

# Perception et Catégorisation des Odeurs par l'Homme

Nicolas Godinot

Sous la direction de Gilles Sicard et de André Holley

Mémoire de DEA de Neurosciences, Université Claude Bernard Lyon 1, 1994

## 1. INTRODUCTION

Le système olfactif apporte au sujet des informations sur son environnement chimique. Participant à la localisation d'aliments potentiels, à l'identification de congénères, ou à l'établissement de relations de communication aux conséquences importantes sur l'organisation sociale, les informations olfactives sont mises à profit dans le contrôle de nombreux comportements (Holley, 1993). Le support d'information n'est pas une grandeur physique, comme la longueur d'onde électromagnétique pour la vision, ou les variations fréquentielles de la pression pour l'audition, mais une conformation particulière, physicochimique, de l'énergie, portée par des produits chimiques volatiles: les odorants. Le sujet baigne la plupart du temps dans un nuage complexe de molécules volatiles. Son système olfactif doit donc probablement en extraire des informations. Pour ce faire, on peut considérer qu'il fait jouer deux fonctions: discrimination et identification. La fonction de discrimination permettrait l'extraction des signaux dans un bruit et la distinction des signaux entre eux. La fonction d'identification réaliserait quant à elle une reconnaissance de ces signaux, les confrontant à des informations stockées, attribuant ainsi une signification au stimulus.

L'ensemble de ces fonctions qui conduisent à la perception olfactive repose sur des mécanismes physiologiques dont certains, la réception des molécules odorantes et les mécanismes de la mémoire olfactive par exemple, sont connus ou activement étudiés (Sicard, 1990; Mouly et al., 1990; Barker et Weaver, 1983; Schab et al., 1991). Singulièrement, en ce qui concerne la réception, soulignons que le répertoire des récepteurs moléculaires impliqués compte plusieurs centaines d'espèces (Buck et Axel, 1991), ce qui laisse entrevoir la richesse extrême des capacités de représentations des odeurs, donc des performances de la fonction de discrimination.

L'étude de l'organisation du système récepteur grâce, principalement, à un modèle animal, la muqueuse olfactive de grenouille, a permis de mieux comprendre sur quelles bases reposent les capacités de discrimination des odorants à l'entrée du système olfactif (Duchamp et al., 1974; Sicard et Holley, 1984; Sicard 1985). Les chimistes ont proposé des interprétations plausibles en termes physicochimiques des relations de proximités (similitudes) entre les odorants telles que les ont révélés les études physiologiques (Eminet, 1983; Laffort, 1993).

En fait, depuis longtemps, les chimistes tentent de relier la structure moléculaire à l'odeur d'un composé (Ohloff, 1982; Doré et al., 1984; Amore, 1971). Notamment, c'est le cas l'équipe de M. Chastrette, qui a pu mettre en relation des qualificatifs d'odeurs comme musqué, santalé ou ambrée avec des structures moléculaires particulières (Eminet et Chastrette, 1983; Elmouaffek, 1988; Rognon, 1993). Dans ce type d'étude, la qualification de l'odeur des composés étudiés, en l'absence d'une classification consensuelle, est alors représentée par une expression verbale, résultat de l'interrogation d'un sujet particulier, (parfois l'expérimentateur lui-même!), voire d'un professionnel de l'odeur, rarement d'un groupe de sujets placés face à des échantillons d'odorants dans des conditions contrôlées.

Une telle caractérisation de l'odeur non seulement tient compte du message sensoriel mais l'enrichit d'attributs liés à la connaissance que les sujets ont de l'odeur qu'ils sentent. Après un tel traitement, on peut se demander sous quelles formes subsistent les relations de proximités entre odorants telles qu'elles sont définies par les mécanismes de réception. On est forcé d'admettre que le message périphérique est bien le fondement de ces relations, mais dans certains cas, la trace des similitudes ou des dissemblances périphériques pourrait être masquée par des attributs jugés plus pertinents par le sujet, la sensation devenant secondaire.

Nous avons cherché une critique expérimentale de ces assertions. Notre but était de comparer les espaces olfactifs périphérique et perceptif, afin de tenter une interprétation des transformations éventuelles des relations de proximités entre odorants dans ces deux espaces. Le protocole que nous avons choisi demande aux sujets de faire des catégories d'odeurs. En fait, se sont bien les traitements cognitifs de l'information olfactive qui sont ici effleurés.

A partir du début des années 70, l'équipe du professeur A. Holley a exploré les similitudes et les différences entre des odorants, telles qu'on pouvait les définir sur la base des mécanismes de réception. Ils ont ainsi étudié six séries de vingt odorants. La réponse des neurones récepteurs pour un odorant donné est directement reliée à ses interactions avec les récepteurs moléculaires intercalés dans la membrane de ces cellules. Approchant donc le plus possible les mécanismes de réception, cette équipe a enregistré pour chaque série d'odeurs, la réponse électrophysiologique de soixante neurones récepteurs. Ils ont tout d'abord remarqué que plusieurs odorants pouvaient activer le même neurone. Cependant un code discriminant pouvait être établi si l'on considérait que deux neurones ne répondent pas (ou rarement) aux mêmes sous-ensembles d'odorants. Les résultats enregistrés étaient compatibles avec l'idée qu'existaient plusieurs récepteurs moléculaires, chacun présentant un jeu d'affinités particulières pour les odorants. Deux odorants activant deux sous-ensembles de récepteurs moléculaires différents sont alors considérés comme discriminés par le système récepteur olfactif (Duchamp et al., 1974; Sicard et Holley, 1984).

Ces travaux ont servi de base à notre réflexion, et le travail expérimental que nous avons effectué pendant notre stage les prolongeait. Nous utiliserons les résultats d'une de ces six séries d'expériences, baptisée " série récapitulative" parce qu'elle

réalisait une sorte de synthèse expérimentale de résultats antérieurement recueillis.

Les réponses périphériques recueillies dans le cadre de l'étude récapitulative ont permis de construire un espace représentatif des relations de proximités entre les 20 odorants testés (figure 1, d'après Sicard et Holley, 1984). Dans cet espace, la distance entre les composés matérialise les plus ou moins grandes similitudes d'effet des odorants sur l'activité des neurones récepteurs. Ces relations sont établies selon des bases statistiques, or rien n'indique que le système olfactif utilise un tel critère pour identifier les odorants.

Nous avons décidé de reprendre la même série de composés odorants afin d'en étudier, non plus les similitudes ou dissemblances de leurs actions sur le système récepteur, mais leurs relations de proximité dans la perception du sujet humain. On cherche, ainsi à montrer que ce qui a été obtenu à la périphérie n'est pas forcément ce qu'on retrouvera à la sortie du système.

Afin de ne pas orienter l'identification des odorants par les sujets humains interrogés, nous avons rejeté les procédures consistant à classer les odorants selon des qualificatifs verbaux pré-établis (Elmouaffek, 1988; Russel et al., 1993). Nous nous sommes inspiré d'un protocole de catégorisation déjà appliqué en olfaction humaine (Lawless, 1989; MacRae et al., 1990). A l'aide d'outils de statistique descriptive, tels que la taxinomie et l'analyse factorielle des correspondances, nous avons décrit les relations de proximités perceptives des vingt odorant de la série récapitulative, afin de les confronter aux résultats précédemment obtenus par les électrophysiologistes.

## 2. MATERIEL ET METHODES

La présente étude comporte deux épreuves psychophysiques: Une épreuve test de catégorisation de vingt substances odorantes et une épreuve d'évaluation des valeurs hédoniques et intensitives de ces mêmes substances.

### 2.1 Substances odorantes

Il s'agit de 20 corps purs odorants commerciaux (Sigma, Aldrich), ayant une pureté supérieure à 98% (tableau I). Presque tous sont liquides à la température ambiante. Nous avons dilués ces corps au centième dans de l'huile minéral dépourvue d'odeur (Nugol ou Mineral Oil, Sigma). Des expériences préliminaires, nous ont permis de constater que certains produits par leur forte intensité surprenaient les sujets devant les humer ou au contraire étaient difficilement perçus. Nous avons donc dilué moins le limonène (1/62.5), et plus l'acide isovalérique, le thiophénol, ainsi que la pyridine (1/6250). Quatre composés cristallisés, le menthol, le camphre, le thymol, et le phénol, ont été dissous de telle manière que leurs concentrations molaires soient du même ordre que celles obtenues pour les corps liquides. Sauf pour le menthol, leur mise en solution n'a pu être effectuée que dans le diéthyl-phtalate, inodore (Sigma). Le volume final des solutions obtenues était de 5 ml. Le tableau I indique le nom des corps utilisés, le code à trois lettres utilisé pour les identifier dans les figures, et leurs concentrations. Les 5 ml de solution étaient versés dans de petits flacons de 25 ml en verre ambré, dans lesquels on avait introduit un absorbant synthétique. La pénétration de tout le liquide dans l'absorbant permet de retenir la solution, et évite ainsi tout risque d'écoulement lors de la manipulation des flacons. Chaque flacon est identifié par un numéro, de 01 à 20, et présenté dans un portoir métallique constitué de 25 cases (5\*5). On disposait de 2 jeux d'odorants, ordonnancés différemment selon 2 tirages au hasard (Tableau II) et respectivement proposés à deux groupes de sujets. Pour un certain nombre de sujets, l'ordonnancement a été chaque fois tiré au hasard.

### 2.2 Les épreuves psychophysiques

#### ● 2.2.1 Epreuve de catégorisation

##### ○ 2.2.1.1 Protocole

Pour réaliser ce test, nous nous sommes inspiré d'un protocole déjà utilisé par Lawless en 1989 et validé par Mac Rae et al. en 1990. Ce protocole consistait à présenter aux sujets un jeu d'une dizaine de substances odorantes en leur demandant de les regrouper selon leurs plus ou moins grandes similitudes qualitatives. Nous avons utilisé cette méthode avec notre jeu de 20 odorants. Afin de prendre en compte le maximum de variables, nous avons laissé le plus de liberté possible à nos sujets. Les consignes qui leur ont été présentées étaient celles indiquées par la figure 2.

**Figure 2: Instructions données aux sujets afin qu'ils effectuent des regroupements à partir du jeu de 20 odorants**

Vous vous trouvez face à 20 flacons contenant chacun une odeur particulière.

Nous vous demandons de n'ouvrir qu'un seul flacon à la fois. Ouvrir pour sentir puis refermer avant de tester un autre flacon.

La tâche que nous vous demandons consiste à regrouper les odeurs selon leurs "airs de famille", sans tenir compte de leurs intensités. Ainsi, deux flacons contenant des odeurs qui se ressemblent seront placés dans un même groupe, et deux flacons contenant des odeurs dissemblables seront placés dans deux groupes distincts.

Vous n'êtes limité ni dans le nombre de groupes que vous désirez faire, ni dans le nombre d'odeurs que vous comptez placer dans chaque groupe.

Nous vous demanderons de disposer vos groupes sur le grand portoir présent à côté de vous. Vous êtes libre de former vos groupes sur le plan de travail avant de les placer dans ce portoir.

Bon Courage!

Une fois cette première phase réalisée, nous avons demandé oralement au sujet de donner une description de chaque groupe et de trouver pour chacun le flacon odorant caractéristique. Les réponses verbales sont systématiquement enregistrées. L'instruction pour cette deuxième phase était celle précisée par la figure 3.

**Figure 3: Instructions lues aux sujets afin qu'ils qualifient verbalement les regroupements effectués**

Essayez de définir, de qualifier par un ou par quelques termes génériques, chacun des regroupements que vous avez effectués, et, si cela est possible, désignez pour chaque groupe l'odeur qui en est la plus représentative.

Au cours de cette épreuve, nous avons aussi voulu observer le comportement de prise d'information des sujets en nous attachant plus particulièrement à ses aspects temporels. Ainsi, nous avons considéré que l'épreuve était constituée de période de flairages et de périodes de repos. La période de flairage est comprise comme celle qui s'écoule entre l'ouverture d'un flacon et sa fermeture. La période de repos s'étend de la fin d'une période de flairage au début de la période de flairage suivante. Nous avons mesuré la durée de ces périodes. Nous avons ainsi comptabilisé le nombre de périodes de flairage effectuées par séquences de deux minutes.

○ **2.2.1.2 Sujets**

Ce test a été effectué par 40 étudiants volontaires, âgés en moyenne de 22 ans ( $22,6 \pm 2,4$ ), dont 19 femmes et 21 hommes. Onze sujets ont classé les odorants à partir de l'ordonnancement du jeu B, 13 selon celui du jeu C, et 16 à partir d'un jeu au hasard. Parmi ces 40 personnes, 9 étaient fumeurs. Le protocole, ainsi que le traitement des données sont schématisés sur la [figure 4](#).

○ **2.2.1.3 Traitement des données**

Les procédures statistiques, principalement descriptives, que nous avons utilisées ont eu pour but de donner une image des relations qualitatives entre les odorants testés tels qu'on les déduit du jugement des sujets interrogés. Nous décrivons ci-dessous les principales caractéristiques de ces traitements qui répondent à deux objectifs: - On a cherché d'abord à représenter les similitudes les plus patentes à l'aide de procédures de classement automatique, algorithmes de taxinomie. - Par ailleurs, nous avons tenté de donner une interprétation à ces regroupements sur la base des qualificatifs verbaux que nous avons projetés sur l'espace des odorants grâce à l'analyse factorielle des correspondances (Benzecri, 1973). Nous avons choisi ces traitements de même nature ou identiques à ceux utilisés lors des études antérieures, physiologiques ou physico-chimiques, de la même collection d'odorants. Cette similitude d'outils facilitera la comparaison entre les différents niveaux d'étude.

Matrice de co-occurrence et taxinomie. Pour chaque sujet, les résultats de ses regroupements sont inscrits dans une matrice binaire carrée symétrique, avec comme entrées, en colonne et en ligne, la série de 20 odorants. A l'intersection d'une ligne, représentant un odorant, et d'une colonne, en représentant un autre, est inscrit le chiffre 1 si les deux odorants ont été placés dans un même groupe, et, le chiffre 0 s'ils étaient dans deux groupes distincts. La somme algébrique des différentes matrices binaires obtenues pour tous les sujets donne une matrice de fréquences de co-occurrences: Le nombre présent à l'intersection d'une ligne et d'une colonne représente le nombre de fois où les deux odorants correspondants ont été placés dans un même groupe. Plus ce nombre est grand, plus la similitude des 2 odorants est grande. On remarquera que si l'on divise les co-occurrences obtenues par le nombre de sujets, on obtient des indices compris entre 0 et 1, équivalents aux indices de similitude d'Ochiai. Cette matrice de co-occurrence est ensuite utilisée comme entrée d'un algorithme de taxinomie hiérarchique ascendante. Cette procédure, descriptive, permet, sur la base de distances entre items, de réaliser des agrégations successives entre les items qu'on résume par une arborescence ou dendrogramme. La procédure choisie est dite ascendante car elle débute sur l'ensemble de items, tous individualisés, puis poursuit par une agrégation des items, puis des groupes d'items, deux à deux... et ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'un seul groupe contenant tous les items.

Projections simultanées des points représentatifs des odorants et des commentaires des sujets: l'analyse factorielle des correspondances (AFC). Un deuxième type de traitement a été effectué reposant sur une matrice binaire non symétrique avec, en colonne les 20 odorants et en ligne les commentaires recueillis sur les groupes. Dans cette matrice a été consigné à l'intersection d'une ligne  $i$  et d'une colonne  $j$ , soit le chiffre 1 si à l'odeur  $i$  était associé le commentaire  $j$ , soit, si tel n'était pas

le cas, le chiffre 0. Cette matrice rectangulaire nous a permis de calculer des distances de CHI-2 entre odeurs. Cette matrice de distances a été utilisée comme entrée d'un algorithme d'analyse factorielle dans le but d'obtenir une projection dans un espace à 19 dimensions, c'est-à-dire prenant en compte la totalité de la variance. Nous avons systématiquement reproduit trois dimensions, et tenu compte de cinq dans notre rapport, jugeant que 50% environ de l'information suffiraient à représenter les principales caractéristiques de l'espace olfactif ainsi étudié.

- **2.2.2 Epreuve de classement des odorants selon leurs valeurs hédoniques et leurs intensités**

- **2.2.2.1 Protocole**

Nous avons demandé à chaque sujet de réaliser successivement deux classements des 20 odorants: un classement selon un critère d'intensité, un autre selon un critère hédonique. Ni le temps, ni l'accès aux sources d'odeurs, les flacons contenant les odorants, n'étaient limités. Les consignes reçues par les sujets, pour la réalisation du classement hédonique sont indiqués par la figure 5.

<p><b>Figure 5: Instructions fournies aux sujets afin qu'ils effectuent un classement des odorants en fonction de la perception plus ou moins mauvaise/agréable qu'ils en ont.</b></p> <p>Vous vous trouvez face à 20 flacons contenant chacun une odeur particulière.</p> <p>Nous vous demandons de n'ouvrir qu'un seul flacon à la fois. Ouvrir pour sentir puis refermer avant de tester un autre flacon.</p> <p>La tâche que nous vous demandons consiste à ranger les odeurs selon un ordre croissant d'hédonicité. C'est à dire que vous devez les classer en partant de l'odeur qui sent le meilleur vers celle qui sent le moins bon.</p> <p>Vous n'êtes limité ni dans le nombre de fois que vous désirez humer un flacon, ni dans le temps.</p> <p>Bon Courage!</p>
---

Les consignes reçues pour la réalisation du classement intensitif sont les mêmes, le terme "hédonicité" est simplement remplacé par "intensité"; "meilleur" et "moins bon" le sont par "moins fort" et "plus fort".

La moitié des sujets a réalisé le classement hédonique avant le classement intensitif, l'autre moitié a fait l'inverse. Un temps de repos de l'ordre de 15 minutes était ménagé entre les deux épreuves.

On note, pour chaque classement réalisé, la position prise par chaque odorants. La position 1 correspondait à l'odorant perçu comme le plus faible ou le meilleur, la position 20 correspond à celui perçu comme le plus fort ou le plus mauvais. Nous utiliserons par la suite les termes "épreuve Intensité" et "épreuve Valeur Hédonique" à propos de ces deux protocoles de classifications.

- **2.2.2.2 Sujets**

Ces épreuves ont été effectuées par 41 étudiants, âgés en moyenne de 22 ans ( $22,6 \pm 2,5$  ans), dont 18 hommes et 23 femmes. Tous les sujets, sauf 2, ont réalisé les deux classements, hédonique et intensitif. Un sujet n'a effectué que le classement hédonique, un autre n'a réalisé que le classement intensitif.

- **2.2.2.3 Traitement des données recueillies**

Que ce soit pour l'échelle d'intensité ou pour la valeur hédonique, nous avons moyenné les rangs attribués par tous les sujets à chaque odorant. Nous avons d'abord examiné des sous-groupes, réalisés en tenant compte de l'ordre des deux épreuves, épreuve Intensité réalisée en premier ou épreuve Valeur Hédonique réalisée en premier. Nous avons donc obtenu 6 classements moyens: -classements intensitifs moyens -réalisé en premier (portant sur 20 classements) -réalisé en deuxième (idem) -global (portant sur 40 classements) -classements hédoniques moyens -réalisé en premier (portant sur 20 classements) -réalisé en deuxième (idem) -global (portant sur 40 classements)

Un test non paramétrique de comparaison de moyennes, le test de Wilcoxon, a été réalisé sur les résultats de rangs obtenus par les odorants. On a ainsi testé l'égalité des rangs moyens d'un même odorant suivant les modalités de classements (hédonique, intensitif, en premier ou en deuxième). On a aussi pu tester l'égalité des rangs moyens des odorants entre eux, pour une même modalité.

## ● 3. RESULTATS

### 3.1 Résultats de l'épreuve de catégorisation

Le principe de l'épreuve a été très facilement compris par les sujets. Tous sont parvenus à effectuer des regroupements en moins d'une demi-heure. Laissés libres d'accéder aux odorants, les sujets se sont comportés d'une manière assez homogène

dans leur façon d'échantillonner les odorants. Les sujets ont, en moyenne, formé 8 groupes ( $8 \pm 1,9$ ), le nombre moyen d'odorants par groupes était de  $2,4 \pm 1,7$ . Nous avons recueilli 341 commentaires sur les regroupements.

### ● 3.1.1 Remarques sur le comportement au cours de la prise d'information.

Afin de caractériser la prise d'information des sujets, 473 séquences de deux minutes ont donné lieu à des mesures. L'épreuve de catégorisation a été effectuée par chaque sujet en un temps moyen de  $29 \pm 7,4$  minutes. On a constaté un intervalle moyen de  $9,2 \pm 3,2$  secondes entre deux périodes de flairage, le temps moyen de flairages est de  $3,8 \pm 1,9$  secondes, le temps moyen de repos entre deux flairages est de  $6 \pm 1,9$  secondes. Ainsi, les sujets passent en moyenne 62% du temps de l'épreuve au repos et 38% avec un flacon ouvert à proximité des narines. Aucun sujet n'a déploré d'impossibilité à sentir les odorants même au bout d'une vingtaine de minutes. Toutefois, des difficultés passagères ont été parfois mentionnées. Tous les sujets ont détecté le odorants et les ont perçus comme différents les uns des autres.

### ● 3.1.2 Analyses taxinomiques

Les résultats obtenus par taxinomie hiérarchique ascendante sur l'échantillon de sujets permet de voir que tous se regroupent à un même niveau de l'arborescence. Ceci montre que l'échantillon est homogène quant aux catégories d'odorants établies. De plus, nous avons effectué séparément des taxinomies à partir des matrices de co-occurrences obtenues sur des sous-ensembles de l'échantillon correspondant aux 20 sujets masculins, aux 20 sujets féminins, aux 16 sujets auxquels on a présenté les odorants ordonnancés de façon aléatoire, aux 11 sujets testés avec le jeu B ou aux 13 sujets testés avec le jeu C. Nous avons obtenu des dendrogrammes tout à fait comparables entre eux, ce qui nous autorise à regrouper les données afin d'obtenir des résultats sur 40 sujets. Une taxinomie hiérarchique ascendante sur la matrice de co-occurrences des 20 odorants dérivée des regroupements effectués par les sujets dessine le dendrogramme présenté par la [figure 6](#). Si on parcourt cet arbre de la gauche vers la droite, des feuilles vers la racine, on s'aperçoit que les composés les plus proches entre eux, sont:

- CIN et MEN,
- MAC et ISO,
- IVA et PHO,
- ACE et XON,
- CYM et LIM.

Puis ces paires s'associent ensuite les unes aux autres comme par exemple HEP-DCI+CYM-LIM, ou aggrègent un nouvel élément comme par exemple CIN-MEN + CAM. Si on considère le niveau à 8 branches, ce qui correspond à la fois au nombre moyen de catégories faites par les sujets et à l'explication de 70% de la variance totale des données, on obtient les groupements suivants:

- IVA PHO PYR
- ISO MAC
- ACE XON
- BUT ANI XOL
- HEP DCI CYM LIM
- PHE
- CDN
- THY CAM CIN MEN

### 3.1.3 Analyse factorielle des correspondances (AFC)

#### ○ 3.1.3.1 Projection des odorants

Le nuage construit sur la base des réponses à l'épreuve de catégorisation des 20 odorants est réellement multidimensionnel. Il faut, en effet, au moins 6 facteurs orthogonaux, 6 dimensions, pour en expliquer 50% de la variance. Le premier facteur, c'est-à-dire l'axe d'étirement maximal du nuage, n'est porteur que de 10,8% de la variance totale, le deuxième, le troisième facteur en représentant respectivement 9,2% et 7,9%.

Les plans factoriels construits avec les facteurs 1 et 2, et 2 et 3 d'autre part, sont présentés sur la [figure 7](#).

L'analyse des contributions absolues et relatives calculées par le programme confirment les impressions fournies par la représentation graphique et permettent de souligner les faits remarquables suivants:

- - Le premier facteur extrait IVA, PHO, PYR du reste des odorants.
- Le deuxième facteur isole MAC, ISO, ACE, XON qu'il oppose à MEN, CIN, CAM, CDN.
- Le troisième facteur oppose MEN, CIN, CAM à CYM, LIM, mais surtout à CDN.
- Le quatrième facteur oppose CYM, HEP, DCI à CDN
- Le cinquième facteur isole PYR qu'il oppose à CDN et IVA.

Si on s'attache aux groupes obtenus par la taxinomie et qu'on considère les cinq premiers facteurs (soit 42,6% de la variance totale), on peut noter que:

- - le groupe IVA, PHO, PYR est porté principalement par le premier facteur. Ces odorants ont contribué pour 79% à sa formation.
- les groupes MAC, ISO et ACE, XON sont tous les deux représentés par le facteur 2, la paire MAC, ISO étant aussi représentée en partie par le facteur 5,
- le groupe MEN, CIN, CAM, THY, (notamment MEN et CIN), est bien représentés par le facteur 3,
- le groupe CYM, LIM, DCI, HEP est bien représenté par le facteur 4 dont la formation est en partie due à CDN, bien réparti aussi sur les facteurs 3 et 5.
- le groupe ANI, BUT, XOL, n'est porté par aucun des cinq premiers facteurs.

Ces huit groupes taxinomiques sont délimités dans l'espace factoriel de la [figure 7](#).

### ○ 3.1.3.2 Projections des qualificatifs

En s'attachant aux qualifications verbales produites par les sujets à propos des groupes qu'ils ont formés, et en utilisant la même stratégie d'analyse que pour les odorants, on peut souligner que:

Le facteur 1 isole du reste des qualifications généralement hédoniques:

- "excréments"
- "immonde, brûlé",
- "désagréable",
- "oignon",
- "moisi, pourri, vomit",
- "désagréable".....qu'il superpose à IVA, PHO, PYR

Le facteur 2 quant à lui, isole des qualificatifs du type

- "roquefort, colle",
- "dissolvant",
- "(stylo) feutre",
- "épicé doux",
- "(stylo) marqueur",
- "banane artificielle",
- "bonbon".....qu'il superpose à MAC, ISO, ACE, XON

Le facteur 3 oppose

- "camphré",
- "chlorophylle, menthe",
- "pastille Vicks",
- "eucalyptus",
- "médicament Solupred",
- "frais, mentholé, eucalyptus".....qu'il superpose à CIN, MEN, CAM

à

- "céleri",
- "moisi, pas agréable",
- "fade",
- "feuille pourrie, sous-bois",
- "moisi",
- "humus",
- "cave, moisissure".....qu'il superpose à CYM, LIM mais surtout à CDN

Le facteur 4 oppose

- "acidulé",
- "agréable",
- "citron, citronnelle",
- "citron",
- "citronné",
- "lessive, produit vaisselle" .....qu'il superpose à HEP, DCI, CYM

à

- "fade",
- "cave, humidité, moisissure",
- "moisi", "forêt humide" .....qu'il superpose à CDN

Le facteur 5 oppose:

- "mauvais",
- "boule puante",
- "ail, dégeulasse, immonde, piquante",
- "(stylo) marqueur",
- "désagréable, oignon, brûlé",
- "goudron" .....qu'il superpose à PYR

à

- "pieds sale",
- "cave, humidité, moisissure",
- "feuille pourrie, sous-bois",
- "j'aime pas, transpiration" .....qu'il superpose à IVA, CDN

## 3.2 Epreuve de classements des odorants selon leurs valeurs hédoniques et leurs intensités

### ● 3.2.1 Remarques sur le comportement au cours de la prise d'information

Les 40 sujets sont parvenus à réaliser les classements dans un temps moyen de 13 ±6,2 minutes par classements.

La moitié des sujets a réalisé l'épreuve Intensité avant l'épreuve Valeur Hédonique, l'autre a suivi un ordre inverse.

Les temps mis par les sujets pour réaliser le classement intensitif ne diffèrent pas significativement que celui-ci ait été réalisé avant ou après le classement hédonique (test de Student-Fisher,  $t=1,93$ ;  $ddl=19$ ;  $p<5\%$ ). Par contre, la durée moyenne des classements hédoniques est significativement raccourcie lorsque ceux-ci ont été effectués après le classement intensitif (test de Student-Fisher,  $t=2,118$ ;  $ddl=19$ ;  $p<5\%$ ) (Tableau III). Un sujet n'est pas parvenu à détecter l'acide isovalérique (IVA).

Tableau III: Durées moyennes des épreuves de classements des odeurs selon l'intensité ou la valeurs hédonique selon l'ordre de passage.

Ordre des épreuves durée (min) hédonique en premier 14,2 ±6,6 hédonique en second 10,8 ±4,3 intensitif en premier 15,2 ±6,6 intensitif en second 12,0 ±8,3 Moyenne 13,0 ±6,2

<b>Tableau III: Durées moyennes des épreuves de classements des odeurs selon l'intensité ou la valeurs hédonique selon l'ordre de passage.</b>	
<b>Ordre des épreuves</b>	duréé (min)
hédonique en premier	14,2 ±6,6
hédonique en second	10,8 ±4,3
intensitif en premier	15,2 ±6,6
intensitif en second	12,0 ±8,3

Moyenne	13,0 ±6,2
---------	-----------

### ● 3.2.2 Epreuve de classement relatif à l'intensité de l'odeur

Le test de comparaison de moyennes de Wilcoxon montre que les rangs moyens des odorants lors des classements intensitifs ne varient pas significativement selon que l'épreuve Intensité est réalisé avant ou après l'épreuve Valeur Hédonique. Les données obtenues par l'interrogation des 40 sujets ayant été regroupées, les rangs moyens des odorants sont présentés [figure 8a](#). Afin d'identifier les paires dont les rangs ne sont pas significativement différents entre elles, nous avons réalisé un test de Wilcoxon, comparant toutes les paires possibles d'odorants ([figure 8b](#)). On observe alors l'existence de groupes d'odorants dont les rangs ne sont pas significativement différents. A l'intérieur de ces groupes, on pourrait interchanger l'ordre des éléments: ils sont perçus comme très voisins quant à leurs intensités. On discerne ainsi les groupes suivants:

- PHE et CAM..... (peu intenses)
- THY CDN LIM et PYR
- DCI XOL MEN CIN et CYM
- XON BUT HEP et IVA
- ANI ISO MAC et ACE..... (intenses)

Seule la position moyenne de PHO, odorant perçu comme le plus intense, est significativement différente de toutes les autres, ce stimulus est donc nettement individualisé.

### ● 3.2.3 Epreuve de classement relatif à la valeur hédonique de l'odeur

Ici aussi, les rangs moyens obtenues pour chaque odorants lors du classement sur critère hédonique ne varient pas en fonction de l'ordre avec lequel les sujets ont réalisé les épreuves Intensité ou Valeur Hédonique.

Les rangs moyens des odorants, calculés sur l'ensemble des sujets interrogés, sont présentés par la [figure 8c](#)

Afin d'estimer la valeur de ces rangs moyennés, nous avons pratiqué un test de Wilcoxon comparant toutes les paires possibles d'odorants (figure 8d). L'existence de regroupements est ici beaucoup moins nette que pour les classements intensitifs. On observe néanmoins un lien entre CIN MEN et ISO, dans les rangs bas, et l'individualisation de trois stimuli, IVA PYR et PHO, jugés comme étant les plus désagréables, voire repoussants. Les odorants de rangs intermédiaires sont nettements plus regroupés.

## ● 4. DISCUSSION

### 4.1 L'épreuve de catégorisation.

Le protocole que nous avons élaboré laissait une grande liberté aux sujets, notre volonté étant que les sujets expriment toutes leurs possibilités d'analyse et de synthèse se rapportant à leurs sensations olfactives. On ne disposait que de peu de données objectives sur les performances et le comportement d'individus placés dans de telles conditions si l'on excepte des données relatives au flairage (Laing, 1982).

Nous avons été surpris par deux faits:

- 1) La rapidité avec laquelle les sujets se tiraient d'une épreuve qui nous paraissait difficile. Entre outre, nous avons noté la fréquence élevée des périodes de flairage successives.
- 2) L'aspect consensuel des jugements sur un échantillon d'odeurs qui n'avaient pas été choisies pour leur familiarité, la facilité de leur analyse ou de leur mémorisation (Jelh, 1993).

L'intervale de temps de repos pris entre deux flairages est si court qu'il est probable que les sujets aient subi les effets de l'adaptation. On connaît de façon assez précise les modalités de cette baisse de sensibilité lors de stimulations successives, soit par le même odorant, on parle alors d'auto-adaptation, soit par deux odorants différents, on parle alors d'adaptation croisée (Köster, 1971). Köster conseille de laisser un intervalle de temps minimum de l'ordre de trente secondes entre deux flairages d'odorants si on désire en étudier l'intensité perçue (Köster, 1991). Toutefois, dans des épreuves de reconnaissance ou de comparaisons de stimuli, il est nécessaire de prendre en compte les aspects de mémorisation (Barker et Weaver, 1983). En effet, des résultats obtenus à partir de comparaisons d'odorant, préconisent de se soucier lors de l'élaboration des protocoles d'avantage des effets de pertes de mémoire que de ceux dus à l'adaptation (Fritjers, 1977). Vu la fréquence d'échantillonnage rapide adoptée par nos sujets, on peut supposer que leur comportement traduit leur propre soucis de préserver les images sensorielles. Les sujets probablement adaptent au mieux leur stratégie pour répondre à la question posée: La durée moyenne entre deux prises d'information s'est trouvée être d'environ 10 secondes. Remarquons que d'autres travaux effectués en gustation, ont montré, que l'intervale de temps entre deux stimuli à comparer, doit être court pour obtenir le moins d'erreurs

possible, de l'ordre de 8 secondes (Godard, 1993).

Sur l'ensemble des variables mesurées (les durées comme le nombre de groupes formés, y compris les catégories proposées), l'échantillon des sujets qui ont participé à l'épreuve de catégorisation a semblé plutôt homogène. Nous n'avons pas pu mettre en évidence de sous-groupe de sujets sur la base des résultats de l'épreuve de catégorisation, ce qui ne signifie pas qu'ils étaient extrêmement dispersés: Tous n'ont pas exactement divisé la collection d'odorant de la même manière, mais certaines paires d'odorants ont pratiquement toujours été associées (par exemple, CIN-MEN, MAC-ISO, CYM-LIM). De telle sorte que les huit groupes taxinomiques révélés constituent bien une charpente autour de laquelle les sujets ont finalement assez peu varié.

## 4.2 Axes intensitif et hédonique.

Sur les résultats des épreuves de classements selon les valeurs hédoniques et d'intensité on constate que, à part pour le thiophénol (PHO), les écarts-types des rangs de chaque substance odorante sont importants. Ils sont tels qu'on pouvait se demander quelle confiance accorder à la position des odorants ainsi classés. La conclusion des tests que nous avons pratiqués est que le rang de certains odorants pourrait être changé de quelques unités, donc que les échelles sont divisibles en quelques plages.

La résolution des capacités d'évaluation est plus faible dans le cas des valeurs hédoniques que dans celui des valeurs d'intensité. On ne distinguerait que trois catégories pour la variable hédonique: mauvais, neutre et agréable. On observe, une échelle plus divisée (en cinq catégories différentes) pour la variable intensive. Nous n'avons pas trouvé parmi les axes factoriels d'axe corrélé à l'axe intensitif. Par contre, le premier axe factoriel est de toute évidence lié à une caractéristique hédonique. Mais, il est plutôt un axe extracteur des mauvaises odeurs (PHO, PYR, IVA), les autres corps n'étant pas étalés sur cet axe. Il ne représente donc pas ce qu'on a l'habitude d'appeler dimension hédonique.

Concernant l'axe intensitif, un sujet n'est pas arrivé à détecter l'acide isovalérique durant les épreuves Intensité et Valeur Hédonique. Ce même sujet n'a pas donné de classement intensitif ou hédonique aberrant pour le reste des odorants testés. Il n'a d'ailleurs pas plus détecté l'acide isovalérique qu'on lui a présenté non dilué! Ces manifestations d'un déficit limité de la sensibilité rappelle la définition des anosmies spécifiques (Amoore et al., 1972, Amoore, 1982). Souvent considérées comme le résultat d'un défaut de récepteur, on ne sait pas si elles entraînent des parosmies associées (Beets, 1982). Malheureusement, le sujet anosmique à l'acide isovalérique n'a pas participé à l'épreuve de catégorisation...

## 4.3 Appréciation de la représentativité des groupes d'odeurs et interprétation de la correspondance

Les groupes obtenus par taxinomie sont également identifiés dans l'espace des premiers facteurs issus de l'analyse factorielle des correspondances. C'est-à-dire que les odorants proches dans l'espace calculé par la taxinomie sont tout aussi proches dans celui issu de l'analyse factorielle. Les procédures statistiques utilisées ici étaient toutes deux basées sur le calcul d'indices de similitude d'Ochiai. Cependant, nous avons obtenus des résultats semblables en utilisant d'autres (coefficient de corrélation de Tanimoto, "Positive matching dichotomy correlation coefficient"). En fait, nous avons réalisé différents types de traitements descriptifs (analyse multidimensionnelle, analyse en composantes principales, analyse factorielle des correspondances et diverses taxinomies). Tous produisent des résultats comparables, montrant par là-même la robustesse des résultats que nous produisons ici.

Nous avons mis à profit la complémentarité de la taxinomie et de l'analyse factorielle des correspondances. Elle nous a permis d'expliquer les regroupements de la taxinomie grâce aux correspondances, existantes et représentables, entre les odorants et les descriptions verbales des groupes. Cela permet une interprétation des critères de regroupements d'odeurs.

On remarque que les descripteurs verbaux ne traduisent pas tous un même niveau de catégorisation ou de traitement des informations (mauvais/citron). Par ailleurs, nous nous sommes très vite rendu compte que les tentatives des sujets pour trouver des qualificatifs génériques *stricto sensu* pour les groupes restaient infructueuses: les définitions étaient données en extension, c'est-à-dire par une suite d'expressions qualifiant au moins certains des éléments du groupe.

En observant l'espace factoriel, on voit que certains odorants sont regroupés parce qu'ils évoquent une même source odorante: c'est le cas du p-cymène (CYM), du D-citronellol (DCI), du D-limonène (LIM) et du n-heptanol (HEP), tous reliés au citron. D'autres sont regroupés par une propriété de l'odeur qui ne semble pas identifier une source: il en est ainsi de l'acide isovalérique (IVA) et de la pyridine (PYR), regroupés autour du constat d'une répulsion commune. On notera toutefois que ces derniers corps reçoivent, moins fréquemment il est vrai, et comme l'illustre le cinquième axe factoriel, des qualificatifs qui décrivent aussi leurs sources usuelles (respectivement, le pied sale et le goudron ou l'ail). Ça n'est pas parce qu'ils sont nauséabonds, que leurs images sensorielles ne peuvent pas être interprétées en termes d'identification.

## 4.4 Confrontation de l'espace des perceptions olfactives et de l'espace des mécanismes récepteurs.

Nous avons la nécessité de justifier l'opportunité de cette comparaison. Elle suppose que l'on considère que les mécanismes de réception qu'on étudie chez la grenouille puissent être similaires sinon identiques à ceux qui existent chez l'homme.

Il y a actuellement une soixantaine de séquences de gènes codant pour les récepteurs publiées, qui ont été extraites de l'étude de six espèces, dont cinq mammifères et un poisson. Plusieurs autres gènes codant pour les récepteurs olfactifs d'insectes sont connus. Entre le rat et l'homme on constate un niveau d'homologie qui peut atteindre 90%, entre le poisson et l'homme le meilleur niveau connu est de l'ordre de 30%. Mais l'état des données ne permet pas de savoir s'il existe des récepteurs identiques dans deux espèces différentes (Lancet et Ben-Arie, 1993) et donc de comparer réellement leurs équipements en récepteurs.

L'autre façon d'approcher la question consiste à se préoccuper de la fonction de ces protéines réceptrices plutôt que de leur dimension structurale. Malheureusement, dans notre domaine, la physiologie comparative n'a pas poussé encore bien loin son regard. Des tentatives de comparaison de la sensibilité de diverses espèces vis à vis de tel ou tel odorant ont été réalisées (Marshall et Moulton, 1981; Marshall et al., 1981). Mais ces comparaisons sur la base de réponses comportementales n'apportent que des indications incertaines sur les mécanismes récepteurs.

Nous en sommes donc réduits à considérer les mécanismes les plus fondamentaux: Le premier principe important est que l'odeur naît probablement de l'interaction d'une molécule odorante avec plusieurs récepteurs de spécificités variées (Beets, 1982; Sicard et Holley, 1984). Le deuxième principe est que les interactions entre molécules et récepteurs sont probablement de même nature quelle que soit l'espèce animale. Il s'en suit que même si les récepteurs sont différents, la proximité des structures chimiques est révélée par un ensemble de récepteurs. Ainsi, nous pouvons émettre l'idée que ces mécanismes généralistes devraient conduire à des espaces olfactifs assez semblables bien qu'on conçoive que des récepteurs très spécifiques puissent les modifier de façon locale. C'est donc sous cette hypothèse que nous avons donc poursuivi notre démarche.

L'axe hédonique de l'espace perceptif est évidemment omis dans la comparaison. On observe des différences et des recouvrements entre les résultats que nous avons obtenus et ceux décrits sur la base des réponses de neurones récepteurs de la muqueuse olfactive par Sicard et Holley (Figure 9). Ci-dessous, nous n'envisagerons pas tous les couples ou groupes possibles, mais à l'aide de trois exemples, nous essaierons d'interpréter les cas les plus typiques.

1. Certaines substances rapprochées par les mécanismes récepteurs sont aussi regroupées par les sujets humains. C'est le cas notamment des molécules camphrées ou mentholées (cinéole, camphre, menthol et thymol). On notera que ces molécules ont aussi été regroupées par les calculs des chimistes (Eminet et Chastrette, 1983). On peut faire l'hypothèse que la source de leur proximité perçue par les sujets humains est bien l'identité de leur image sensorielle.

2. Alors qu'ils sont regroupés par les sujets humains, la pyridine et le thiophénol, au demeurant distants quant à leurs structures chimiques, sont clairement différenciés par les mécanismes récepteurs de la muqueuse olfactive. Nous avons vu que les raisons des regroupements faits par les sujets humains ne sont pas toujours au même niveau: ceci peut raisonnablement expliquer la différence que nous observons ici. On remarquera que le retrait de l'axe "hédonique" dans les représentations de l'espace factoriel fait apparaître toujours une distance importante entre ces deux composés, et laisse donc apparaître la différence de leur images sensorielles.

3. Pour d'autres couples, comme le cyclohexanone (XON) et l'acétophénone (ACE) on a constaté un rapprochement dans l'espace perceptif alors que ces deux corps restaient séparés, appartenant à deux groupes différents, dans l'espace des mécanismes récepteurs. Pour l'heptanol (HEP) et la méthyl amyl cétone (MAC), on observe une situation inverse.

Notre interprétation de ces variations n'est pas vraiment éclairée par les données dont nous disposons. XON et ACE sont rapprochés par le qualificatif colle (en fait, colle blanche de bureau, qui présente une odeur d'amande amère caractéristique). Soit ces deux produits peuvent être trouvés simultanément dans cette source citée par les sujets, soit ils présentent en commun une facette olfactive, un trait commun, par exemple proche de l'odeur de l'amande amère.

La dissociation de HEP et MAC pourtant fortement liés à la périphérie du système olfactif, mais non confondus, nous laisse envisager que les distances si petites qu'elles soient sont décelées par le système olfactif et qu'elles peuvent prendre suffisamment de sens pour modifier les rapports entre les odorants.

Cette dernière hypothèse module ainsi l'impression que l'on pourrait tirer d'une vision trop statistique ou synthétique, des relations de proximités qui découlent des analyses des mécanismes de réception telles qu'elles ont été réalisées par nos prédécesseurs.

## 5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le protocole utilisé ici, selon notre vœu, prend en compte toutes les composantes impliquées dans la tâche de catégorisation. Il met en jeu des odeurs peu ou mal connues par les sujets. Une des utilisations possibles des données que nous apportons

est leur comparaison avec les résultats d'expériences identiques menées avec des séries d'odorants choisis pour leur familiarité, donc des objets différents des nôtres sur le plan cognitif. Ainsi pourrait être exploré plus avant la capacité du sujet humain à faire des catégories d'odeurs.

Afin d'obtenir une vision plus précise des aspects strictement sensoriels, nous pensons qu'une comparaison directe des qualités odorantes serait mieux adaptée. C'est le cas dans les protocoles de comparaison par paires ou par triades. Protocoles demandant moins de "calculs" par le sujet, leur mise en oeuvre demande aussi plus de temps: 190 paires à tester pour vingt odorants.

Quoiqu'il en soit, avec l'épreuve de catégorisation, nous avons un outil qui permet de d'explorer les relations qualitatives entre odorants. Il existe des procédures mathématiques qui permettent de projeter un nouvel élément dans l'espace déjà construit et donc une procédure rapide pour situer un nouvel odorant dans un espace de référence. Il semble que pour obtenir des informations sur l'intensité ou la valeur hédonique, on doit ajouter deux épreuves supplémentaires dédiées à les mesurer.

## 6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

**Amoore J.E.**, 1971, Stereochemical and vibrational theories of odour, *Nature*, 233:270-271.

**Amoore J.E., Venstrom D., Nutting M.D.**, 1972, Sweaty odor in fatty acids: measurement of similarity, confusion and fatigue, *J. Food Sci.*, 37:33-35.

**Amoore J.E.**, 1982, Odor theory and odor classification, in *Fragrance Chemistry*, E.T. Theimer (Ed.), Academic Press, New York.

**Barker L.M., Weaver C.A.**, 1983, Rapid, permanent, loss of memory for absolute intensity of taste and smell, *Bull. of Psychonomic Soc.*, 4:281-284.

**Beets M.G.J.**, 1982, Odor and stimulant structure, In *Fragrance Chemistry*, Academic Press, New York.

**Benzecri J.P.**, 1973, L'analyse des données, Vols. 1 et 2, Dunod, Paris.

**Buck L., Axel R.**, 1991, A novel multigene family may encode odorant receptors: A molecular basis for odor recognition, *Cell*, 65:175-187.

**Doré J.C., Gordon G., Jaubert J.N.**, 1984, Approche factorielle des relations entre structure chimique et notes odorantes, *C.R. Acad. Sc. Paris, chimie biologique*, 299:315-320.

**Duchamp A., Reviel M.F., Holley A., MacLeod P.**, 1974, Odor discrimination by frog olfactory receptors, *Chem. Senses*, 1:212-223.

**Elmouaffek A.**, (1988), Etude statistique multidimensionnelle des proximités entre notes odorantes utilisées en parfumerie. Etude de relations structure-odeur de quelques notes odorantes, Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon.

**Eminet B.**, (1983), Contribution à l'étude physicochimique des relations structure-activité dans le domaine de l'olfaction en utilisant l'analyse de données. Comparaison avec des résultats de mesure électrophysiologiques, Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon.

**Eminet B.P., Chastrette M.**, 1983, Discrimination of camphoraceous substances using physicochemical parameters, *Chem. Senses*, 7:293-300.

**Frijters J.**, 1977, The effect of duration of intervals between olfactory stimuli in the triangular method, *Chem. Senses and Flavor*, 2:301-311.

**Godard C.**, 1993, Contribution à l'étude du recouvrement et de la mémoire chez des sujets effectuant des épreuves d'évaluation sensorielle de saccharose, Thèse de doctorat, ENSBANA, Université de Bourgogne, Dijon.

**Holley A.**, 1993, Traité de psychologie expérimentale, Richelle M., Requin J., Robert M. (Eds), P.U.F, Paris, sous presse.

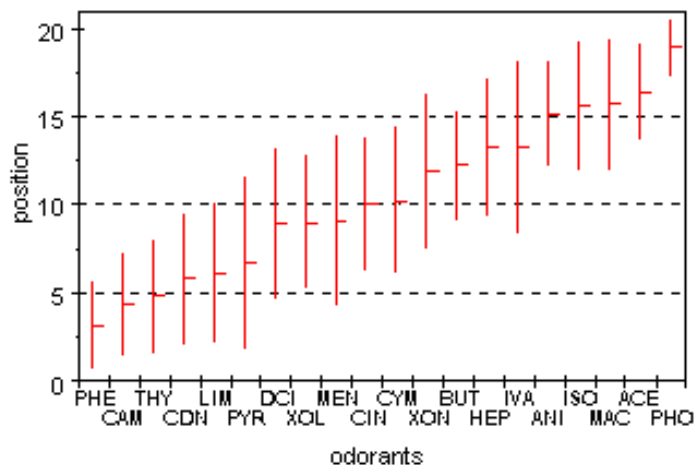
**Jehl C.**, 1993, Etude de l'influence des facteurs perceptifs et sémantiques sur la mémoire olfactive humaine, Thèse de doctorat, Université Lumière, Lyon.

**Köster E.P.**, 1971, Adaptation and cross-adaptation in olfaction. An experimental study with olfactory stimuli at low levels of intensity, Thèse, Rotterdam.

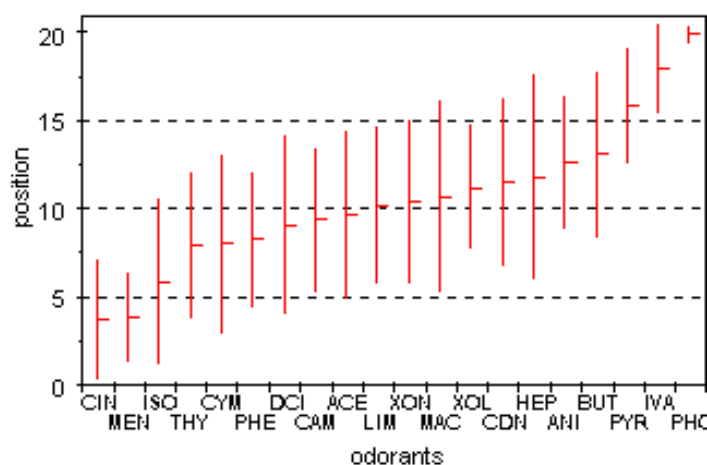
**Köster E.P.**, 1991, Méthode d'évaluation psychophysique dans l'étude de l'environnement, In *Odeurs et désodorisation dans l'environnement*, Martin et Laffort (coord.), Tec & Doc Lavoisier, Paris.

- Laffort P.**, 1993, Structuration graphique de la qualité odorante sur la base de paramètres moléculaires. Cas des données expérimentales du groupe de André Holley, C. R. Acad. Sci. Paris, biochimie cellulaire 316:105-111.
- Laing D.G.**, 1982, Characterisation of human behavior during odour perception, Perception, 11:221-230.
- Lancet D., Ben-Arie N.**, 1993, Olfactory receptors, Current Biol., 3:668-674.
- Lawless H.T.**, 1989, Exploration of fragrance categories and ambiguous odor using multidimensional scaling and cluster analysis, Chem. Senses, 14:349-360.
- MacRae A.W., Howgate P., Geelhoed E.**, 1990, Assessing the similarity of odors by sorting and by triadic comparisons, Chem. Senses, 15:691-699.
- Marshall D.A., Moulton D.G.**, 1981, Olfactory sensitivity to alpha-ionone in humans and dogs, Chem. Senses, 6:53-59.
- Marshall D.A., Blumer L., Moulton D.G.**, 1981, Odor detection curves for n-pentanoic acid in dogs and humans, Chem. Senses, 6:445-452.
- Mouly A.M., Gervais R., Holley A.**, 1990, Evidence for the involvement of rat olfactory bulb in processes supporting long-term olfactory memory, Eur. J. of Neurosci., 2:978-984.
- Ohloff G.**, 1982, The fragrance of ambergis, in Fragrance Chemistry, E.T. Theimer (Ed.), Academic Press, New York.
- Rognon C.**, 1993, Relation structure-odeur et modélisation moléculaire à partir de la comparaison des propriétés olfactives de couples d'énantiomères, Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon.
- Russel M.J., Cummings B.J., Profitt B.F., Wysocki C.I., Gilbert A.N., Cotman C.W.**, 1993, Life span changes in the verbal categorisation of odors, J. of Gerontology: Psychological Science, 48:49-53.
- Sicard G.**, 1985, Olfactory discrimination of structurally related molecules: Receptor cell responses to camphoraceous odorants, Brain Res., 326:203-212.
- Sicard G.**, 1990, Receptor selectivity and dimensionality of odours at stage of the olfactory receptor cells, NATO ASI series, chemosensory Information Processing, Schild D. (Eds), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sicard G., Holley A.**, 1984, Receptor cell responses to odorants: similarities and differences among odorants, Brain Res., 292:283-296.
- Shab F.R., De Wijk R.A., Cain W.S.**, 1991, Odor memory over the course of 100 seconds, AChemS XIII, Sarasota, FL.

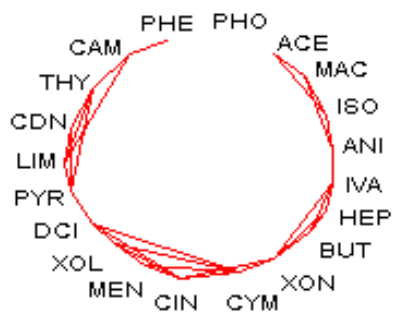
(a) **Positionnements intensitifs moyens**  
obtenus d'après les 40 classements



(c) **Positionnements hédoniques moyens**  
obtenus d'après les 40 classements



(b)



(d)



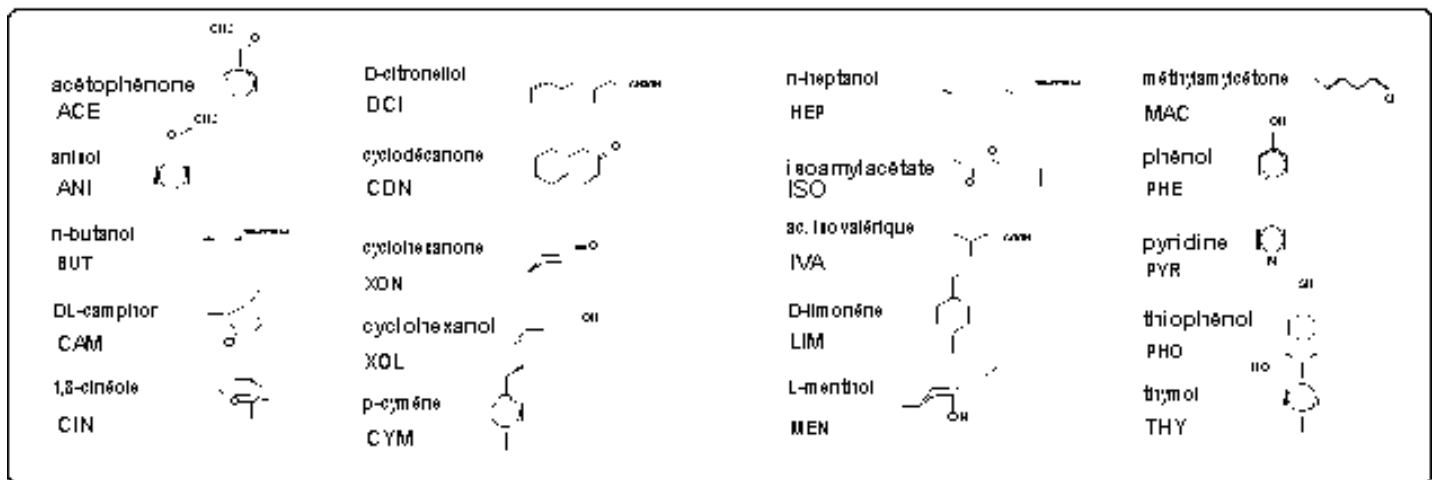
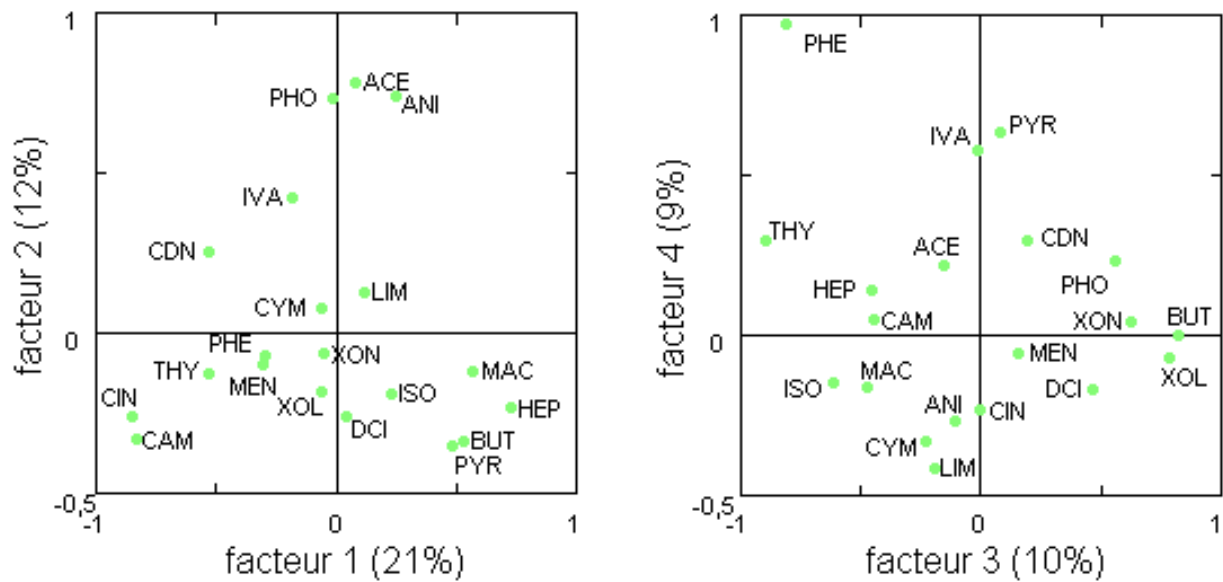
**Figure 8:** Résultats obtenus à partir des classifications du jeu de composés odorants par 40 sujets selon des valeurs hédoniques et d'intensités. En a et c sont représentés les rangs moyens obtenus pour chaque odorant selon l'épreuve de classement de leur valeurs d'intensité (a) ou de leur valeurs hédoniques (c). Le rang 1 représente l'odeur perçue comme la moins intense ou la meilleure. Le rang 20 représente l'odeur perçue comme la plus intense ou la plus désagréable. Les odorants ont été, dans les deux cas, triés selon la valeur croissante de leurs rangs moyens. Les traits verticaux représentent les écarts-types aux rangs moyens. En b et d sont figurés les égalités entre les rangs moyens des vingt odorants. Le trait reliant deux composés odorants indique une égalité de rang significative à 95% (test de Wilcoxon). Les rangs moyens sont ainsi testés entre les odorants dans le cas des classements des valeurs d'intensités (b) et des valeurs hédoniques (d). Notez les nombreuses égalités dans le classement selon les valeurs hédoniques pour les composés de rangs intermédiaires.

ACE: acétophénone  
ANI: anisol  
BUT: n-butanol  
CAM: DL-camphor  
CIN: 1.8 cinéole

DCI: D-citronellol  
CDN: cyclodécaneone  
XON: cyclohexanone  
XOL: cyclohexanol  
CYM: p-cymène

HEP: n-heptanol  
ISO: isoamylacétate  
IVA: ac. isovalérique  
LIM: D-limonène  
MEN: L-menthol

MAC: méthylamylcétone  
PHE: phénol  
PYR: pyridine  
PHO: thiophénol  
THY: thymol



**Figure 1:** Représentation de deux plans factoriels obtenus à partir de l'analyse des réponses des neurones récepteurs de la muqueuse olfactive stimulés par vingt substances odorantes. L'analyse pratiquée est une analyse factorielle des correspondances. Sont représentées ici les positions des odorants sur les quatre premiers facteurs. Les facteurs 1, 2, 3, et 4 prennent en charge respectivement 21%, 12%, 11% et 9% de la variance totale. En dessous des deux plans factoriels sont consignés les odorants utilisés, le code de trois lettres qui les caractérise ainsi que leurs formules chimiques. (Sicard et Holley, 1984).

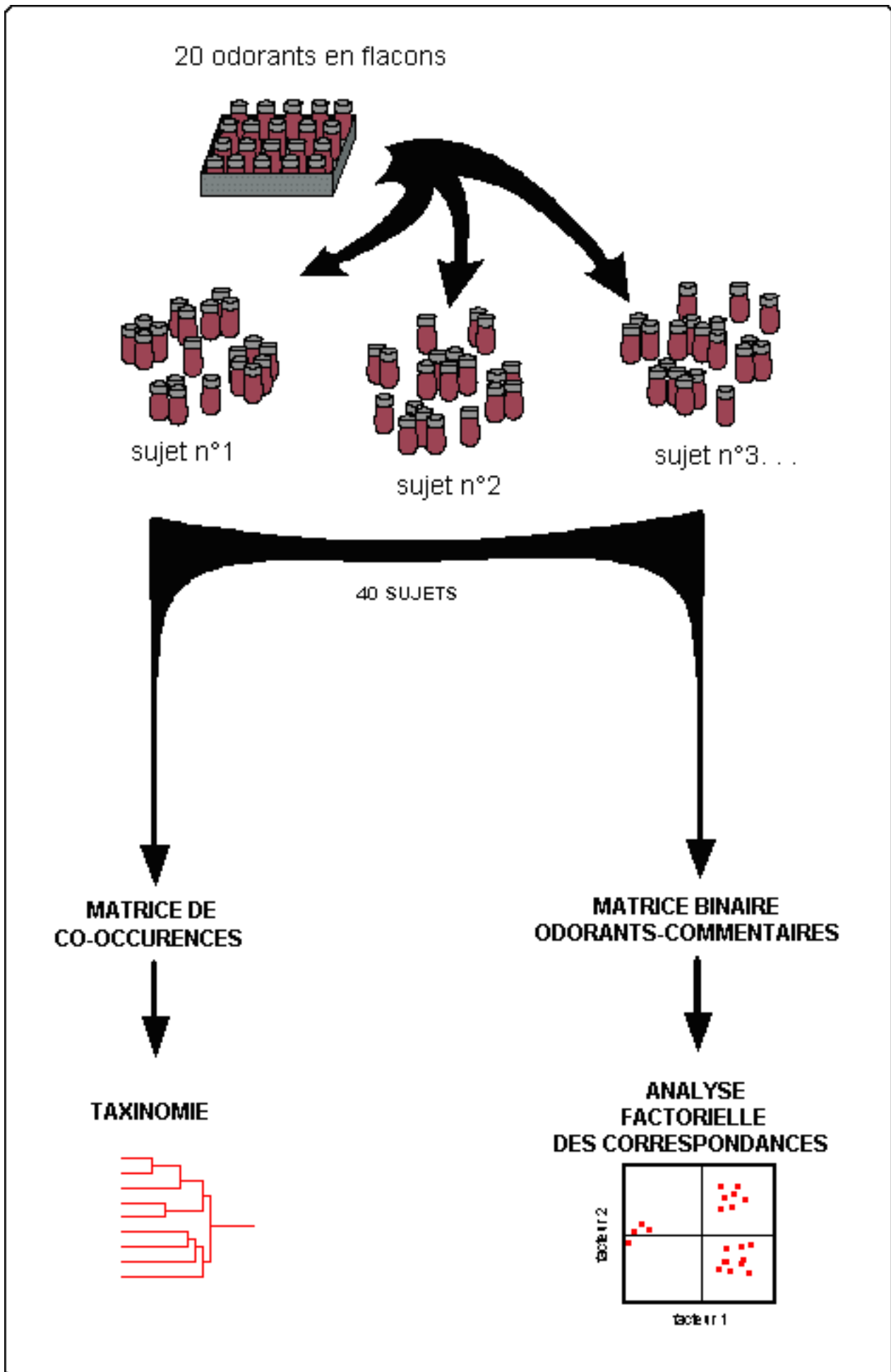
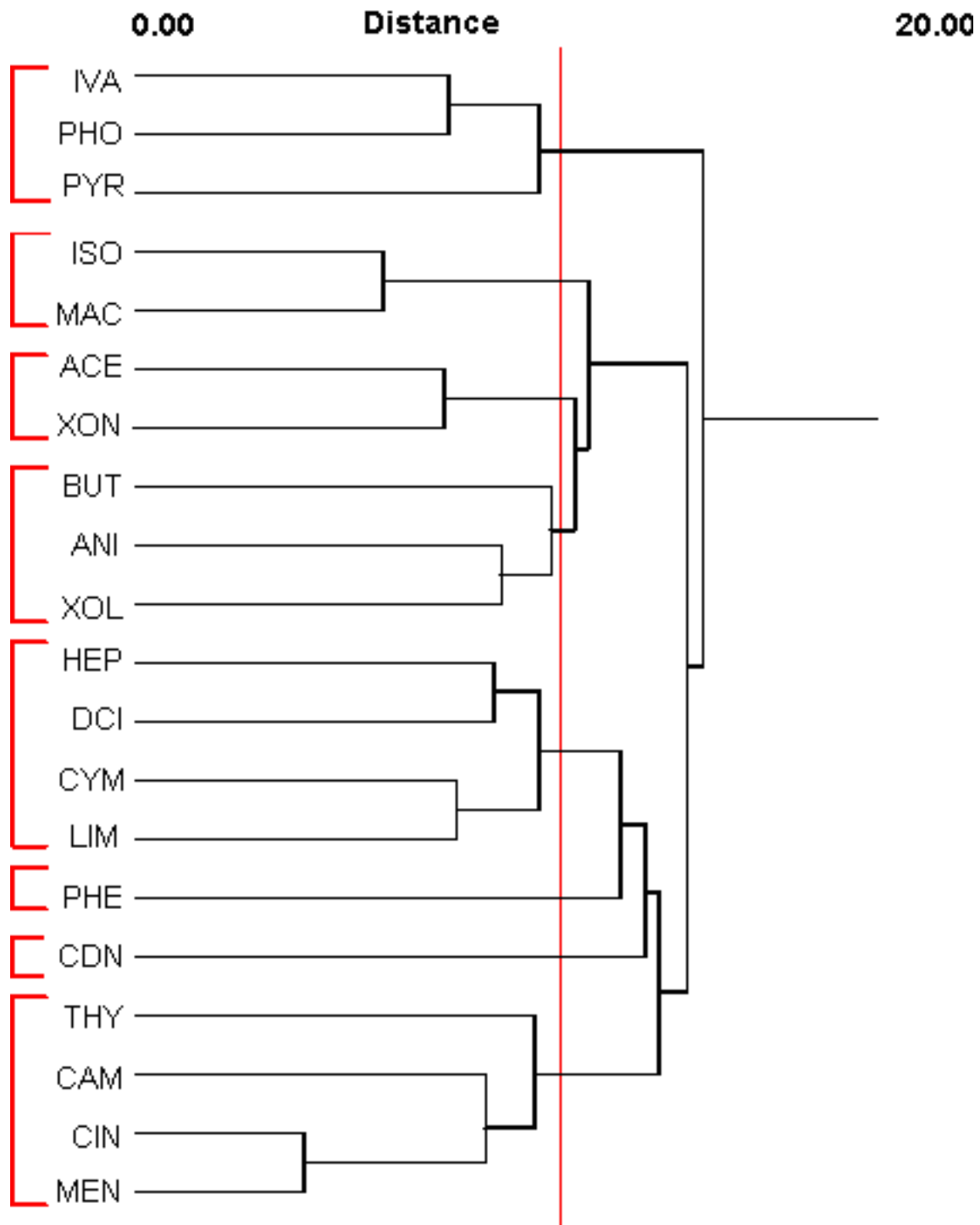


Figure 4: Représentation schématique des méthodes de recueil des données et de leur traitement après l'épreuve de catégorisation.

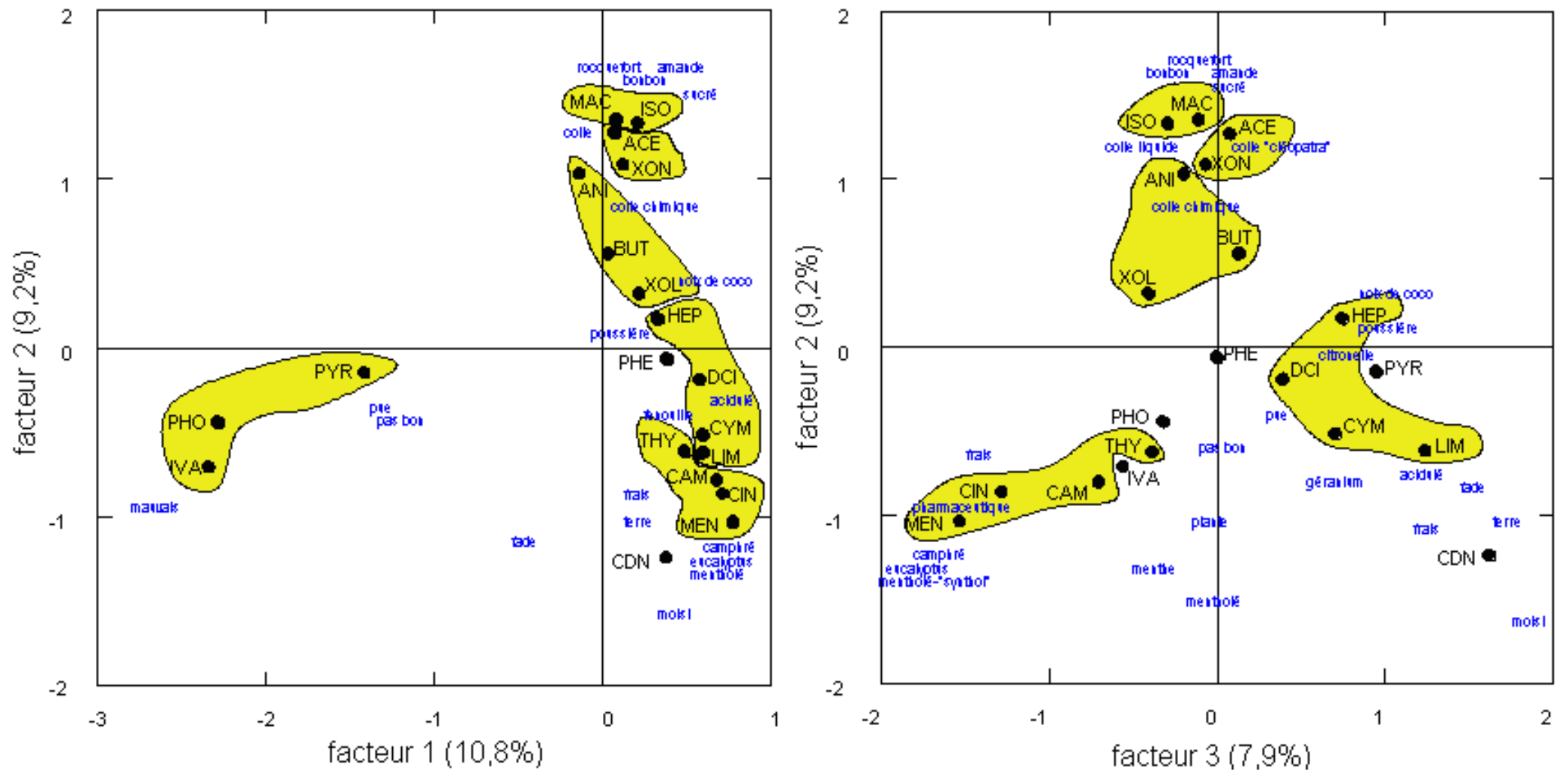
40 sujets ont réalisé, sur la base d'un critère de ressemblance-dissimilitude de 20 composés odorants, des regroupements d'odorants. Les sujets devaient ensuite décrire verbalement chacun de leurs groupes. Les données recueillies ont permis d'établir deux matrices: une mettant en relation les odorants et les qualificatifs de groupes, une autre indiquant la fréquence des cooccurrences de deux odorants dans les groupes. Ces matrices ont été analysées à l'aide de deux méthodes statistiques différentes: l'analyse factorielle des correspondances et la taxinomie. L'analyse factorielle des correspondances permet de décrire l'espace des relations entre les odorants et entre les qualificatifs. L'analyse taxinomique produit un dendrogramme représentatif des relations de proximité des odorants.



**Figure 6:** Dendrogramme résultant du traitement par taxinomie hiérarchique ascendante de la matrice de cooccurrences obtenue d'après les regroupements d'odorants réalisés par 40 sujets. Les odorants, symbolisés ici par leur codes, sont regroupés au fur et à mesure que l'on progresse de la gauche vers la droite dans l'arborescence. La distance horizontale entre deux éléments, odorants ou groupes d'odorants, et le noeud qui les réunit en symbolise la proximité. Ainsi, les branches portant CIN et MEN se regroupent rapidement, ceci reflétant une grande proximité. Par contre, XOL et HEP ne se relient qu'à un niveau élevé de l'arborescence, ce qui représente l'importante distance qui sépare ces deux composés. En décidant de parcourir ce dendrogramme de la gauche vers la droite, on regroupe successivement les odorants. En s'arrêtant à un niveau formant 8 groupes (symbolisé par la ligne verticale rouge), on obtient les regroupements soulignés par les lignes rouges à gauche de la figure.

Liste des codes des odorants:

- |                   |                    |                       |                       |
|-------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| ACE: acétophénone | DCI: D-citronellol | HEP: n-heptanol       | MAC: méthylamylcétone |
| ANI: anisol       | CDN: cyclodécane   | ISO: isoamylacétate   | PHE: phénol           |
| BUT: n-butanol    | XON: cyclohexanone | IVA: ac. isovalérique | PYR: pyridine         |
| CAM: DL-camphor   | XOL: cyclohexanol  | LIM: D-limonène       | PHO: thiophénol       |
| CIN: 1.8 cinéole  | CYM: p-cymène      | MEN: L-menthol        | THY: thymol           |



**Figure 7:** représentation de deux plans factoriels issus de l'analyse des données de catégorisations des 20 odorants par 40 sujets. Sont représentées ici les projections des vingt odorants (en noir) et de quelques qualificatifs (en bleu) sur deux plans définis par les trois premiers facteurs issus de l'analyse factorielle des correspondances (a,b). Les 8 regroupements obtenus par taxinomie sont figurés par les ensembles colorés (mis à part le cyclodécane (CDN) et le phénol (PHE), isolés au niveau de l'arborescence représenté). On note que le premier facteur (plan a) isole trois composés du reste des odorants: la pyridine (PYR), l'acide isovalérique (IVA) et le thiophénol (PHO). Notons aussi que, dans la même région de l'espace sont regroupés des qualificatifs d'ordre déplaisant. Le plan défini par le facteur 1 et le facteur 2 représente 20% de la variance totale (a), celui défini par les facteurs 2 et 3 en représentent 17,1% (b).

ACE: acétophénone  
 ANI: anisol  
 BUT: n-butanol  
 CAM: DL-camphor  
 CIN: 1.8 cinéole

DCI: D-citronellol  
 CDN: cyclodécane  
 XON: cyclohexanone  
 XOL: cyclohexanol  
 CYM: p-cymène

HEP: n-heptanol  
 ISO: isoamylacétate  
 IVA: ac. isovalérique  
 LIM: D-limonène  
 MEN: L-menthol

MAC: méthylamylcétone  
 PHE: phénol  
 PYR: pyridine  
 PHO: thiophénol  
 THY: thymol