, publiée en 2007, Wansink et Sobal estiment que les individus prennent chaque jour un grand nombre de décisions liées à l'alimentation sans en avoir conscience. Ils ont ainsi souligné que "premièrement, nous ne sommes conscients que d'une petite fraction des décisions alimentaires que nous prenons. Deuxièmement, soit nous ne sommes pas au courant de la façon dont notre environnement influence ces décisions soit nous ne sommes pas

disposés à le reconnaître". Un an plus tard, Finlayson et ses collaborateurs ont souligné le fait qu'on ne peut pas prétendre que les processus qui contrôlent l'expression des décisions alimentaires soient uniquement explicites du fait notamment des changements physiologiques qui s'opèrent dans notre corps et qui peuvent être transparents pour l'individu (Finlayson *et al.*, 2008). Enfin, en 2009, Köster souligne que "les conclusions sur le raisonnement intuitif et la démonstration de la nature inconsciente de la plupart de nos décisions ne semblent pas avoir touché la recherche en sensorielle et sur le comportement du consommateur, alors qu'elles jouent probablement un rôle plus important dans les comportements liés à l'alimentation que partout ailleurs " (Köster, 2009). Par conséquent, l'étude des influences non-conscientes telles que celles issues des emballages camouflant nos aliments permettrait de mieux comprendre l'impact de la perception de ces signaux non-attentifs sur les choix, les décisions d'achat ou de consommation.

## 2. LES COULEURS DANS LES PROCESSES DE DECISION

Il a été avancé que les couleurs impulsent 60 à 90% des décisions d'achat du consommateur (Singh, 2006). Certaines couleurs peuvent être associées à différentes humeurs ou émotions positives (bonheur, joie, ...). Elles attirent l'attention du consommateur, l'orientent et l'incitent à acheter un produit plutôt qu'un autre (Rizwan Raheem *et al.*, 2014). Par conséquent, on peut dire que lorsque le consommateur trouve des difficultés à faire un choix entre des produits, il achètera le produit dont l'emballage contiendra un symbole, une image ou une couleur qui capteront le plus son attention et seront le plus significatifs pour lui.

Selon Hine (1995), les consommateurs perçoivent les couleurs de l'emballage selon trois niveaux différents mais interdépendants : le niveau physiologique, le niveau culturel et le niveau associatif. Les couleurs influencent les réponses affectives inconscientes spontanées car elles impliquent peu ou pas d'effort cognitif (Shiv & Fedorikhin, 1999). Reimann *et al.*, (2010) expliquent que l'emballage active des zones affectives du cerveau et influence positivement le choix des produits. Les couleurs d'un emballage déclenchent donc des réponses sensorielles et émotionnelles qui influencent le choix du consommateur (Klimchuk & Krasovec, 2013).

Selon Spence (2015), bien que non mentionné comme un élément constitutif du goût, il n'y a que peu de doutes sur le fait que ce que nous voyons affecte profondément notre perception et nos réponses comportementales envers la nourriture et la boisson. Non seulement la couleur de la nourriture, mais aussi la couleur de la vaisselle, de l'emballage et même la couleur de



l'environnement dans lequel nous mangeons et buvons, influent, dirigent et orientent nos perceptions. Dans nos sociétés, où la grande majorité de nos achats alimentaires correspond à des produits emballés, le packaging doit être considéré comme une véritable contribution à l'évaluation du goût du produit. Il ne véhicule pas qu'une simple information. Il doit évoquer, suggérer le produit et ses qualités. Par sa forme ou ses couleurs, il active chez le consommateur un système de résonance sensorielle. Les stimulations visuelles qu'il émet vont se traduire inconsciemment en qualités gustatives, olfactives ou en émotions. Ce phénomène s'appelle le transfert de sensations et repose sur des interactions complexes entre nos sens.

### 3. LE TRANSFERT DE SENSATIONS

Le transfert de sensations est un phénomène inconscient et universel qui consiste à traduire automatiquement des perceptions visuelles en d'autres informations sensorielles (texturales, olfactives, gustatives, ...) ou en valeurs. Ce phénomène a été étudié pour la première fois en marketing par le Pr. Cheskin dans les années 50 (Cheskin & Ward, 1948). Il met donc en évidence l'existence d'interactions complexes entre nos sens. L'une des explications à l'existence de ces interactions est la mise en place par notre cerveau de systèmes de « raccourcis » entre modalités sensorielles afin de nous rendre plus performants. En effet, dans toutes nos situations quotidiennes, nos sens sont bombardés par un nombre incalculable de signaux qui nous demanderaient une attention impossible à soutenir si nous devions tous les traiter (Spence, 2011). Malgré le fait qu'on parle généralement des sens comme d'entités séparées, les informations reçues par les différentes modalités sensorielles se combinent constamment afin de pouvoir plus efficacement comprendre et appréhender le monde qui nous entoure (Maric & Jacquot, 2013). L'apprentissage permet d'affiner et d'optimiser ces processus cognitifs. Ainsi, nous pouvons plus rapidement capter l'information appropriée et faire des choix (Ayabe-Kanamura *et al.*, 1998). De nombreux travaux ont démontré l'existence de ces correspondances intermodales chez l'homme. Elles ont été définies comme étant « la tendance qu'a un critère sensoriel, ou un attribut d'une modalité, physiquement présente ou imaginée, à être associé à un critère sensoriel d'une autre modalité » (Parise & Spence, 2012). En 2014, Jacquot & Maric ont réalisé une revue de ces interactions sensorielles et de leurs applications en emballage.

Selon Gibson (1996) et Marks (1991), l'intégration des afférences des différentes modalités sensorielles est une propriété générale des systèmes nerveux des mammifères. Cependant en

matière d'influence inter-sensorielle, c'est généralement la modalité visuelle qui prédomine dans nos interactions quotidiennes. Parmi, l'ensemble des stimulations visuelles que nous recevons, le paramètre le plus immédiat est l'information colorée.

En parallèle à cette information visuelle, de tous les systèmes sensoriels, les capteurs chimiques (olfaction et goût), sont les plus répandus dans le règne du vivant et les plus anciens sur le plan de l'évolution (Ferrier *et al.*, 2009). L'odorat combiné au sens du goût permet à l'individu de reconnaître les aliments et de détecter les substances potentiellement dangereuses dans son environnement. La nature des fonctionnalités auquel le système olfactif participe, lui confère donc une grande importance dans le système perceptif global (Bear *et al.*, 2006). Pour ces différentes raisons, les interactions entre vision et olfaction apparaissent comme naturelles pour optimiser nos comportements. Elles sont aujourd'hui bien établies.

### 4. LE LIEN ODEURS-COULEURS

Parmi les premières démonstrations des interactions entre vision et olfaction, nous pouvons citer les travaux de Zellner, Bartoli et Eckard (1991). Ils ont montré que l'évaluation de stimuli olfactifs variait en fonction des couples couleurs/odeurs présentés aux évaluateurs. De plus, les odeurs testées étaient jugées comme plus agréables lorsqu'elles étaient présentées avec des couleurs compatibles telles que le jaune et le citron. De nombreuses autres études ont suivi cette première démonstration (Gilbert *et al.*, 1996 ; Kemp & Gilbert, 1997 ; Dalton *et al.*, 2000). Notamment en 2001, Morrot, Brochet et Dubourdieu ont montré que lorsqu'ils coloraient un vin blanc avec un colorant rouge inodore, les dégustateurs percevaient et qualifiaient ce vin blanc de vin rouge. Ils ont ainsi confirmé qu'une perception visuelle influence mais surtout modifie une perception olfactive et la verbalisation qui en découle. En 2005, Österbauer *et al.*, ont démontré l'existence de corrélations neurophysiologiques entre vision et olfaction. Ils ont mesuré des activités cérébrales dans la région caudale du cortex orbitofrontal et dans le cortex insulaire plus importantes lorsque les sujets étaient soumis à des paires de stimuli odeur-couleur congruents. Ces résultats d'imagerie cérébrale montrent donc véritablement la modulation des réponses olfactives par les stimuli de couleur via l'activation de régions du cerveau identifiées auparavant comme codant la valeur hédonique des odeurs. Au niveau culturel, Nehmé *et al.*, (2016), ont étudié l'influence de la fonction des odeurs et du symbolisme des couleurs sur les associations couleurs-odeurs. Ils ont travaillé avec trois populations : française – libanaise - taïwanaise. Leurs résultats confirment l'existence d'associations

intermodales entre les odeurs et les couleurs dans chaque population testée en accord avec les résultats des études interculturelles antérieures menées sur le sujet (Levitan *et al.*, 2014). Certaines de ces associations sont stables d'une culture à l'autre. Cependant, une variation dans la fonction associée à une odeur entraînera automatiquement une traduction chromatique différente.

Ces connaissances de l'interaction entre vision et olfaction ouvrent donc de nouvelles perspectives dans le domaine du marketing. En effet, l'intégration multi-sensorielle affecte l'expérience du consommateur. Le premier attribut sensoriel perçu d'un produit crée chez le consommateur des attentes, et une seconde sensation congruente ou incongruente peut accentuer ou à l'inverse décevoir ces attentes et ainsi bloquer l'acte d'achat. Quand on achète un produit, la vision est probablement le sens le plus important car la première information captée dans un environnement est la couleur (Porcherot *et al.*, 2012). Elle doit être extrêmement signifiante et parfaitement corrélée avec les qualités sensorielles du produit afin d'en favoriser l'achat. La maîtrise des signaux visuels envoyés par les couleurs des emballages prend donc tout son sens.

## 5. CONCLUSION

Même si la recherche sur les interactions sensorielles entre odeurs et couleurs reste relativement récente, dès les années 2000, il était proposé aux spécialistes du marketing de communiquer les propriétés d'un produit comme un parfum à travers les couleurs du jus, du flacon et de l'emballage plutôt qu'avec des mots car les individus ont des difficultés à verbaliser une sensation olfactive (Scharf & Volkmer, 2000). Les entreprises doivent prendre en considération les sensations spécifiques qu'ils veulent transmettre, et chercher à trouver les combinaisons de variables sensorielles congruentes qui seront à la fois faciles à interpréter par les consommateurs et juste au regard des qualités du produit.

Points clefs - Il est important de choisir les couleurs d'un emballage en tenant compte de ces liens qui existent entre couleurs et olfaction ortho ou rétro-nasale. Les couleurs suscitent des attentes fortes qui lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées perturbent la perception que le consommateur aura du produit. Cet écart entre ce que le consommateur a imaginé et ce qu'il perçoit s'appelle la dissonance cognitive. Plus cette dissonance sera importante, plus elle s'accompagnera d'une baisse de la satisfaction client et par conséquent du ré-achat. Les nouvelles connaissances acquises sur les interactions sensorielles permettent aujourd'hui d'envisager le design d'emballage sous un nouveau

jour. L'emballage n'est plus seulement esthétique et attractif, il a désormais un véritable sens pour le consommateur.

### REFERENCES

- A. Rizwan Raheem, p. Vishnu and a. M. Ahmed (2014). Impact of product packaging on consumer's buying behavior. *European Journal of Scientific Research*, 120, 145-157.
- Armstrong, G., & Kotler, P. (2013). *Marketing: An introduction (11e)*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Ayabe-Kanamura, S., Schiker, I., Laska, M., Hudson, R., Distel, H., Kobayakawa, T., & Saito, S. (1998). Differences in perception of everyday odors: a Japanese- German cross- cultural study. *Chemical Senses*, 23, 31-38.
- Bargh, J.A., Ferguson, M.J. (2000). Beyond behaviorism. On the automaticity of higher mental processes. *Psychological Bulletin*, 126, 925-945.
- Bear, M.F., Connors, B.W., &Paradiso, M.A. (2006). *Neuroscience: Exploring the brain (third edition)*. Baltimore: Lippincott Williams & Williams.
- Cheskin, Louis and Ward, L.B. September 1948. "Indirect Approach to Market Reactions," *Harvard Business Review*.
- Dalton, P., Doolittle, N., Nagata, H. & Breslin, P. (2000). The merging of the senses: Integration of subthreshold taste and smell. *Nature Neuroscience*, 3, 431-432.
- Dijksterhuis, A., Bos, M.W., Nordgren, L.F., Van Baaren, R.B. (2006). On making the right choice. The deliberation-witjout- attention effect. *Science*, 311, 1005-1007.
- Finlayson, G., King, N. & Blundell, J. (2008). The role of implicit wanting in relation to explicit liking and wanting for food. Implications for appetite control. *Appetite*, 50, 120-127.
- Ferrier, L., Streff, A., Martin, S., Brouillet, D., Barkat-Defrades, M., & Jiménez, M. (2009). Influence de stimuli olfactifs dans une tâche d'évaluation hédonique de couleurs : les yeux voient ce que le nez sent. *L'Année Physiologique*, 109, 361-381.
- Friese, M., Hofmann, W., & Wanke, M. (2008). When impulses take over. Moderated predictive validity of explicit and implicit attitude measures in predictive food choice and consumption behaviour. *British Journal of Social Psychology*, 47, 397-419.

- Friese, M., Waenke, M., & Plessner, H. (2006). Implicit consumer preferences and their influence on product choice. *Psychology & Marketing*, 40, 752-759.
- Gibson, J.J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Gilbert, A.N., Martin, R., & Kemp, S.E. (1996). Cross-modal correspondence between vision and olfaction: the color of smells. *American Journal of Psychology*, 109, 335-35.
- Hine, T. (1995). *The total package: The secret history and hidden meanings of boxes, bottles, cans, and other persuasive containers*. New York: Little Brown.
- Jacquot, M. & Maric, Y (2014). *Interactions sensorielles et applications dans le domaine du packaging*. Techniques de l'ingénieur
- Kemp, S.E. & Gilbert, A.N. (1997). Odor intensity and color lightness are correlated sensory dimensions. *The American Journal of Psychology*, 110, 35-46.
- Klimchuk, M. R., & Krasovec, S. A. (2013). *Packaging design: Successful product branding from concept to shelf*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Köster, E.P. (2009). Diversity in the determinants of food choice. A psychological perspective. *Food quality and Preference*, 20, 70-82.
- Levitan, C., Ren, J., Woods, A., Boesveldt, S., Chan, J., McKenzie, K., Dodson, M., Levin, J., Leong, C., Van den Bosch, J. (2014). Cross-Cultural Color-Odor Associations. Available at Plosone:<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0101651>.
- Maric, Y., & Jacquot, M. (2013). Contribution to understanding odour-colour associations. *Food Quality and Preference*, 27, 191-195.
- Marks, L.E. (1991). Metaphor and the unity of the senses. In H. T. Lawless & B. P. Klein (Eds.), *Sensory science theory and applications in foods* (pp. 185–205). New York: Marcel Dekker.
- Morrot, G., Brochet, F., & Dubourdieu, D. (2001). The color of odors. *Brain and Language*, 79, 309-20.
- Nehmé, L., Barbar, R., Maric, Y & Jacquot, M. (2016). Influence of odor function and color symbolism in odor-color associations: a French- Lebanese- Taiwanese cross cultural study. (DOI 10.1016/j.foodqual.2015.11.002).

## CONCLUSION GENERALE

---

- Österbauer, R.A., Matthews, P.M., Jenkinson, M., Beckmann, C.F., Hansen, P.C., & Calvert, G.A. (2005). The color of scents: Chromatic stimuli modulate odor responses in the human brain. *Journal of Neurophysiology*, 2, 1-25..17.
- Paine, F. A., & Paine, H. Y. (1992). *A handbook of food packaging*. Berlin, Germany: Springer.
- Parise, C.V., Spence, C. (2012). Audiovisual crossmodal correspondences. In: Simner, J., editor; Hubbard, E., editor. *Oxford handbook of synaesthesia*. Oxford, England: Oxford University Press; To appear in (in press).
- Reimann, M., Zaichkowsky, J., Neuhas, C., Bender, T. & Weber, B. (2010). Aesthetic package design: A behavioral, neural, and psychological investigation. *Journal of Consumer Psychology*, 20 (4), 431-441.
- Rundh, B. (2005). The multi-faceted dimension of packaging: Marketing logistic or marketing tool? *British Food Journal*, 107, 670–684.
- Scharf, A. & Volkmer, H.P. (2000). The impact of olfactory product expectations on the olfactory product experience. *Food Quality and Preference*, 11, 497-503.
- Shiv, B. & Fedorikhin, A. (1999). Heart and mind in conflict: The interplay of affect on cognition in consumer decision making. *Journal of Consumer Research*, 26 (3), 278-292.
- Singh, S. (2006). Impact of color on marketing. *Management Decision*, 44(6), 783–789
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: a tutorial review. *Attention, Perception & Psychophysics*, 73, 971-995.
- Spence, S. (2015). Visual contributions to taste and flavour perception. *Colour additives for Food and Beverages*, 7, 189-210.
- Wansink, B. & Sobel, J. (2007). Mindless eating. The 200 daily food decisions we overlook. *Environment and Behavior*, 39, 106-123.
- Zellner, D.A., Bartoli, A.M., & Eckard, R. (1991). Influence of color on odor identification and liking ratings. *American Journal of Psychology*, 104, 547-561.



# RESUME

## CONTRIBUTION A L'ETUDE DU LIEN ENTRE ODEURS ET COULEURS. EFFET DU LIEU DE RESIDENCE DES REpondANTS, DES AFFECTS ASSOCIES A L'ODEUR ET DE LA METHODOLOGIE DE TEST EMPLOYEE

### RESUME

Ce doctorat a pour objectif de contribuer à une meilleure compréhension du lien, plusieurs fois démontré, entre odeurs et couleurs. Il s'organise en 4 parties correspondant à 4 grandes études réalisées dans différents pays, la France, le Liban et Taiwan, ainsi que dans différentes régions au sein d'un même pays (Liban urbain, Liban rural). La première étude effectuée dans les trois pays avait pour objectif de démontrer l'impact de la culture sur la construction du lien odeurs – couleurs. Les résultats obtenus ont mis en évidence un effet significatif du lieu de résidence des participants sur la construction du lien mais aussi du rôle prépondérant de la « fonction de l'odeur » (alimentaire, cosmétique, industrielle, ...). La seconde étude interculturelle entre la France et le Liban s'est intéressée plus spécifiquement à la méthodologie employée pour réaliser les tests odeurs – couleurs. En effet, dans la littérature, deux types de procédures sont généralement employées soit la présentation de couleurs physiques que le participant peut regarder soit l'absence de présentation de couleurs physiques et l'utilisation de noms de teintes (bleu, vert, rouge, ...). La comparaison de ces deux méthodes a mis en évidence un effet de la procédure tout aussi important que celui de la culture et de la fonction de l'odeur sur l'association odeur-couleur. Les données ont aussi mis en évidence un réel pouvoir d'évocation olfactive des couleurs. Pour mieux comprendre ce phénomène, nous avons réalisé une étude en IRMf. Cette troisième étude utilisant l'IRMf a montré que le pouvoir d'évocation olfactive d'arrangements abstraits de couleurs était différent de celui obtenu à partir de représentations visuelles figuratives colorées. Les processus cognitifs mis en œuvre lors d'une évocation olfactive à partir de couleurs sont plus complexes et multimodaux impliquant des processus olfactifs, émotionnels, visio-spatial, du langage ainsi que la mémoire. La dernière partie de ce doctorat s'est intéressée à mieux comprendre comment les processus émotionnels mis en évidence par IRMf pouvaient interférer avec la construction du lien odeurs – couleurs. L'étude a été réalisée en France ainsi que dans deux régions, rurale et urbaine, du Liban. Les résultats ont montré que l'affect associé à une odeur influençait le lien odeurs-couleurs mais surtout, que le choix préférentiel de certains affects était lié à la situation socio-économique et culturel du participant. Cette thèse est donc une contribution à une meilleure compréhension du lien qui unit odeurs et couleurs. Elle en a démontré la complexité avec un effet avéré de la fonction de l'odeur dans le pays, de la méthodologie employée ainsi que du lieu de résidence et du niveau socio-culturel du participant. Elle souligne cependant la nécessité d'une approche multidisciplinaire pour en comprendre encore plus précisément l'ensemble des rouages.

Mots clés: affects, couleur, culture, IRMf, méthodologie, odeur.

## CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE ODOR- COLOR ASSOCIATION. EFFECT OF THE PLACE OF RESIDENCE, OF THE ASSOCIATED AFFECTS TO THE ODOR AND OF THE TEST METHODOLOGY USED

### ABSTRACT

This doctorate aims to contribute to a better understanding of the link, several times demonstrated, between odors and colors. It is organized in 4 parts corresponding to 4 major studies carried out in different countries, France, Lebanon and Taiwan, as well as in different regions within the same country (urban Lebanon, rural Lebanon). The first study carried out in the three countries aimed at demonstrating the impact of culture on the construction of the odor-color link. The results obtained revealed a significant effect of the participants' place of residence on the construction of the link but also the predominant role of the "function of the odor" (food, cosmetics, industrial ...). The second intercultural study between France and Lebanon focused more specifically on the methodology used to carry out odor - color tests. Indeed, in the literature, two types of procedures are generally used: presentation of physical colors that the participant can see or absence of presentation of physical colors and the use of color names (blue, green, red, ...). The comparison of these two methods revealed an equally important effect between the procedure, the culture and the function of the odor on the odor-color association. The data also revealed that colors have the capacity of olfactory evocation. To better understand this phenomenon, we performed an fMRI study. This third study using fMRI showed that the olfactory evocation power of abstract color arrangements was different from that obtained from colored figurative visual representations. The cognitive processes involved in an olfactory evocation from colors arrangement, is more complex and multimodal involving olfactory, emotional, visio-spatial, language and memory processes. The final part of this Ph.D. examined how emotional evidenced by fMRI could interfere with the construction of the odor - color link. The study was carried out in France as well as in two rural and urban areas of Lebanon. The results showed that the affect associated with an odor influenced the odor-color link, but above all, that the preferential choice of certain affects was linked to the socioeconomic and cultural situation of the participant. This thesis is therefore a contribution to a better understanding of the link between odors and colors. It has demonstrated its complexity with a proven effect of the odor function in the country, the methodology used and the place of residence and socio-cultural level of the participant. However, it stresses the need for a multidisciplinary approach to understand even more precisely the whole workings.

Key words: affects, color, culture, fMRI, methodology, odor.