

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

PROJET TUTORÉ

M1 SCA

Classification des comportements oculaires lors de l'association odeurs-couleurs

Auteurs :

Myriam DELARUELLE

Jérémy WEBER

Encadrants :

Sylvain CASTAGNOS

Muriel JACQUOT

2015-2016



2015-2016

Classification des comportements oculaires lors de l'association odeurs-couleurs

Auteurs :

Myriam DELARUELLE

Jérémy WEBER

Encadrants :

Sylvain CASTAGNOS

Muriel JACQUOT



Table des matières

1	Remerciements	3
2	Introduction	3
3	Présentation du sujet	3
3.1	Cadre du projet	3
3.2	État de l'art	4
3.2.1	L'odorat	4
3.2.2	Principes généralistes de l'association	5
3.2.3	L'eye tracking	6
4	Travail réalisé	8
4.1	Hypothèses	8
4.2	Travail préliminaire	8
4.3	Définition du protocole	11
4.4	Déroulement de l'expérience	12
4.5	Analyse des données et résultats	14
4.5.1	Chemin visuel et séquences	14
4.5.2	Étude statistique	15
4.5.3	Patterns	18
4.5.4	Verbatims	22
5	Conclusion	23
5.1	Résultats et perspectives	23
5.2	Intérêt et critiques du projet	23
5.3	Les manques de la formation	23
5.4	Les atouts de la formation	23
6	Annexes	26

1 Remerciements

Tout d'abord nous souhaitons remercier chaleureusement Sylvain Castagnos (équipe KIWI) et Muriel Jacquot (équipe InnoCim, Myrissi), les tuteurs de ce projet, pour leur accompagnement, leur soutien et leurs conseils. Nous tenons aussi à remercier Faustine Noël (Myrissi), qui a également participé au projet, ainsi que Florian Marchal (équipe KIWI) pour leur aide. Enfin, nous remercions Manuel Rebuschi, le directeur de la formation, et tous les étudiants et personnels ayant accepté de participer à notre expérience.

2 Introduction

Durant notre première année de Master Sciences de la Cognition et Applications, nous avons eu l'opportunité de travailler sur un projet tutoré. Nous avons choisi de travailler sur le sujet odeurs-couleurs proposé par Sylvain Castagnos de l'équipe KIWI du LORIA et Muriel Jacquot de l'équipe InnoCim de l'ENSAIA. Ce sujet proposait de s'intéresser à la compréhension du lien entre odeurs et couleurs à travers l'étude du mouvement du regard.

3 Présentation du sujet

3.1 Cadre du projet

Présentation des équipes

Équipe KIWI

L'équipe KIWI (Knowledge Information and Web Intelligence) est l'une des 28 équipes de recherche du LORIA (Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications) Créée en 2008, cette équipe a pour objectif d'améliorer les interactions entre le grand public et les systèmes de recherche et d'accès à l'information. Une partie de ce travail repose sur la capacité à modéliser le comportement des utilisateurs à travers leurs interactions avec ces systèmes.

Équipe INNOCIM

InnoCim est une micro-équipe de recherche qui se spécialise dans la modélisation des interactions sensorielles sous la tutelle de l'ENSAIA (École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires). Tout d'abord intéressée par l'étude du lien entre vision et toucher, InnoCim se spécialise aujourd'hui dans la compréhension des correspondances inter-modales entre odeurs et couleurs.

Présentation du sujet

En 2014, deux étudiants de Master 1 SCA ont travaillé sur un projet tutoré dont l'objectif était de mettre en place une expérience permettant d'étudier le lien entre odeurs et couleurs. Cette expérience consistait à présenter différentes odeurs à des individus et à leur demander, pour chaque odeur, d'y associer une couleur. Les participants étaient face à un ordinateur et devait choisir une couleur dans une palette. L'ordinateur était équipé d'un eye tracker, un appareil qui analyse les déplacements oculaires lors de l'exploration de la palette. Enfin, pour chaque odeur, les participants devaient répondre à plusieurs questions concernant l'intensité, l'agréabilité ou la reconnaissance de l'odeur, ainsi que sur la difficulté de l'association. Durant les premières semaines de notre projet tutoré, il

nous a été demandé de compléter l’analyse de ces données ainsi récoltées. Cependant, durant cette analyse, plusieurs incohérences sont apparues dans les résultats.

L’objectif de notre projet tutoré était donc dans un premier temps de monter une nouvelle expérience similaire à la précédente, avec un protocole redéfini et amélioré, et dans un second temps de dépouiller et analyser les nouvelles données.

3.2 État de l’art

3.2.1 L’odorat

Avant d’explicitier le lien odeurs-couleurs, il faut parler d’odorat. L’odorat est un sens bien moins utilisé chez l’homme que chez de nombreux mammifères. On peut l’expliquer de plusieurs manières :

- le rapport avec le langage : Il est très difficile de communiquer les expériences olfactives à l’aide de mots[2] ;
- la difficulté à reconnaître les odeurs présentées seules.[1]

Pour ces raisons, il est difficile d’appréhender clairement le fonctionnement de l’odorat, ce qui entraîne un manque de consensus quant à la classification des odeurs. Afin de mieux comprendre le traitement des stimuli olfactifs, plusieurs correspondances cross-modales (entre différents types de stimuli) ont été recherchées. Sans les détailler, on peut citer par exemple les odeurs et les symboles abstraits[3], ou encore les odeurs et les sons[4] (voir Figure 1).

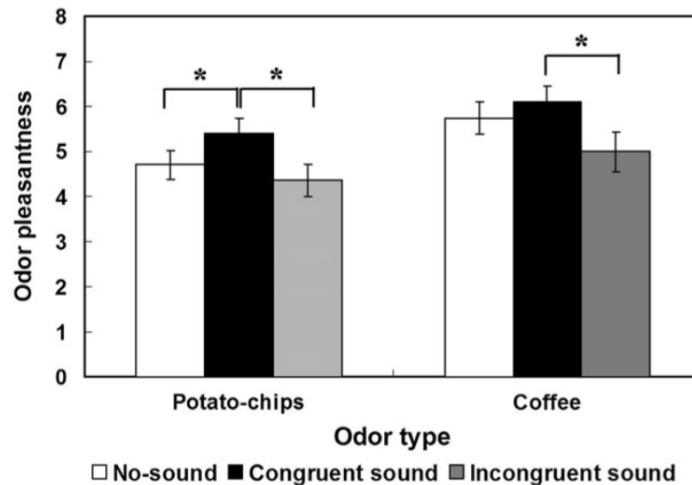


FIGURE 1 – Modification de la valeur hédonique de l’odeur en fonction de la congruence du son.

Dans le cadre de notre projet, c’est donc la relation entre odeurs et couleurs qui nous intéresse. S’il est possible de trouver des publications datant d’avant les années 90, ce n’est qu’à partir de cette décennie que l’on trouve les premières démonstrations de l’existence d’un lien entre odeurs et couleurs. Plusieurs équipes de recherches montrent alors que ce lien est stable et non aléatoire. En revanche, il n’est encore pas totalement compris d’un point de vue neurologique et il fait donc désormais l’objet d’études portant plus sur le fonctionnement de cette relation que sur la découverte de nouvelles propriétés.

3.2.2 Principes généralistes de l'association

Un grand nombre de principes ont été découverts concernant le lien odeurs-couleurs. Certains posent le fondement même du lien et d'autres permettent d'expliquer plus clairement des différences dans les résultats.

Il est important de préciser que la plupart des recherches effectuées s'appuient sur l'olfaction orthonasale (par voie nasale), que l'on appelle aussi voie directe. Il existe aussi la voie indirecte ou rétronasale (par la bouche) que l'on associe plus communément au goût.

Un des principes trouvé très tôt est la relation entre la valeur hédonique d'une odeur et la teinte ainsi que la saturation d'une couleur[5]. De façon simple, les couleurs claires particulièrement dans les tons jaunes sont associées à des odeurs jugées plaisantes et les couleurs foncées ou neutres (blanc/brun/gris/noir) sont utilisées pour des odeurs jugées déplaisantes. Cette différence de ton s'applique aussi à la comestibilité. En effet, des odeurs jugées comestibles seront associées à des tons plus jaunes et des odeurs jugées non comestibles à des tons plus bleus. Cela s'explique par le manque de caractérisation de la couleur bleu dans nos aliments.

Ces principes ainsi démontrés permettent une bien meilleure classification des odeurs. De plus, une propriété a été découverte pour répondre au problème de la reconnaissance. Si une couleur présentée est congruente avec l'odeur, il y a facilité d'identification et une précision accrue[6].

Pour terminer, on peut s'intéresser aux différences culturelles. En effet, plusieurs études ont démontré l'existence de différences entre des populations. Certaines associations sont donc spécifiques à des populations. Par exemple, entre la France et le Liban, on trouve une différence significative quant à la comestibilité de la fleur d'oranger et donc, les couleurs qui lui sont associées[7]. Ceci s'explique par le fait que la fleur d'oranger est utilisée en cuisine au Liban mais se retrouve principalement dans produits d'hygiène en France (voir Figure 2).

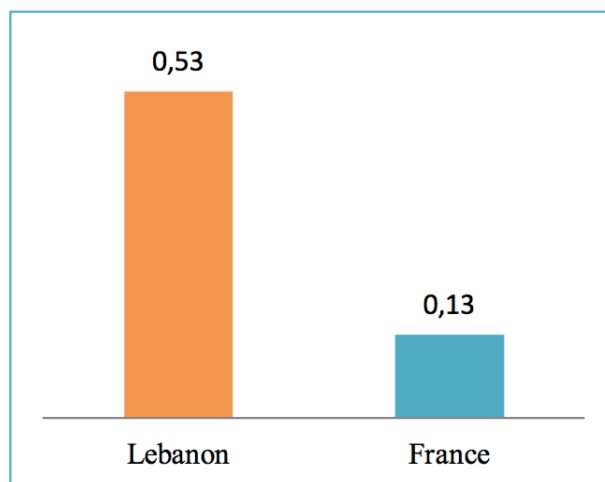


FIGURE 2 – Indice de comestibilité pour la fleur d'oranger.

D'autres principes ont été trouvés, comme l'influence de la couleur sur le goût d'un aliment, mais ne font pas l'objet de ce rapport.

Nous nous sommes basés sur les travaux de Muriel Jacquot et Yelena Maric[8], qui ont prouvé

l'existence d'un lien significatif et stable entre certaines couleurs et odeurs et ont pu ainsi construire des cartes pour chaque odeur représentant les couleurs associées (voir Figure 3).



FIGURE 3 – Carte des couleurs associées à l'odeur de lavande.

3.2.3 L'eye tracking

L'eye tracking, ou oculométrie en français est un outil permettant d'étudier les mouvements du regard. Principalement utilisé en ergonomie, l'eye tracking permet d'analyser l'activité oculaire d'un utilisateur, de connaître la position de son regard et ainsi savoir ce qu'il voit et ce qu'il ne voit pas (voir Figure 4).



FIGURE 4 – Démonstration d'un eye tracker

Il existe pour le moment deux types de systèmes permettant d'étudier les mouvements du regard : le système fixe et le système mobile.

Le système fixe est comme son nom l'indique, fixé à un ordinateur (figure x) sur lequel est affiché une image, un film ou encore une application web. Il est généralement positionné en bas de l'écran et permet à l'aide de caméras infrarouges d'analyser la position fovéale, c'est-à-dire le centre de la rétine, relative à l'image qui se trouve à l'écran. Dans cet usage fixe, le participant doit garder une position neutre et toujours fixer l'écran.

Le système mobile est quant à lui similaire à une simple paire de lunettes. Son fonctionnement est proche du système fixe, mais il a l'avantage de permettre une grande liberté des mouvements au participant. Dans le cadre de notre projet tutoré, nous avons utilisé un système fixe Tobii X1 Light pour obtenir des informations sur le chemin visuel des participants.

L'eye tracker permet donc d'obtenir des informations sur le cheminement visuel d'un individu, que l'on peut représenter (Voir figure 5).



FIGURE 5 – Cheminement visuel d'un individu sur une page web.

Ce chemin visuel est représenté par la liaison dans l'ordre de vision des points de fixations calculés par l'eye tracker. Un point de fixation est l'endroit où s'arrête le regard pour analyser une information. Un point est créé quand l'immobilisation du regard atteint un temps seuil, généralement entre 50 et 200 millisecondes.

Il est aussi possible de définir des AOI (Area Of Interest), zones d'intérêts en français qui permettent de regrouper les points de fixation. Les zones d'intérêts peuvent être par exemple le haut de l'écran, le bas de l'écran, la gauche et la droite. Elles peuvent être définies par l'expérimentateur à l'avance, ou bien calculées par la suite. Nous pouvons ainsi connaître les déplacements du regard entre les différentes zones.

4 Travail réalisé

4.1 Hypothèses

H1 : Il existe un cheminement cognitif spécifique à une odeur parmi la population.

Cette hypothèse reprend l'existence d'un lien stable entre certaines odeurs et certaines couleurs pour spéculer sur la possibilité d'un cheminement cognitif "type", c'est-à-dire qu'il serait possible de retrouver un chemin visuel spécifique chez plusieurs individus pour une même odeur.

H2 : Il existe des similarités entre les cheminements cognitifs pour une odeur pour des groupes.

Cette hypothèse reprend le principe précédent, mais appliqué à des groupes à l'intérieur de la population.

H3 : La reconnaissance de l'odeur influe sur l'association.

Cette hypothèse est basée sur la possible existence d'un lien entre la reconnaissance d'une odeur et le choix de couleur pour cette odeur.

4.2 Travail préliminaire

En 2014, les deux étudiants de Master 1 SCA ont établi un protocole pour leur expérience, et ont développé un site pour héberger les questionnaires et la palette. Dans un premier temps, les utilisateurs devaient explorer la palette (voir Figure 6).

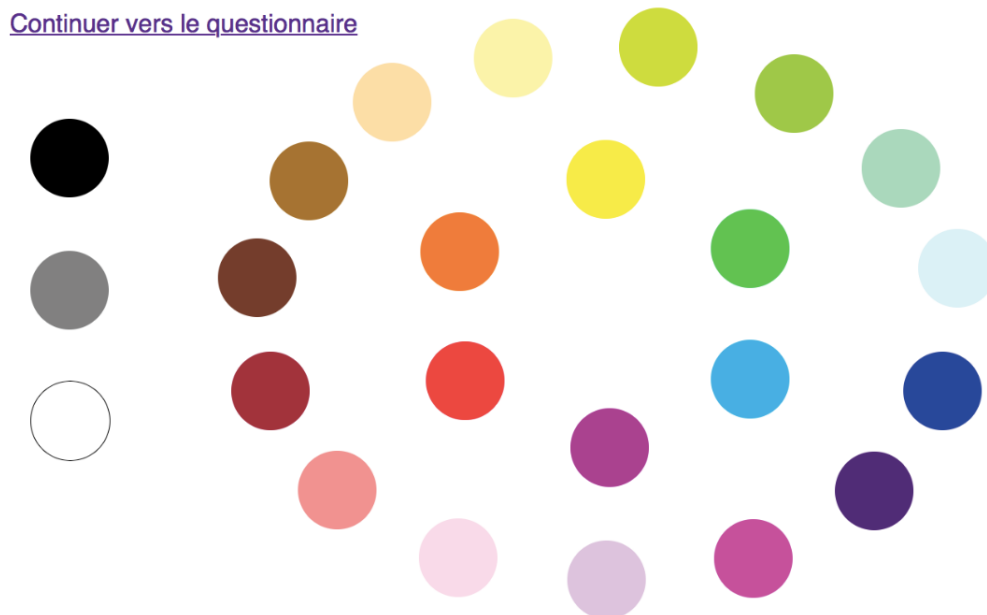


FIGURE 6 – Page d'exploration de la palette.

Pour chaque couleur de la palette, ils avaient défini des zones d'intérêt. Ensuite, ils remplissaient un questionnaire général (voir Figure 7).

Informations générales

Age :

E-mail : (facultatif)

Sexe : Homme Femme

Avez-vous une anomalie de la vision des couleurs ? Oui

Quelle est votre couleur préférée ?

Nationalité :

Pour les personnes dont la nationalité n'est pas française :
Combien d'années avez-vous passé en Europe?

FIGURE 7 – Questionnaire d'informations générales.

Puis l'expérience commençait. Pour chaque odeur, une page avec le numéro de l'échantillon s'affichait, et au bout de quelques secondes, le texte de cette page était remplacé par la palette de couleurs. Le participant devait alors choisir une couleur à associer à l'odeur qu'il sentait. Il devait ensuite répondre à plusieurs questions concernant l'odeur et l'association qu'il venait de faire (voir Figure 8).

Questionnaire intermédiaire

Intensité

Non détectable Très forte

Familiarité

Complètement inconnue Très familière

Agréabilité

Désagréable Très agréable

Ce choix vous a-t-il paru difficile ? oui non

Comestibilité : oui non

FIGURE 8 – Questionnaire intermédiaire sur l'association.

Lors de notre analyse, nous nous sommes rendus compte que certains résultats étaient incohérents. Après quelques recherches, nous avons remarqué que les matrices générées par Tobii Studio ne correspondaient pas du tout aux vidéos de l'expérience. Les données étaient complètement faussées.

Dans un premier temps, nous avons donc dégagé les différents biais du précédent protocole, et nous avons tenté d’y apporter des solutions.

Pourcentage d’attention eye tracker

Ce pourcentage permet de vérifier que l’utilisateur a bien fixé l’écran lors de l’expérience, et que l’eye tracker a bien réussi à capter ses mouvements oculaires. Les taux de l’expérience précédente étaient très faibles, indiquant que les utilisateurs ne regardaient pas l’écran lors de l’expérience, ou que le calibrage de l’appareil était mal fait.

Afin de remédier à ce problème, nous avons décidé de préciser à chaque utilisateur qu’il était primordial de toujours fixer l’écran lors de l’expérience, et de les assister lors du passage de main en main de l’odeur afin qu’il n’ait jamais besoin détourner le regard de l’écran. Nous avons également décidé de faire un contrôle strict du pourcentage d’attention de l’eye tracker, avec un taux minimum à respecter pour conserver les données d’un utilisateur.

Site web

Concernant le site, plusieurs pages nous ont semblées problématiques. Tout d’abord, lors de l’exploration préliminaire de la palette, peu d’utilisateurs l’exploraient réellement, et les vidéos de l’expérience précédentes montraient qu’ils étaient surtout distraits par le texte “Continuer vers le questionnaire”. Nous avons donc supprimé ce texte, et nous avons précisé à chaque utilisateur de bien explorer la palette.

Nous avons également constaté un biais important lors de l’affichage de la palette pour chaque échantillon. L’eye tracker permet de définir des zones d’intérêt sur une page (une url). Or, la page contenant les zones n’affichait la palette qu’après le texte centré présentant le numéro de l’échantillon. Il en résultait deux problèmes :

- l’eye tracker captait le regard dans les zones d’intérêt alors que la palette n’était même pas affichée ;
- l’utilisateur qui regardait le texte avait le regard centré dans l’écran, et son regard tombait directement sur l’une des couleurs de la palette, centrée différemment.

Nous avons donc créé une page spécifique pour la présentation de l’échantillon, ce qui permet d’avoir une page consacrée uniquement à la palette. Qui plus est, nous avons également ajouté un point fixe pendant 3 secondes, afin de permettre à l’utilisateur de recentrer son regard au milieu de la palette, et non plus au milieu de l’écran. Il n’y a donc plus de biais concernant les premières couleurs. Nous avons modifié les sliders des questionnaires intermédiaires pour les rendre plus ergonomiques.

Enfin, nous avons ajouté une variable à ces questionnaires : la reconnaissance ou non de l’odeur.

Verbalisation

Nous n'avions aucun moyen de comprendre ou d'expliquer l'association odeur-couleur de chaque participant. Nous avons décidé d'inclure à l'expérience une technique d'élicitation. Nous nous sommes intéressés à l'entretien en re-situ subjectif[9], avant d'opter pour la verbalisation in-situ. Cette technique consiste à montrer au participant le film de sa session d'expérimentation, et à lui laisser la parole afin de la commenter.

Cohérence des données

Afin de nous assurer de l'intégrité des données, nous avons décidé de procéder à un contrôle des données d'un utilisateur juste après son passage, en comparant les données exportées de l'eye tracker aux replays. Ainsi, nous pouvions vérifier directement s'il y avait des problèmes de calibrage ou d'incohérences dans les sessions.

4.3 Définition du protocole

Avant tout, il était nécessaire que nous redéfinissions un protocole clair (voir Annexe 1) afin de réaliser chaque expérience dans les mêmes conditions. Dans un premier temps, nous présentons sommairement l'expérience, la tâche demandée et l'eye tracker. Dans un second temps, nous passons à l'expérience en elle-même. Dans un troisième temps, nous réalisons un entretien filmé, sous forme de verbalisation in situ, c'est-à-dire que le participant va pouvoir regarder le film de son expérience et le commenter.

Conjointement avec nos tuteurs, nous avons décidé d'utiliser 5 odeurs. Pour chaque participant, l'ordre de passage des odeurs était aléatoire. Ces 5 odeurs sont codées de la façon suivante :

- 349 : citron ;
- 448 : fraise ;
- 473 : fleur d'oranger ;
- 525 : ananas ;
- 765 : rose.

4.4 Déroulement de l'expérience

Le site affiche tout d'abord une page titre, avec un bouton permettant à l'utilisateur de commencer lorsqu'il est prêt.

Une fois le bouton cliqué, une page présentant la palette s'affiche, permettant à l'utilisateur de se familiariser avec la palette de couleurs (voir Figure 9).



FIGURE 9 – Palette de couleurs

Lorsque l'utilisateur a terminé d'explorer la palette, il peut cliquer sur l'un des cercles. Un questionnaire général s'affiche alors, pour recueillir l'âge, le sexe, ou la couleur préférée des participants (voir Figure 7).

Pour chaque échantillon, une page affiche le numéro de l'échantillon et permet à l'expérimentateur de préparer l'échantillon et de le donner au participant. L'odeur est présentée à l'utilisateur, qui dispose de 5 secondes pour prendre connaissance de l'échantillon, puis doit fixer le point à l'écran qui va permettre de recentrer son regard dans la palette (voir Figure 10).

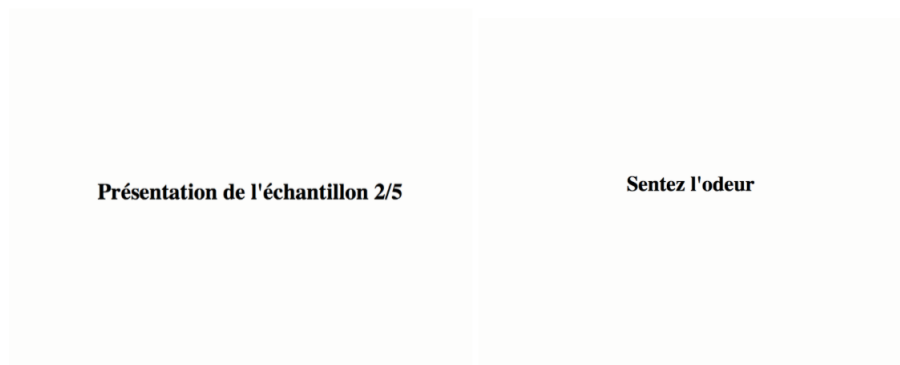


FIGURE 10 – Écran de présentation des odeurs

Au bout de 3 secondes, le point disparaît et la palette s’affiche. L’utilisateur peut alors l’explorer librement, et sentir l’odeur à sa guise. Il doit ensuite cliquer sur la couleur de son choix, puis remplir le questionnaire intermédiaire sur l’association qu’il vient de faire (voir Figure 11).

Questionnaire intermédiaire

Intensité

Non détectable Peu détectable Moyennement détectable Détectable Très détectable

Familiarité

Inconnue Peu familière Moyennement familière Familière Très familière

Agréabilité

Désagréable Peu agréable Moyennement agréable Agréable Très agréable

Avez-vous trouvé difficile d'associer une couleur à cette odeur ? oui non

Trouvez-vous que cette odeur est comestible ? oui non

Avez-vous reconnu cette odeur ? oui non

FIGURE 11 – Nouveau questionnaire intermédiaire sur l’association

Enfin, entre chaque odeur, le participant doit sentir des grains de café mis à sa disposition afin de faire un blanc olfactif.

Ce processus est répété pour chacune des 5 odeurs.

Une fois l’expérience terminée, nous passons à la verbalisation in situ. Nous repassons à l’utilisateur le film de sa session, avec son chemin visuel, c’est-à-dire les zones qu’ils a regardées. Nous lui laissons alors la parole, avec pour seule consigne de décrire à quoi lui a fait penser chaque échantillon. Durant cette phase, il peut sentir à nouveau chaque odeur. Enfin, nous lui révélons l’origine de l’odeur, et s’il n’a pas réussi à la reconnaître durant l’expérience, nous lui demandons quelle couleur il aurait choisi s’il l’avait reconnue. Cette phase est filmée et la voix du participant est ainsi enregistrée.

Après chaque participant, nous vérifions l’intégrité des données, ainsi que le taux de fixation de l’écran. Nous avons décidé de ne pas garder les données des utilisateurs ayant un taux inférieur à 60%.

4.5 Analyse des données et résultats

Nous avons fait passer l'expérience à 21 personnes, mais le taux de fixation d'un des participant étant bien inférieur à notre taux seuil, notre population finale est de 20 personnes. Notre population est composée de 9 femmes et 11 hommes pour un âge moyen de 24 ans, tous de nationalité Française sauf une personne. Pour chaque participant, Tobii Studio permettait de générer un fichier contenant entre autre la matrice des points de fixation, ainsi qu'un replay de la session de l'utilisateur. Nous générions également, à travers le site, un csv contenant les informations des utilisateurs ainsi que les réponses aux questionnaires intermédiaires. Enfin, pour chaque utilisateur, nous récupérons la vidéo de sa verbalisation.

Nous avons donc obtenu trois types d'informations différentes pour chaque odeur :

- les matrices des points de fixation (voir Annexe 2) ;
- les réponses aux questionnaires intermédiaires (voir Annexe 3) ;
- les verbalisations d'association (voir Annexe 4).

4.5.1 Chemin visuel et séquences

L'eye tracker utilisé pendant l'expérience permet donc de suivre le regard du participant et de générer une matrice des points de fixations sur la palette.

Nous avons utilisé une palette de 24 couleurs, découpée en autant de zones d'intérêts. Pour l'eye tracker, une zone d'intérêt est un endroit précis sur lequel l'oeil peut se poser et il est ainsi possible de connaître le chemin visuel d'un individu en étudiant les matrices générées. Ces matrices sont donc toutes d'une taille n lignes / 24 colonnes. Nous pouvons ainsi déduire si un participant a regardé d'abord le rouge, puis le jaune, et finalement le vert, dans un ordre précis et pour chaque odeur présentée.

Les couleurs sont numérotées pour une facilité de compréhension et d'analyse. La palette est aussi découpée en champs chromatique : orange, rouge, jaune, vert, bleu, violet et achromatique (voir Figure 12).

Le chemin visuel d'un individu est appelé "séquence". Une séquence est représentée de la sorte : D2-E2-G3. Ici, le participant a regardé un orange, puis un jaune et finalement un vert. Ces couleurs peuvent être repérées sur la palette.

Pour chaque individu dans l'expérience nous avons donc 5 séquences, correspondant à son parcours visuel. Cela représente un total de 100 séquences pour toute la population.

Les séquences entières comprennent des doublons. En effet, l'eye tracker étant en 30hz, il réalise un passage toutes les 33 ms pour vérifier la position des yeux. Si une personne reste trois passages dans la couleur D2, la séquence sera affichée comme ceci : D2-D2-D2. Ce format est utile pour savoir combien de temps exactement une personne est restée dans une couleur, mais si on veut savoir simplement le passage d'une couleur à une autre (et pour réduire la taille), on élimine les doublons. C'est ce que l'on appelle des séquences tronquées.

D2-D2-D2-B1-B1-E2-E2 devient simplement D2-B1-E2.



FIGURE 12 – Palette avec les codes de chaque couleurs

4.5.2 Étude statistique

Avant d’étudier en détail le contenu des séquences, nous avons décidé de réaliser des statistiques descriptives sur les réponses aux questionnaires intermédiaires. Toutes les statistiques et tests plus bas ont été effectués avec le logiciel RStudio.

Nous nous sommes tout d’abord intéressés aux trois variables du questionnaire intermédiaire : la reconnaissance de l’odeur, la difficulté d’association et la comestibilité de l’odeur. Ces variables qualitatives ont pour modalité “OUI” et “NON”. Nous avons récupéré les données pour chaque odeur, et nous les avons confrontées aux données de la population toutes odeurs confondues (voir Figure 13).

Reconnaissance de l’odeur

	Ananas	Citron	Fraise	Fleur d’oranger	Rose	Toutes
Oui	11	15	11	13	7	51
Non	9	5	9	7	13	49

FIGURE 13 – Tableau récapitulatif des effectifs pour la reconnaissance

Nous pouvons remarquer ici que pour toutes les odeurs sauf le citron, il y a très peu d’écart entre le nombre de personnes ayant reconnu l’odeur et le nombre de personnes ne l’ayant pas reconnue. C’est une tendance qui se vérifie sur toutes les odeurs confondues. Le citron est une odeur plus facilement reconnaissable pour notre population.

Comestibilité de l’odeur

	Ananas	Citron	Fraise	Fleur d’oranger	Rose	Toutes
Oui	18	16	17	3	11	63
Non	2	4	3	17	9	37

FIGURE 14 – Tableau récapitulatif des effectifs pour la comestibilité

Pour la comestibilité (voir Figure 14), le tableau nous indique que les odeurs ananas, citron et fraise

sont jugées comestibles par la grande majorité de la population. Au contraire, la fleur d'oranger est jugée non comestible. Les avis pour la rose sont quant à eux bien plus partagés.

Difficulté de l'odeur

	Ananas	Citron	Fraise	Fleur d'oranger	Rose	Toutes
Oui	8	4	8	11	7	38
Non	12	16	12	9	13	62

FIGURE 15 – Tableau récapitulatif des effectifs pour la comestibilité

Pour la difficulté (voir Figure 15), nous pouvons remarquer que les associations odeurs-couleurs ont été jugées non difficiles majoritairement sauf pour la fleur d'oranger. En effet, on observe un plus grand nombre de personnes jugeant l'association difficile d'une couleur avec cette odeur.

Nous avons ensuite terminé en étudiant les trois autres variables qualitatives du questionnaire intermédiaire : l'intensité, la familiarité et l'agréabilité de l'odeur. Ces variables peuvent avoir 5 modalités représentées par une échelle : 0, 25, 50, 75 et 100. Par exemple pour l'intensité à 0 l'odeur n'est pas intense du tout, et à 100, l'odeur est très fortement intense. Pour les étudier, nous avons utilisé la même méthode que précédemment. Ces variables peuvent être transformées en variables quantitatives et il est alors possible de calculer des moyennes. Cette fois, c'est donc la moyenne que l'on représente pour chaque odeur et pour chaque variable (voir Figure 16).

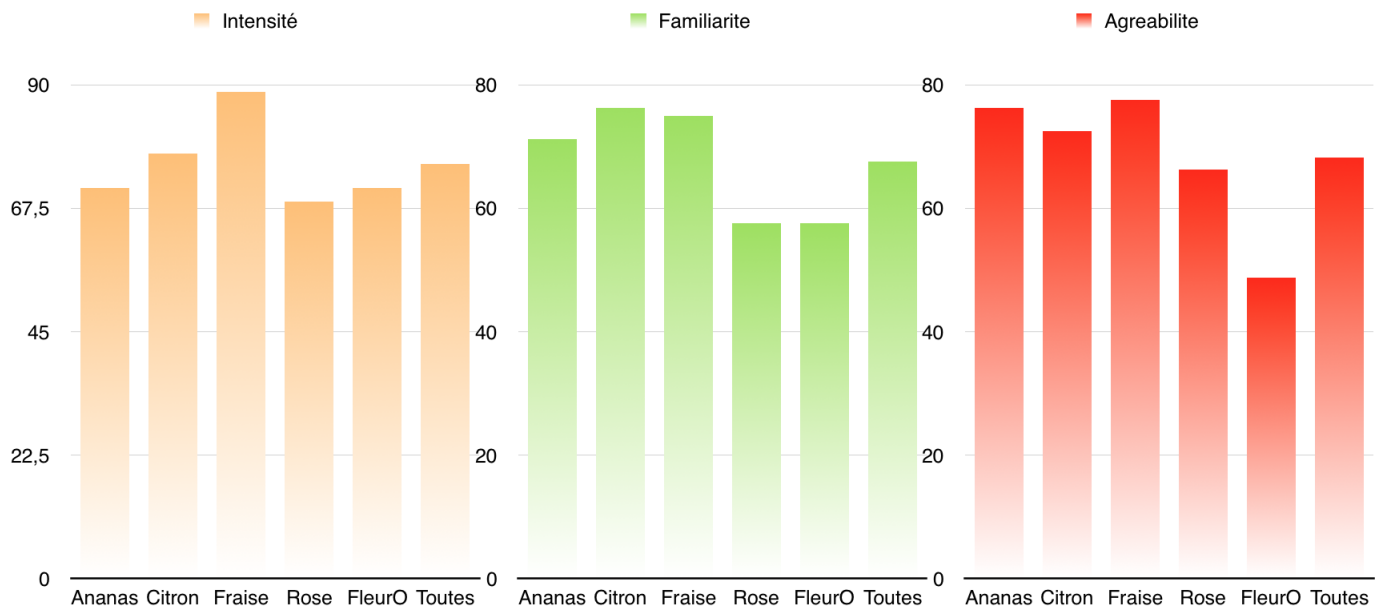


FIGURE 16 – Tableau récapitulatif des moyennes pour l'intensité, familiarité et agréabilité

- pour l'intensité : La fraise est jugée bien plus intense que toutes les autres odeurs. Celle-ci sont bien plus proches de la moyenne (Toutes) ;
- pour la familiarité : La rose et la fleur d'oranger sont jugées bien moins familières que les autres odeurs ;
- pour l'agréabilité : La fleur d'oranger se démarque fortement des autres odeurs et est jugée en moyenne beaucoup moins agréable. (48,75)

Nous avons ensuite décidé de confronter les réponses aux questionnaires intermédiaires à des données que nous avons recueillies manuellement. En étudiant les matrices de points de fixation (voir Annexe 2), on peut obtenir plusieurs choses :

- les séquences en elles-mêmes ;
- la taille des séquences (entières et tronquées) ;
- le temps passé à regarder la palette.

Nous avons donc ajouté ces deux dernières informations aux fichiers contenant les réponses aux questionnaires. Dans ces questionnaires, nous récupérons une information particulièrement intéressante : la reconnaissance. Chaque individu indique s'il a reconnu l'odeur par un simple oui ou non.

A l'aide d'un test de Kruskal-Wallis (K-W), nous avons confronté le temps d'exploration de la palette à la reconnaissance. Le test de K-W permet de savoir si un facteur (variable qualitative) influe sur une variable qualitative. Ce test est le penchant non paramétrique de l'ANOVA. Nous l'avons choisi en effectuant préalablement un test de Shapiro pour savoir si les données suivaient ou non une loi normale.

Exemple pour l'odeur 448 (voir Figure 17) :

```
> kruskal.test(Q448$TempsExplo ~ Q448$Reconnaissance, Q448)

Kruskal-Wallis rank sum test

data:  Q448$TempsExplo by Q448$Reconnaissance
Kruskal-Wallis chi-squared = 10.922, df = 1, p-value = 0.0009502

> kruskalmc(Q448$TempsExplo ~ Q448$Reconnaissance, Q448)
Multiple comparison test after Kruskal-Wallis
p.value: 0.05
Comparisons
  obs.dif critical.dif difference
N-0 8.787879    5.211701      TRUE
```

FIGURE 17 – Test de Kruskal-Wallis réalisé sous RStudio

Nous avons réalisé ce test pour chaque odeur (Annexe 5). Le test n'est concluant que pour les odeurs de fraise (p-value = 0.0009502) et d'ananas (p-value = 0.006974). Il nous indique donc potentiellement que la reconnaissance de l'odeur influe sur le temps d'exploration de la palette. Pour savoir si la non-significativité des autres odeurs était due à un manque de population nous avons rassemblé les odeurs en un seul fichier et effectué à nouveau le test. En effet, en regroupant tous les résultats, peu importe l'odeur, on obtient une population bien plus grande (100 entrées). Ainsi, le test est très significatif avec une p-value de 1.032e-06. Nous pouvons donc savoir avec certitude que la reconnaissance d'une odeur influe sur le temps d'exploration de la palette.

Pour continuer, nous avons effectué le même type de test mais avec les longueurs de séquences (complètes et tronquées). La reconnaissance influe aussi sur la taille des séquences avec une p-value de 0.0003647 donc très significative.

Enfin, nous avons confronté les variables de difficulté et de comestibilité, toujours des variables oui ou non, au temps d'exploration et à la longueur des séquences de la même manière. Encore une fois, le test indique avec une p-value de 0.001295 (difficulté) et 0.01173 (comestibilité) que les variables ont un lien entre elles. Nous nous sommes demandés si la difficulté et la comestibilité avaient un lien

avec la reconnaissance. Pour vérifier cela, nous avons effectué un test de chi2.

Le test indique un lien très significatif avec la reconnaissance pour les deux variables (voir Figure 18).

```
> tb1 = table(QALL$Difficulte, QALL$Reconnaissance)
> tb2 = table(QALL$Comestibilite, QALL$Reconnaissance)
> chisq.test(tb1)

Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction

data:  tb1
X-squared = 16.58, df = 1, p-value = 4.665e-05

> chisq.test(tb2)

Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction

data:  tb2
X-squared = 15.072, df = 1, p-value = 0.0001035
```

FIGURE 18 – Test de chi2 réalisé sous RStudio

Le meilleur moyen pour analyser autant de variables qualitatives est de faire une analyse des correspondances multiples (MCA). Pour faire cette MCA, il faut regrouper en un fichier toutes les variables qualitatives que l'on veut garder. Une fois la MCA effectuée, il est alors possible simplement et visuellement (Annexe 6) de comprendre les liens entre les variables. Les reconnaissances oui et non sont opposées dans les deux dimensions et l'on peut remarquer des liens plutôt intéressants. En effet, si une odeur est jugée non comestible, elle sera aussi jugée peu familière, peu agréable et peu intense. Si une odeur est reconnue, elle sera jugée très familière, très agréable et il n'y aura pas de difficulté d'association odeur-couleur.

4.5.3 Patterns

Une fois l'étude statistique terminée, nous avons pu nous atteler à l'étude des séquences.

Une façon de les analyser est de vérifier s'il existe des "patterns", des motifs, des similarités entre les séquences. Pour cela nous avons utilisé un logiciel spécifique à l'analyse des séquences visuelles : eyePatterns. Pour cette analyse et l'utilisation de ce logiciel, nous nous sommes inspirés des travaux de Steichen B. et al[10] sur l'étude de l'existence de motifs dans des séquences visuelles.

Afin d'obtenir de bons résultats, nous avons regroupé les 24 couleurs en 7 champs chromatiques :

- Jaune : E1,E2;
- Rouge : B1,B2,B3;
- Bleu : H1,H2,H2;

- Vert : G1,G3,F2,F3;
- Violet : I 1,I2,I3,J1,J2;
- Orange : D1,D2,D3,B4;

- Achromatique : A1,A2,A4.

Ainsi une couleur codée E2 (voir Figure 12) est remplacée par Yellow dans la séquence d'un individu. Cela nous permet de favoriser la découverte de motifs. En effet une personne ayant regardé E1-E2-B1 étant deux jaunes suivi d'un rouge, et une personne regardant E2-E2-G3, deux jaunes et un vert ont un pattern en commun si on utilise les champs chromatiques : le jaune. Sinon, ils n'en ont aucun.

Le logiciel eyePatterns permet de chercher l'existence de motifs, de construire des matrices de transitions et réaliser un clustering entre les séquences. Il faut tout d'abord lui présenter un fichier .xml contenant celles-ci pour pouvoir commencer (voir Figure 19).

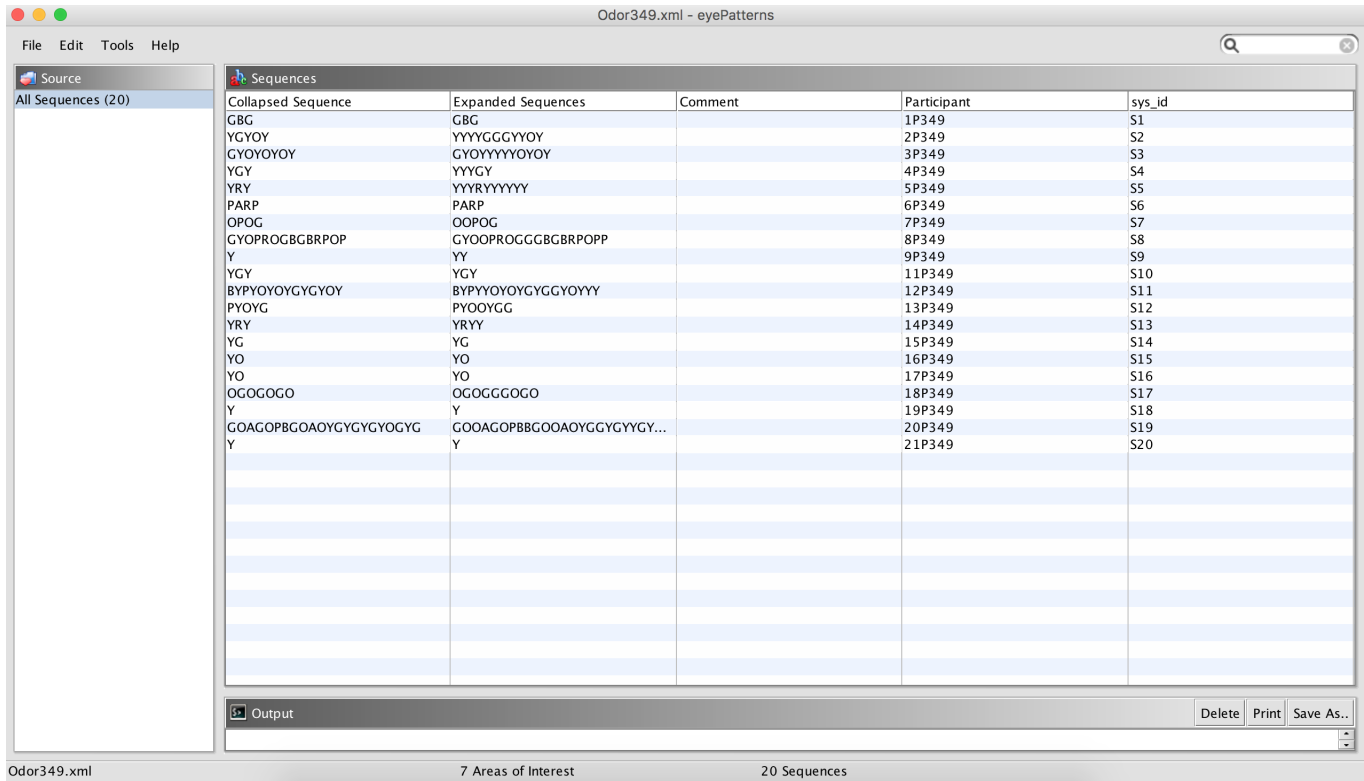


FIGURE 19 – Interface du logiciel eyePatterns

Le logiciel liste toutes les séquences pour une odeur, une pour chaque individu. Il est ensuite possible de rechercher des motifs soit en sélectionnant toutes les séquences soit en créant un groupe d'individus. Cette recherche peut s'effectuer sur les séquences complètes (exemple : D2-D2-D2-E2-E2-E1) ou sur les séquences tronquées (exemple : D2-E2-E1), sans doublons. Nous avons en premier lieu recherché des motifs sur toutes les séquences (complètes puis sans doublons) et ce pour chaque odeur (voir Figure 20).

Pattern	Seen	Sequences:
RPR	10	6/20 30.0%
RRR	6	4/20 20.0%
GBG	7	3/20 15.0%
RRP	5	3/20 15.0%
BGG	4	3/20 15.0%
PRR	4	3/20 15.0%
PRP	4	3/20 15.0%
OY0	4	3/20 15.0%
ROR	4	3/20 15.0%
BGB	3	3/20 15.0%
OGG	3	3/20 15.0%
GGG	7	2/20 10.0%
GYO	6	2/20 10.0%
YOY	5	2/20 10.0%
GGY	4	2/20 10.0%
YOG	4	2/20 10.0%
PPP	4	2/20 10.0%
GGB	3	2/20 10.0%
BGO	3	2/20 10.0%
ORP	3	2/20 10.0%
PRO	2	2/20 10.0%
GYG	2	2/20 10.0%
RPP	2	2/20 10.0%
BOB	2	2/20 10.0%
OBG	2	2/20 10.0%
ROO	2	2/20 10.0%
RR0	2	2/20 10.0%
ORR	2	2/20 10.0%

FIGURE 20 – Résultat de la recherche pour l’odeur 448 (FRAISE)

Nous pouvons voir ici que logiciel met en évidence l’existence de motifs se répétant chez plusieurs individus pour l’odeur de fraise. Le motif se répétant le plus est "RPR" ou "Red-Purple-Red". Cela signifie donc que 6 individus sur 20, représentant 30% de la population, ont ce motif en commun. Nous avons répété l’opération sur chaque odeurs et nous avons gardé les motifs représentés au minimum dans 25% de la population. (voir Annexe 7)

Comme nous avons prouvé l’existence d’un lien entre la reconnaissance de l’odeur, le temps d’exploration de la palette et la taille des séquences, nous avons décidé de réalisé la même opération que précédemment mais en découpant en deux groupes distincts la population pour chaque odeur. Ces deux groupes sont donc : reconnaissanceOUI et reconnaissanceNON (voir Figure 21).

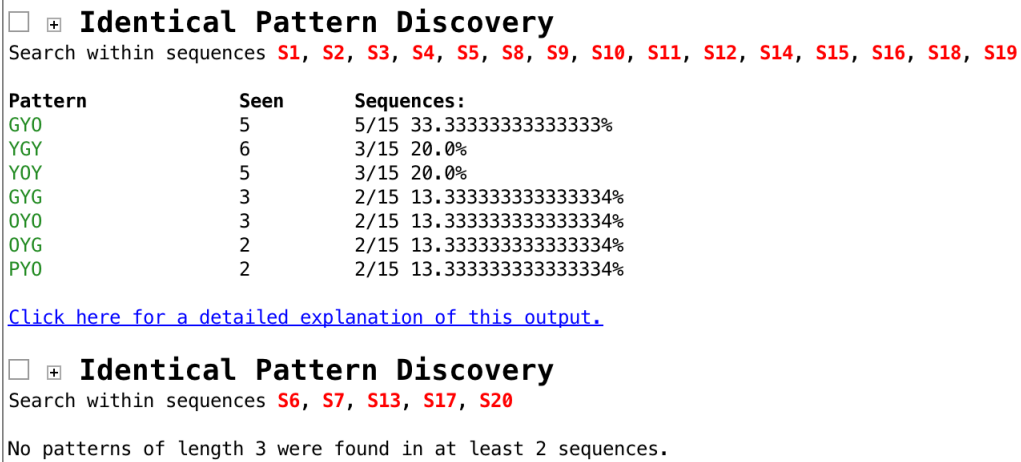


FIGURE 21 – Résultat de la recherche pour l’odeur 349 (Citron)

Nous pouvons voir ici qu’en découpant notre population en deux groupes, les motifs ne sont pas les mêmes. Dans ce cas-ci, l’exemple est frappant car nous voyons que le groupe qui a reconnu l’odeur partage plusieurs motifs mais le groupe qui n’a pas reconnu l’odeur n’en partage aucun. Là encore, cette démarche de recherche a été réalisée pour chaque odeur. (voir Annexe 8)

Comme dit plus haut, eyePatterns permet aussi de construire des matrices de transition pour chaque odeur. Il est encore une fois possible de réaliser cette construction de deux façons : soit avec les séquences complètes, soit avec les séquences sans doublons. Nous avons construit les matrices pour chaque odeur (voir Figure 22) puis nous avons ensuite construit les matrices pour les groupes reconnaissanceOUI et reconnaissanceNON encore une fois pour chaque odeur.

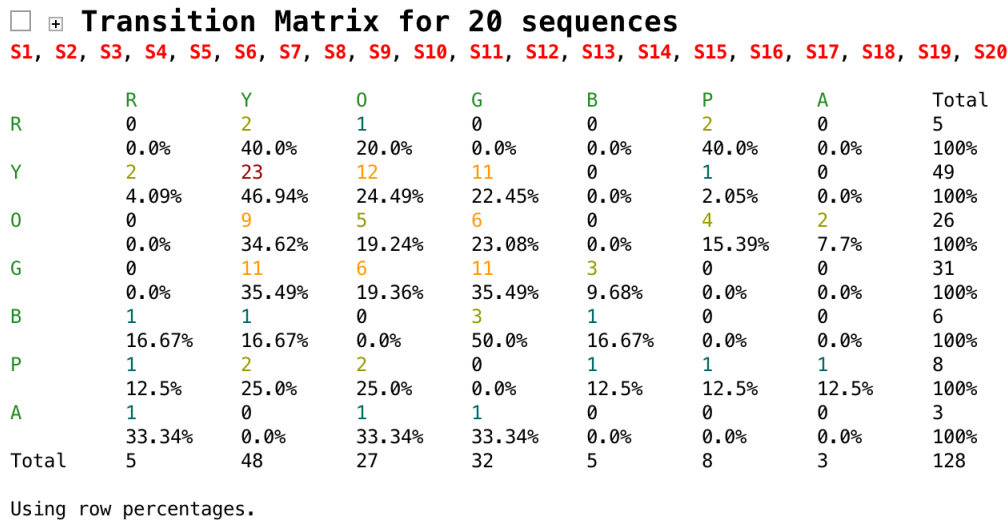


FIGURE 22 – Résultat de la construction pour l’odeur 349 (Citron)

Pour comprendre la matrice, il faut lire l’intersection d’une ligne avec une colonne comme le nombre de transitions entre la ligne et la colonne. Nous avons aussi inscrit les pourcentages pour chaque colonne. Ainsi, nous pouvons lire ici que la transition la plus fréquente pour le citron est ”YY” donc du jaune au jaune. Les transitions vers le jaunes représentent 35% de toutes les transitions.

Ces informations nous aident donc à avoir une vision plus complète des séquences et à mieux comprendre le cheminement cognitif des individus. De plus, il est possible de comparer ces cheminements

pour des groupes différents, tels que ceux ayant reconnu l'odeur ou non, ou encore ceux ayant jugé l'odeur comestible ou non. Nous pouvons voir en réalisant ces comparaisons que les motifs et transitions sont différents en fonction des groupes.

4.5.4 Verbatims

Nous avons retranscrit les verbalisations de chaque utilisateur. Nous avons constaté que les participants n'arrivaient pas à expliquer avec précision leurs chemins visuels, mais qu'ils tentaient de rapprocher chaque odeur à leur expérience propre, et à des odeurs qu'ils connaissent.

Nous avons également fait un tableau récapitulatif permettant de comparer la reconnaissance "théorique", c'est-à-dire la réponse de l'utilisateur à la question correspondante (oui ou non) du questionnaire intermédiaire, à la reconnaissance "réelle", c'est-à-dire ce qu'à réellement reconnu l'utilisateur. Nous avons pu constater quelques différences, par exemple des gens qui croyaient avoir reconnu telle odeur et qui se sont trompés, ou des gens qui n'étaient pas sûrs de leur réponse.

Exemple : participant 9, échantillon 1, odeur 525.

Durant la phase d'association, ce participant a coché la case "OUI" pour la reconnaissance. Cependant, ses verbatims nous ont permis d'identifier qu'il n'avait pas reconnu la bonne odeur.

PX = participant O = Observateur

Echantillon 1

P09 : On dirait de la fraise, ou un truc qui ressemble. Y a de la fraise ou de la framboise ou... mais heu, de la fraise vachement artificielle, pas naturelle du tout. Je sais pas si c'est ça, mais ça me fait penser à ça.

O : C'était l'ananas.

P09 : C'était l'ananas ? Ça me fait penser à de la fraise.

O : Si tu avais reconnu tu aurais changé de couleur ?

P09 : Oui, j'aurais mis plutôt du jaune ou du orange. Du orange plutôt je pense.

Fin échantillon 1

Ce participant a cru reconnaître de la fraise, alors que l'odeur était en fait de l'ananas.

En examinant ses données, nous avons extrait la séquence correspondant à cet échantillon : R-R-R-O. Il a choisi la couleur B2 (un rouge) pour l'association. La séquence et le choix de la couleur seuls ne nous auraient pas permis de comprendre pourquoi l'utilisateur, qui a marqué avoir reconnu l'odeur, a choisi une couleur qui n'est pas dans la carte des couleurs représentatives de l'ananas. Grâce aux verbatims, nous avons une information supplémentaire. Si l'on analyse sa séquence couplée à son choix de couleur, tout indique qu'il a effectivement reconnu la fraise, et que son parcours visuel et son association correspondent à la fraise.

5 Conclusion

5.1 Résultats et perspectives

Nos trois hypothèses ont été vérifiées, nous avons prouvé l'existence de similarités (motifs) au sein des séquences pour une odeur donnée (voir section 4.5.3 Patterns). De plus, nous avons à la fois vérifié des similarités propres à des groupes spécifiques (voir section 4.5.3 Patterns), mais aussi prouvé qu'il existe un lien d'influence entre la reconnaissance d'une odeur et le cheminement visuel d'un individu (voir section 4.5.2 Étude statistique).

En perspective, nous pourrions automatiser le processus d'extraction de séquences et sous-séquences afin de prédire une odeur. Par exemple, si un individu a une séquence contenant majoritairement des patterns spécifiques à une odeur, il serait possible de prédire qu'il pense à celle-ci, voir qu'il l'a reconnue ou non. Pour cela, il faudrait construire une base d'apprentissage conséquente à laquelle nous pourrions comparer nos séquences.

Plusieurs méthodes de prédictions sont également possibles, nous pensons notamment à l'utilisation de n-grammes comme pour le traitement automatique des langues ou bien encore des chaînes de Markov se basant sur nos matrices de transition.

5.2 Intérêt et critiques du projet

Ce projet nous a particulièrement intéressé, de par son utilisation de l'eye tracker, une technologie montante passionnante, et de par son thème, le lien entre les odeurs et les couleurs. Nous avons pu monter une expérience par nous-même, organiser des sessions de passage pour les participants, et analyser les données issues de cette expérience. Nous sommes fiers que les résultats encourageant obtenus puissent contribuer à ce domaine de recherche, et ouvrent peut-être de nouvelles perspectives d'avenir.

Au niveau des critiques, nous avons mis du temps à détecter que les données de l'expérience précédente étaient inexploitable, et surtout à comprendre les origines de ce problème. Nous avons dû comparer les données extraites aux vidéos de l'expérience en essayant d'identifier s'il y avait des données récupérables, ou s'il ne s'agissait pas d'un simple problème d'inversion. Nous avons également dû réfléchir longuement aux biais de l'expérience précédente et aux moyens de les éviter, et nous nous sommes heurtés à des contraintes courantes dans ce domaine, notamment pour trouver des participants. Mr Sylvain Castagnos et Mme Muriel Jacquot nous ont grandement aidés dans cette entreprise.

5.3 Les manques de la formation

L'une des difficultés de ce projet était d'établir un protocole clair. Sur ce point, nous aurions aimé avoir quelques cours sur la manière de rédiger un protocole afin d'éviter les biais, et plus généralement sur la façon de mener une expérience, notamment au niveau contact avec les participants pour ne pas introduire de biais.

5.4 Les atouts de la formation

Plusieurs cours nous ont été utiles pour la réalisation de ce projet : le cours d'ergonomie cognitive nous a permis d'avoir un panel des différentes techniques d'élicitation et leur mise en oeuvre ; les cours d'analyse comportementale et analyse de données nous ont été très utiles lors de l'analyse statistiques

des données et enfin les cours de mémoire et apprentissage numérique nous ont aidé pour imaginer des pistes d'utilisation de nos résultats, notamment pour la prédiction.

Références

- [1] Zellner D.A *Color-Odor Interaction : A review and model.* 2013.
- [2] Lawless H. , Engen T. *Associations to odours : interference, mnemonics and verbal labeling.* 1977.
- [3] Seo H.S. et al *Cross-modal integration between odors and abstract symbols.* 2010.
- [4] Belkin K. et al *Auditory pitch as a perceptual analogue to odor quality.* 1997.
- [5] Wright B., Rainwater L. *The meaning of color.* 1962
- [6] Zellner D.A et al *Influence of color on odor identification and liking ratings.* 1991.
- [7] Maric Y. et al *As pink as an orange blossom odor : a Lebanese-French cross-cultural study.* 2012.
- [8] Maric Y., Jacquot M. *Interactions sensorielles et applications dans le domaine du packaging.* 2015.
- [9] Rix G., Biache M. *Enregistrement en perspective subjective située et entretien en re-situ subjectif : une méthodologie de la constitution de l'expérience.* 2004.
- [10] Steichen B. et al *Te,Te,Hi,Hi : Eye Gaze Sequence Analysis for Informing User-Adaptive Information Visualizations.* 2014.

6 Annexes

Annexe 1

Protocole :

Présentation de l'expérience aux participants

Bonjour, bienvenue et merci de votre participation à l'expérience. Le but de cette expérience est de comprendre l'association entre une odeur et une couleur. Cette expérience va se dérouler en deux temps : dans un premier temps, vous allez devoir associer des couleurs à des odeurs, et dans un second temps nous réaliserons un entretien au cours duquel vous expliquerez vos choix de couleurs pour chaque odeur.

Pour la première partie de l'expérience, nous allons utiliser un eye tracker que voici. C'est une caméra infrarouge qui va suivre les mouvements de vos yeux tout au long de l'expérience. Avant que l'expérience commence, nous devons calibrer l'eye tracker, pour qu'il s'adapte aux mouvements de vos yeux. Ensuite l'expérience odeur-couleur débutera.

Calibrage

Lors de la phase de calibrage, vous devrez suivre un point rouge sur l'écran, sans chercher à prévoir son déplacement. Je lance le calibrage dès que vous êtes prêts(es). phase de calibrage : prendre le contrôle de la souris et nommer le num-calibrage.

Odeur-couleur

La phase de calibrage est terminée, après un questionnaire général, l'expérience odeur-couleur pourra commencer. Cette expérience consiste à sentir 5 odeurs au total et à associer une couleur à chacune d'elles. Les couleurs sont réparties en une palette qui vous sera présentée dès le début de l'expérience. L'ordre des odeurs étant aléatoire il n'y a pas de lien entre une odeur et celle qui suit. Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse pour l'association. Soyez spontané, ne cherchez pas à identifier l'odeur. Après avoir senti le premier échantillon, vous allez devoir lui attribuer une couleur, en cliquant sur la palette, puis vous devrez répondre à quelques questions pour qualifier l'association que vous venez de faire. Entre chaque odeur, vous devrez sentir des grains de café que vous trouverez sur votre droite, pour faire un blanc olfactif. Pour chaque échantillon, vous aurez quelques secondes pour sentir une première fois l'odeur, puis vous devrez fixer le point rouge à l'écran afin de recentrer votre regard. Dès que vous voyez ce point, et jusqu'au questionnaire intermédiaire, il est très important de regarder l'écran, même lors de vos réflexions.

Tout d'abord nous allons vous présenter la palette de couleur que vous allez utiliser durant l'expérience. Prenez le temps de bien la regarder, et quand vous êtes prêts(es) cliquez sur l'une des couleurs pour passer au questionnaire. Puis, je vous donnerai un à un les échantillons durant l'expérience.

Avez-vous des questions ?

Entretien

Nous allons maintenant regarder la vidéo de votre expérience. Vous allez voir des points apparaître sur la palette : ce sont les points de fixation qui représentent votre parcours visuel. Plus le point grossit, plus longtemps vous avez regardé cet endroit.

L'objectif de cet entretien est de comprendre vos choix, et d'explicitier votre raisonnement. Si vous le pouvez, expliquez-nous pourquoi vous avez choisi telle couleur, et à quoi cette odeur vous a fait penser. Précisez le maximum d'informations. Nous pourrions parfois intervenir si quelque chose ne nous paraît pas clair, mais c'est vous qui aurez la parole. Nous filmons l'entretien, mais la vidéo ne sera pas diffusée ou utilisée autrement que dans le cadre de cette expérience.

À la fin de chaque couleur : vous n'avez plus rien à ajouter ? Cette odeur était . . . , est-ce que cela influence votre choix ?

Fin de l'annexe 1

Annexe 4

Exemple de verbalisation

Echantillon 2, odeur 448 (01:18)

Alors ça j'ai pensé à un chewing-gum. Pourquoi, je sais pas. Donc le chewing-gum je suis allé vers du rose, on aurait dit un chewing-gum à la...je sais pas. Chewing-gum à la fraise ou...Et donc j'hésitais entre les couleurs roses violettes. Je crois que j'ai quand même fait un petit tour entre plusieurs couleurs avant. Puis finalement j'ai dû choisir vers le trio qui est par là [02:06]. Je crois que je suis allé vers le rouge parce que je pensais à la fraise. Puis après j'ai pris rose pour le chewing-gum. J'ai pas plus d'explications que ça.

C'était la fraise. Si tu avais reconnu, ça aurait changé ton choix de couleur ?

J'aurais plus pris du rouge.

Annexe 5

Test de Kruskal-Wallis entre Reconnaissance et Temps Explo

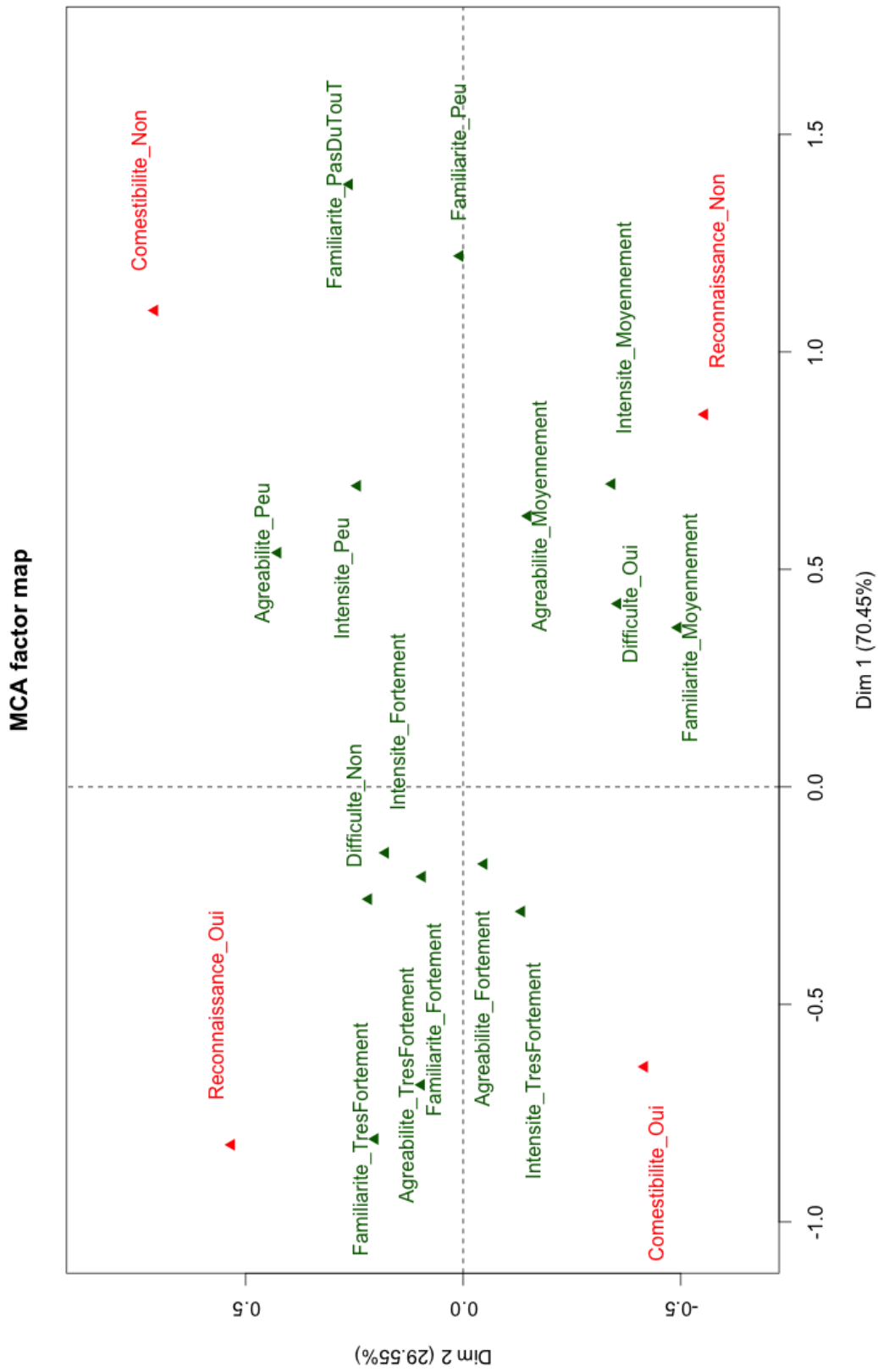
Kruskal-Wallis entre reconnaissance et temps d'exploration

	Ananas	Citron	Fraise	Fleur d'oranger	Rose	Toutes
Chi-squared	7.28	1.71	11	0.45	1.32	24
Df	1	1	1	1	1	1
P-value	0.006974	0.19	0.0009502	0.5	0.25	1.032e-06

Cellule en VERT : test significatif

Annexe 6

Carte MCA variables qualitatives du questionnaire



Annexe 7

Motifs dans les séquences

Motifs dans les séquences

	Ananas	Citron	Fraise	Rose	Fleur d'oranger
Pattern 1	RPP	GYO	RPR	PPP	OOO
Pattern 2	RRR	Rien	Rien	Rien	YOO

Annexe 8

Motifs dans les séquences avec groupes de reconnaissance

Motifs dans les séquences avec groupe de reconnaissance

	Ananas	Citron	Fraise	Rose	Fleur d'oranger
ReconnaissanceOUI	RRR	YYY	RPR	PPP	YOO
ReconnaissanceNON	RPP	Rien	RPR	BPB	OOO

Différence entre les deux modalités