

Approche scientifique de l'univers des odeurs par la caractérisation de molécules odorantes

Ing. R. SEVKAN
Dr. Ir N. VELINGS
Dr. Ir. V. JERKOVIC
ISICHT-Mons

Cet article présente un aperçu de la connexion entre la chimie et la parfumerie. Il s'articule en deux parties. La première dresse un état de l'art non exhaustif sur le système olfactif, les conditions de perception olfactive, les dimensions des odeurs ainsi que la description et la classification des odeurs. La deuxième est réservée aux résultats et expose l'étude qui a pour objet d'établir des corrélations entre les caractéristiques physico-chimiques et olfactives à partir de 45 standards sélectionnés.

Mots clés : molécules odorantes, ténacité, intensité olfactive, perception olfactive, seuil de détection de l'odeur, chromatographie en phase gazeuse.

This paper gives an overview of the connection between chemistry and perfumery. It is divided into two parts. The first one provides a non-exhaustive state of the art report on the olfactory system, the olfactory perception conditions, the dimensions, description and classification of odorants. The second part of the article is dedicated to the results and presents the study aiming to establish correlations between the physico-chemical and olfactory characteristics from 45 standards.

Keywords: odorants, tenacity, intensity, olfactory perception, odour threshold, gas chromatography

1. Introduction

L'univers des odeurs exploite depuis des siècles des matières premières odorantes. A l'époque, les odeurs étaient employées à des fins spiritueuses ou thérapeutiques. Mais depuis le 19^{ème} siècle, elles sont exploitées pour l'hygiène et le bien-être de l'homme. Ce siècle marque la naissance de la parfumerie moderne qui se traduit par la synthèse de nouvelles molécules olfactivement intéressantes et n'existant pas à l'état naturel.

Aujourd'hui, les parfums occupent une place importante dans notre société et sur le marché économique mondial. Cet essor et les enjeux économiques qui lui sont liés provoquent des réactions. D'une part, l'engouement de la science qui s'attache à comprendre les mécanismes du système olfactif humain. D'autre part, la chimie qui étudie et développe constamment de nouvelles molécules odorantes consacrées à l'industrie de la parfumerie.

Les odorants peuvent être de nature organique ou inorganique. Toutefois, seuls les composés organiques sont exploités afin de formuler les parfums. Dès lors, la chimie organique dite « fine » constitue les fondements pour l'étude des molécules odorantes nécessaires aux entreprises actives dans le domaine.

Cinquième Sens, situé à Paris, est un organisme de renom spécialisé dans le secteur de la parfumerie. Cette société, axée sur la formation et la création, a été créée en 1976. Elle ouvre ses portes aux profanes et aux néophytes pour partager et transmettre sa passion des odeurs.

2. Etude bibliographique

2.1. Système olfactif

Parmi les cinq sens recensés, l'odorat et le goût font partie des sens que l'on qualifie de chimiques car ils fournissent au cerveau des informations sur les propriétés moléculaires via des stimuli.

Contrairement à certains animaux, l'odorat chez l'humain n'est pas considéré comme étant le sens le plus développé. En effet, le nombre de récepteurs olfactifs présents chez les animaux est de l'ordre du millier alors que l'homme n'en posséderait qu'environ 390 fonctionnels [6]. Cependant, le nez humain dispose de récepteurs olfactifs plus efficaces que la plupart des capteurs physico-chimiques. Cette sensibilité olfactive est d'ailleurs mise à profit en chromatographie en phase gazeuse couplée avec l'olfactométrie afin d'utiliser le nez humain en tant que détecteur sensoriel. Chez un professionnel entraîné, le nez humain peut distinguer jusqu'à 10 000 odeurs. De plus, sa sensibilité est accrue avec un seuil olfactif de l'ordre de la part par million (ppm).

A l'heure actuelle, le système olfactif est encore largement exploré et reste l'un des systèmes sensoriels le moins connu et compris. Cela est en partie dû au fait qu'anatomiquement parlant le sens de l'odorat n'est pas facilement accessible et surtout que la nature chimique des stimuli est très complexe. Néanmoins, depuis une vingtaine d'années, l'intérêt pour le sens de l'odorat ne cesse de prendre de l'ampleur.

Sur base d'une approche biologique, de nombreuses recherches sont réalisées afin de comprendre le fonctionnement du système olfactif. On peut notamment citer les travaux effectués par les chercheurs américains Richard Axel et Linda Buck, en 1991. Ces travaux concernent la découverte de la famille de gènes codant pour les récepteurs olfactifs et des premiers niveaux de traitement de l'information par le système olfactif. En l'occurrence ceux-ci leur ont valu le Prix Nobel 2004 de physiologie [4].

2.2. Conditions de perception olfactive

Dans l'état actuel des connaissances, on considère qu'une molécule est odorante parce qu'elle possède des propriétés particulières : la volatilité, la solubilité dans l'eau et les graisses, la conformation adéquate, et une partie hydrophile et une autre lipophile.

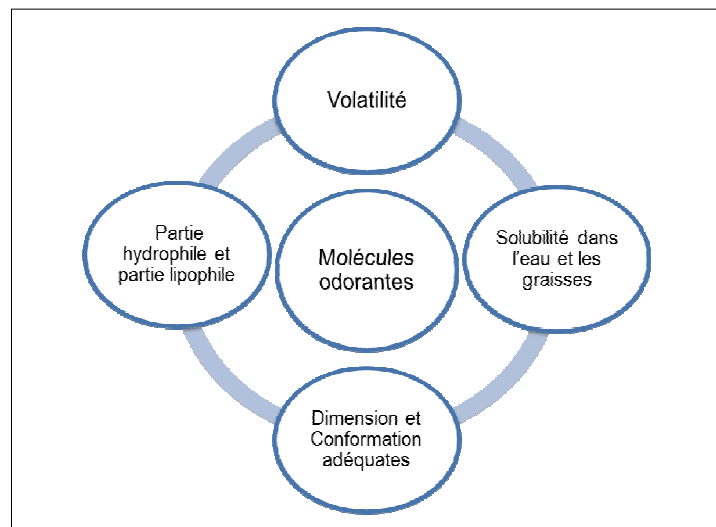


Figure 1 : Conditions de perception olfactive d'une molécule.

Volatilité

La molécule doit être suffisamment volatile pour atteindre les récepteurs olfactifs. Cela implique donc qu'elle doit posséder un poids moléculaire modéré. Une molécule odorante est d'autant plus volatile que son poids moléculaire est faible et que sa tension de vapeur est élevée à température ambiante (ou température d'ébullition faible à pression atmosphérique).

La solubilité dans l'eau et les graisses

Afin d'atteindre les récepteurs olfactifs, site de liaison des molécules odorantes, celles-ci doivent franchir le mucus puis l'épithélium. Pour ce faire, les molécules doivent posséder une certaine solubilité dans l'eau afin de franchir la « première barrière » mais doit également avoir un caractère lipophile afin de passer la « seconde barrière ». Cependant, les molécules odorantes peuvent être acheminées jusqu'au mucus à l'aide de protéines de transport (protéines OBP). Par conséquent, la solubilité dans l'eau n'est pas d'une importance capitale. En revanche, le caractère lipophile des substances odorantes doit être relativement élevé pour permettre leur accès à l'épithélium.

Le coefficient de partage octanol / eau, généralement exprimé sous la forme logarithmique, $\log K_{o/w}$ (ou $\log P$), est une mesure du caractère hydrophobe d'une substance. Il est représenté par l'équation 1 et est défini comme étant le rapport entre la concentration d'un odorant O dans l'octanol et dans l'eau.

$$\log K_{ow} = \log \frac{[O]_{\text{Octanol}}}{[O]_{\text{Eau}}}$$

Equation 1 : Coefficient octanol/eau.

Signification de la formule :

Si le $\log K_{o/w} < 0$, la molécule est plus soluble dans l'eau que dans l'octanol. La molécule sera alors dite hydrophile ou lipophile.

Si le $\log K_{o/w} > 0$, la molécule est plus soluble dans l'octanol que dans l'eau. La molécule sera alors dite lipophile ou hydrophobe.

Si le $\log K_{o/w} = 0$, la molécule a la même affinité pour l'eau que l'octanol.

Dimension et disposition tridimensionnelle des fonctionnalités adéquate

Le site de liaison des récepteurs olfactifs possède une certaine dimension qui limite celle des molécules. En conséquence, les dimensions du site de liaison limite le poids moléculaire d'un odorant donné.

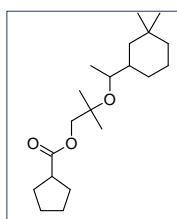


Figure 2 : Odorant ayant le plus haut poids moléculaire connu à ce jour ($C_{10}H_{36}O_3$) [5].

Notons que la disposition tridimensionnelle des fonctionnalités d'une molécule est également très importante. En effet, pour un récepteur donné codant une odeur, il a été mis en évidence, lors d'enquêtes sur les relations structure/odeur, qu'un encombrement stérique important peut devenir gênant et empêcher la liaison avec les récepteurs olfactifs.

Parties hydrophile et lipophile

L'interaction entre la molécule odorante et le récepteur implique à la fois des forces hydrophobes de Van Der Waals et des liaisons hydrogène. Par conséquent, il est nécessaire que la molécule possède une partie hydrophobe (ou apolaire), et une partie hydrophile (ou polaire), accepteuse ou donneuse de liaisons hydrogène. La partie hydrophile correspond aux groupements polaires appelés groupements osmophores (exemples de groupements : carbonyle, ester, hydroxyle, alcoxyle, etc.). Ce sont ces groupements qui sont responsables de l'odeur.

2.3. Dimensions des odeurs

La perception sensorielle d'une odeur compte cinq dimensions : la détection, la qualification, la quantification, l'appréciation et la ténacité.

Détection

Le seuil de détection olfactif fait référence à la concentration minimale d'un stimulus odorant requise pour induire une réponse olfactive.

Qualification

La qualification correspond à la qualité d'une odeur. Elle permet de qualifier une odeur et de la différencier des autres.

Elle dépend des évocations et des émotions liées à l'odeur sentie, ou encore l'association de celle-ci à une série de descripteurs (classes, facettes, etc.).

Quantification

La quantification d'une odeur est plus connue sous le nom d'intensité olfactive. Elle représente la mesure de la grandeur de la sensation perçue pour des concentrations supérieures au seuil de détection olfactif.

L'intensité olfactive est directement liée à l'importance du dosage dans un parfum. Selon l'intensité d'une matière première, on l'utilisera en faible ou forte concentration dans une formulation. L'intensité varie en fonction de la concentration et de la molécule odorante. Une même substance peut présenter, en fonction de sa concentration, une odeur complètement différente. En effet, il a été observé, qu'à concentration supérieure, le nombre de récepteurs olfactifs impliqué dans la perception odorante est plus important. Par conséquent, la variation de la concentration d'un odorant peut changer son code récepteur.

Appréciation

L'appréciation correspond au caractère hédonique d'une odeur. Il s'agit du caractère plaisant ou déplaisant d'une odeur. Cette dimension dépend du temps et de la fréquence d'exposition.

L'appréciation d'une odeur est un attribut hautement subjectif.

Ténacité

La ténacité correspond à la vitesse d'évaporation d'une substance. Afin de l'apprécier qualitativement, il est courant de sentir sur touche les odeurs. Une classification universelle des parfumeurs liée à celle-ci distingue trois grandes notes : notes de tête, de cœur et de fond.

Dans le jargon de la parfumerie, on parlera de la coupe d'un parfum. Lorsque le parfumeur créateur réalise une composition, il va la formuler suivant une méthode basée sur cette coupe se déclinant en trois plans olfactifs comme représentée sur la figure 3.

Lors de l'olfaction instantanée d'un parfum sur touche, on sent toutes les notes. Après 2h, les notes de tête se sont évaporées, il ne reste plus que les notes de cœur et de fond. Après 6h, le parfum ne renferme plus que les notes de fond^{[1][2]}. Il est à noter que certaines molécules de fond présentent une ténacité très élevée pouvant atteindre un temps considérable de quelques semaines voire quelques mois.

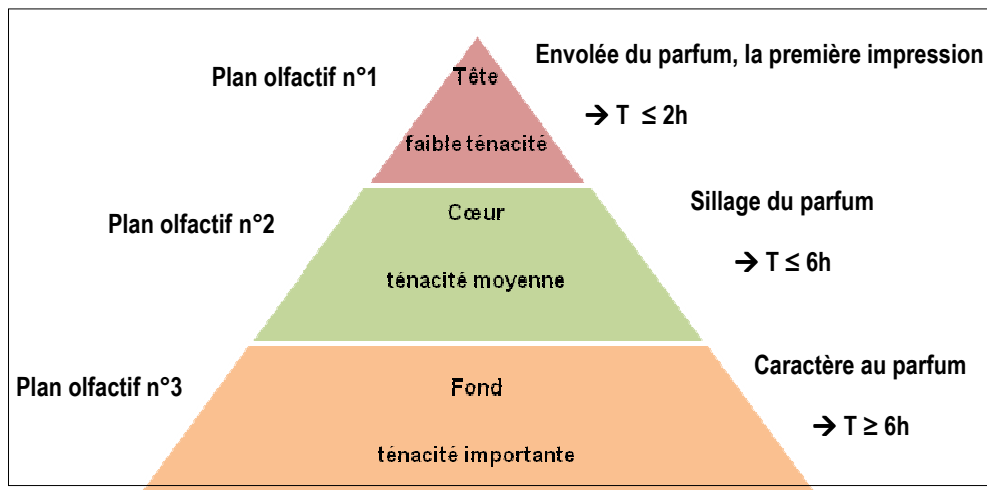


Figure 3 : Coupe d'un parfum.

2.4. Description et classification des odeurs en parfumerie

La description qualitative des odeurs présente un caractère très subjectif. En effet, la caractérisation et la reconnaissance des odeurs est un processus psychologique lié à nos émotions et à notre mémoire. De plus, la physiologie de l'odorat diffère pour chaque individu. La description qualitative des odeurs est généralement basée sur l'emploi de descripteurs et de systèmes de classification (ex : pyramide olfactive de *Cinquième Sens*).

Les classifications sont basées sur l'utilisation de ces descripteurs. Elles permettent de regrouper les odeurs suivant des critères pratiques ou classes (hespéridées, boisées, fruitées, ...) mais ne correspondent à aucune propriété scientifique. Ces classes sont élaborées par des parfumeurs mais ne représentent pas des catégories fermes. Autrement dit, il n'existe pas de vocabulaire fixe ou universel destiné à décrire les odeurs. Chaque entreprise de parfumerie possède son propre langage descriptif et sa propre classification sans pour autant différer fondamentalement. Le nombre de descripteurs et le vocabulaire employés pour les décrire varient en fonction des classifications employées.

En conclusion, la diversité des classifications associées au caractère subjectif de la perception odorante accentue les difficultés concernant la description des odeurs. Chaque parfumeur compose à partir de sa propre classification. En l'occurrence, *Cinquième Sens* emploie un outil de description et de classification des odeurs basé sur la pyramide olfactive regroupant 18 classes ou facettes. Celle-ci est représentée par la figure 4. Dans chaque facette se trouve une multitude de matières premières d'origine végétale ou issues de la synthèse chimique.

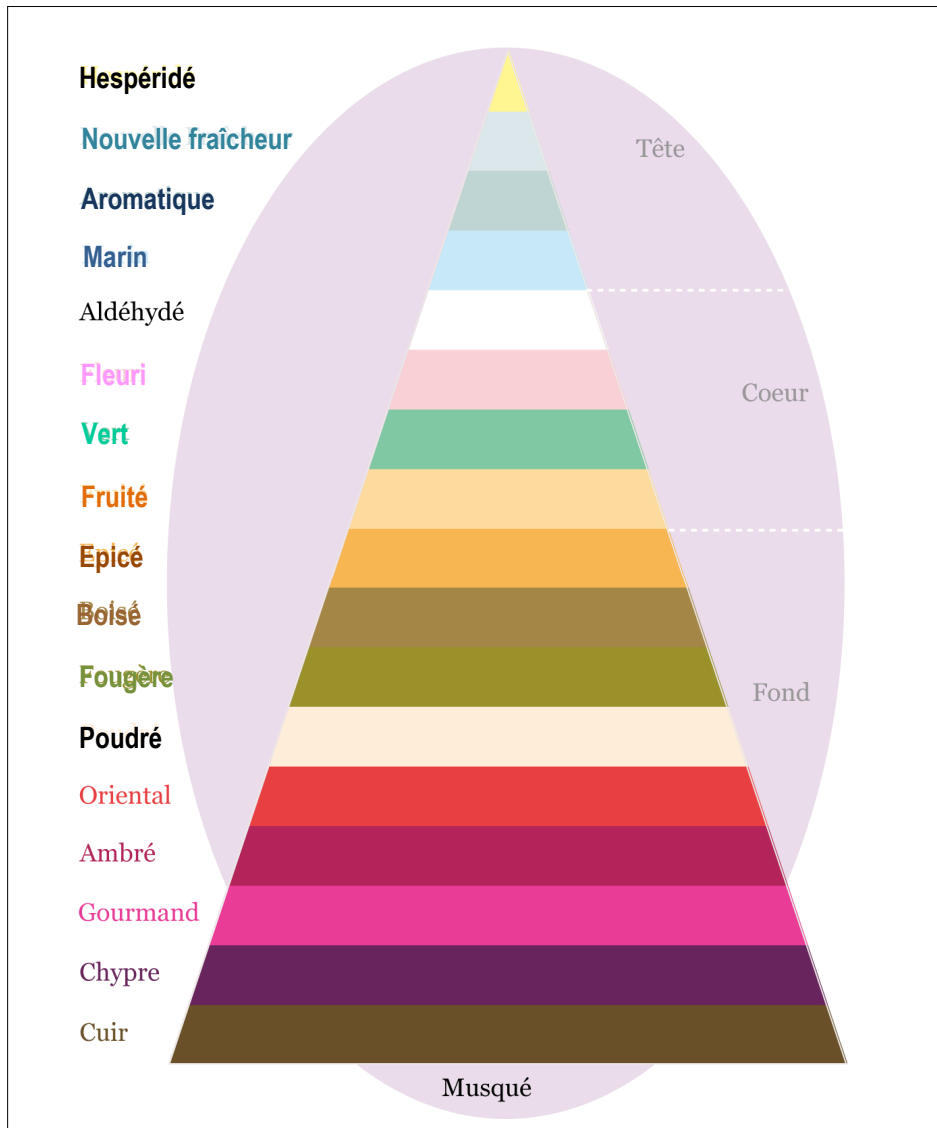


Figure 4 : Pyramide olfactive Cinquième Sens.

3. Résultats

3.1. Choix des standards

La sélection de 45 standards a été réalisée en fonction de leur fréquence d'utilisation en parfumerie, de leurs facettes et de leurs notes olfactives. Le tableau 1 reprend le nom commercial des standards choisis afin de réaliser l'étude. Chaque note comprend 15 standards. Cette classification a été établie à partir de tests de ténacité et non à partir de celle proposée chez *Cinquième Sens*. Les 45 standards ont été mis sur touche afin d'évaluer leur temps d'évaporation et de les classer ensuite selon les trois notes. Pour chacune d'elle, un intervalle de temps a été fourni par un parfumeur-créateur expérimenté. Rappelons que les notes de tête persistent jusqu'à 2 heures, celles de cœur jusqu'à 6 heures et au-delà pour celles de fond [1]. Ce test de ténacité relève une certaine subjectivité et variabilité.

Notes de tête	Notes de cœur	Notes de fond
Acétate benzyle	Acétate géranyle	Vanilline
Acétate cis-3-hexenyle	Aldéhyde C18	muscone
Acétate de décyle	Allyl amyl glycolate	maltol
Acétate éthyle	Allyl 3-cyclohexylpropionate	indol
Acétate linalyle	Alcool Phényléthylique	heliotropine
Acétate hékyle	Berryflor	Ethyl vanilline
Acétate isoamyle	Caproate d'allyle	eugénol
Amarocite	Citral lenarome N	Coumarine
Canthoxal	Claritone	Ethyl maltol
Ethyl methyl 2 butyrate	Dihydromyrcenol	cetone alpha
Hexenol cis-3	Hedione	Buccoxime
L-carvone	heptanoate d'allyl	Calone
Limonène	Néobuténone alpha	Ambrettolide
Méthylheptenone	Toscanol	Ambroxan
myrcenol super	Decalactone	Anthranilate de méthyle

Tableau 1 : Nom commercial des 45 standards.

Les valeurs des paramètres sélectionnés ont été regroupées dans un tableau. Elles ont été récoltées dans diverses sources bibliographiques [6] [7] [8] [9] [10], à partir de la classification *Cinquième Sens* [1] [2] et par analyses qualitatives.

La technique analytique sélectionnée pour caractériser les composés odorants est la chromatographie en phase gazeuse. Deux appareillages chromatographiques ont été employés, l'un couplé à la spectrométrie de masse (GC-MS) et l'autre à un détecteur à ionisation de flamme (GC-FID).

Les paramètres sélectionnés pour les 45 standards sont repris par le tableau 2 qui se décline en trois parties : les paramètres d'identification, physico-chimiques et olfactifs. Ils ont été étudiés afin d'en dégager diverses relations.

Paramètres d'identification	Paramètres physico-chimiques	Paramètres olfactifs
<ul style="list-style-type: none"> • Noms commercial • Nom IUPAC/N°CAS • Formule brute/développée • Classe chimique • Fonction chimique 	<ul style="list-style-type: none"> • Poids moléculaire (g/mol) • Température d'ébullition normale (°C) • Tension de vapeur à 25°C (Pa) • Concentration dans l'eau (kg/m³) • coefficient de partage octanol/eau • Ions majoritaires • Temps de rétention réduits GC-MS et GC-FID • Seuil de détection d'odeur (kg/m³) 	<ul style="list-style-type: none"> • facette /note olfactive de Cinquième Sens • intensité olfactive à 5% dans l'alcool • note olfactive (test de ténacité sur touche) • description olfactive à 5% dans l'alcool

Tableau 2 : Caractéristiques des standards.

N.B. : Le diéthylphtalate (DEP) est présent sur chaque chromatogramme puisqu'il fait partie de la composition du solvant. Sa présence dans les mêmes conditions (mêmes conditions d'analyse et même colonne chromatographique) et dans chaque standard permet son emploi comme standard interne afin de déterminer des temps de rétention réduits. Ces derniers sont déterminés à partir du rapport entre le temps de rétention du standard et celui du DEP pris comme standard interne. L'intérêt d'employer les valeurs relatives est de minimiser les erreurs expérimentales.

Les seuils de détection de l'odeur ont été estimés par un modèle théorique [6] afin de pallier à la variabilité ou à la non disponibilité des seuils de détection récoltés dans la littérature.

3.2. Relations paramètres physico-chimiques / olfactifs

L'objectif de cette étude est de repérer des propriétés permettant de caractériser la ténacité et l'intensité olfactives d'odorants à partir de relations entre les paramètres physico-chimiques et olfactifs.

Pour les relations concernant la ténacité et donc les notes olfactives, six paramètres physico-chimiques ont été employés : le poids moléculaire, la température d'ébullition normale, la tension de vapeur à température ambiante, le seuil de détection estimé, le logarithme du coefficient de partage et les temps de rétention réduits. En effet, la volatilité d'une molécule étant une des conditions nécessaire pour la sentir, les propriétés liées à celle-ci telles que le poids moléculaire, la température d'ébullition normale et la tension de vapeur ainsi que le diagramme des phases seront mises en relation avec la ténacité. La polarité a également été mise en relation, par l'intermédiaire du coefficient de partage octanol/eau et des temps de rétention réduits obtenus par chromatographie en phase gazeuse. En effet, la polarité reflète les forces moléculaires responsables de la cohésion. Enfin, le seuil de détection de l'odeur estimé a été corrélé avec la ténacité. Concernant l'intensité olfactive, une relation a été proposée avec le seuil de détection d'odeur estimé.

Après étude de ces relations, la tension de vapeur, le temps de rétention réduit et le seuil de détection des odeurs estimé se sont avérés être indicateurs de la note olfactive d'une molécule odorante comparé aux autres qui ne fournissent pas une indication claire. Parcourons la relation ténacité olfactive/ paramètres physico-chimiques ainsi que les interprétations personnelles concernant le diagramme des phases et la relation liant le seuil de détection d'odeur estimé et l'intensité olfactive.

Ténacité olfactive

Les relations étudiées entre la température d'ébullition, la tension de vapeur et le seuil de détection d'odeur estimé avec la ténacité permettent de dégager les valeurs moyennes de ces 3 paramètres physico-chimiques pour chaque note olfactive. Ces valeurs sont reprises dans le tableau et servent à déterminer la note d'une molécule odorante donnée. Pour une molécule odorante de ténacité inconnue, à partir des 3 valeurs connues de tension de vapeur, du temps de rétention réduit et du seuil de détection d'odeur, sa note olfactive peut être déterminée en comparant ces valeurs avec celles des moyennes reprises dans le tableau 3.

Indicateurs de la ténacité	Notes de tête	Notes de cœur	Notes de fond
Pression de vapeur saturante (P^S_o en Pa)	1261,62	13,30	2,11
Temps de rétention réduit (Tr) du GC-MS	0,56	0,80	0,89
Seuil de détection estimé ((SDO)e en mg/m^3)	2,84	0,12	0,01

Tableau 3 : Indicateurs de la ténacité d'une molécule odorante.

N.B. : Il est important de souligner que la gamme des pressions de vapeur, pour les 45 standards, s'étend de 0,02 Pa (*muscone*) à 14932 Pa (*acétate d'éthyle*). Concernant les temps de rétention réduits, la gamme s'étend de 0,118 (*acétate d'éthyle*) à 1,209 (*ambrettolide*). Finalement, l'étendue du seuil de détection estimé est comprise entre 0,0001 (*muscone*) et 25 (*acétate d'éthyle*).

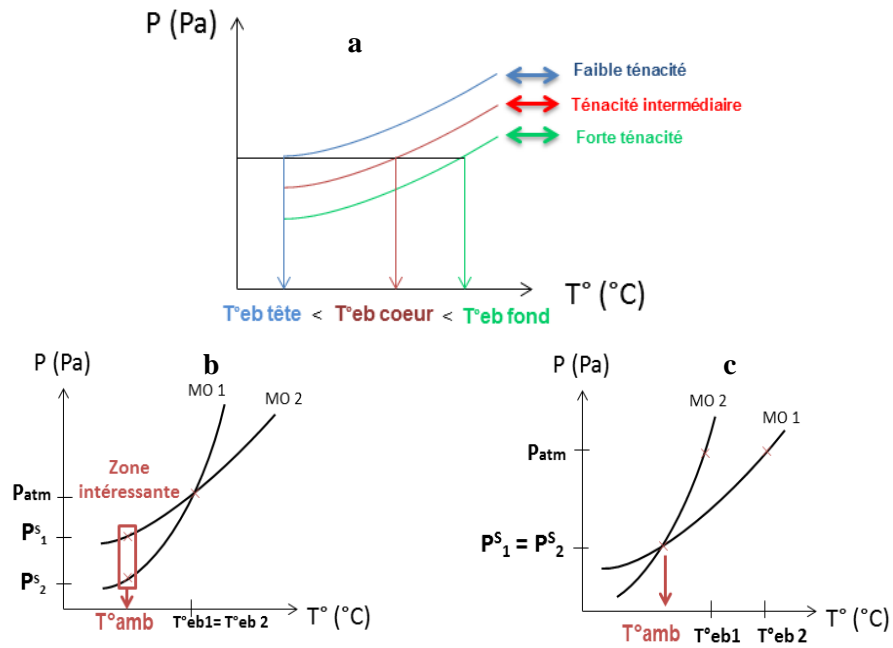
Diagramme des phases

Les graphiques présentés dans cette section ont été déduits d'observations réalisées sur base des relations liant la température d'ébullition normale et la tension de vapeur à la ténacité.

Le graphique 1-a fournit le profil des courbes d'équilibre liquide-vapeur pour chaque note. Comme l'illustrent ces équilibres, plus la ténacité d'une molécule odorante (MO) est importante, plus sa tension de vapeur à température ambiante est faible ; et inversement. Il est important de noter que pour une même tension de vapeur, la température d'ébullition correspondante est, en général, moins importante pour une note de tête que pour une note cœur et de fond. Ce graphique n'est bien évidemment pas une règle fixe et applicable tout le temps car 2 cas particuliers sont à prendre en considération.

Tout d'abord, le cas où 2 molécules différentes possèdent la même température d'ébullition à pression atmosphérique, leur volatilité est donc la même à l'intersection des 2 courbes d'équilibres liquide-vapeur (voir graphique 1-b). En revanche, à température ambiante, les pressions de vapeur ne sont plus identiques et donc leur volatilité est différente. De part et d'autre de l'intersection des 2 courbes d'équilibre liquide-vapeur, il y a inversion de la volatilité.

Dans la même optique, 2 molécules odorantes différentes peuvent avoir une même pression de vapeur saturante à température ambiante, leur volatilité est donc identique à l'intersection des 2 courbes d'équilibres (voir graphique 1-c). Notons, que sur tout autre point de la courbe, la volatilité entre ces deux molécules diffère. De part et d'autre de l'intercepte des deux courbes, il y a inversion de la volatilité. Le parfumeur doit prendre en considération ces variations de la volatilité.



Graphique 1 : Interprétations personnelles

a) profil de la courbe d'équilibre liquide-vapeur des notes de tête, de cœur et de fond.

b) tracé des courbes d'équilibre liquide-vapeur pour des molécules possédant une même température d'ébullition à pression atmosphérique.

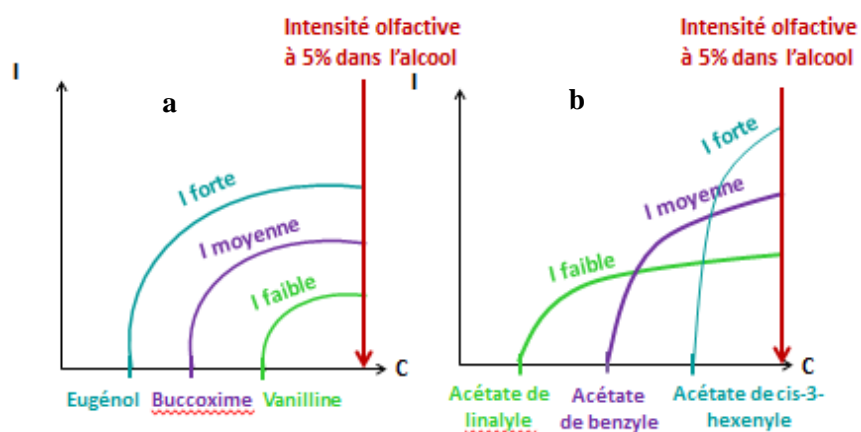
c) Profil des courbes d'équilibre liquide-vapeur pour des molécules possédant une même pression de vapeur à température ambiante.

Intensité olfactive

La question soulevée à travers la relation liant l'intensité olfactive au seuil de détection d'odeur est la suivante : peut-on estimer l'intensité d'un odorant à partir du seuil de détection d'odeur ?

Dans le but de répondre à cette question, prenons l'intensité olfactive (I) pour une concentration donnée (C) et le seuil de détection d'odeur estimé, (SDO)_e, de 6 standards. Plaçons ces points dans un graphique $I=f(C)$ et observons les courbes rejoignant les 2 points pris pour chaque standard.

Les graphiques 2-a et 2-b illustrent le fait qu'à partir du seuil de détection, il n'est pas possible de prédire l'évolution croissante de la courbe. En effet, dans le graphique 2-a, un odorant fortement intense tel que l'*eugénol* possède un seuil de détection plus faible qu'un odorant moyennement (*buccoxime*) ou faiblement intense (*vanilline*). Ce graphique confirme les intuitions. En revanche, le graphique 2-b les infirme puisque dans ce cas-ci, l'odorant ayant la plus grande intensité (*acétate cis-3-hexenyle*) possède le plus haut seuil de détection.



Graphique 2 : Tracé personnel des courbes de l'intensité en fonction de la concentration de 6 standards.

4. Conclusion et perspectives

Après immersion dans l'univers des parfumeurs, la chimie est peu rencontrée mais constitue pourtant l'un des piliers de la parfumerie et de l'olfaction. La mission poursuivie à travers ce travail était d'établir un rapport entre la chimie et la parfumerie. L'examen des relations étudiées révèle qu'il est très complexe d'allier la chimie aux paramètres olfactifs. Néanmoins, 3 indicateurs de la note olfactive ont été dégagés.

Concernant les perspectives, ce travail s'est restreint à l'étude de 45 standards mais il est certain que pour obtenir une étude plus représentative, l'augmentation du nombre d'échantillons doit être envisagée. En pratique, les molécules odorantes sont généralement employées dans des formulations telles que les parfums. Dès lors, il serait utile de compléter ce travail par l'étude des mêmes molécules mais, cette fois, employées en mélange. Les paramètres étudiés dans ce cadre seraient alors la concentration et le nombre de standards exploités dans une composition. Ensuite, la validation des diagrammes de phases pourrait être envisagée. Et finalement, il faudrait procéder à des études complémentaires pour valider la relation intensité olfactive en fonction de la concentration.

Certains pourraient croire que, comme l'a dit Ernest Polak en 1983, « la qualité d'une odeur comme telle n'est pas définissable en termes scientifiques ». Cependant, d'énormes progrès ont déjà été réalisés, notamment grâce à Richard Axel et Linda Buck qui ont découvert les gènes codants des récepteurs olfactifs, et même si le chemin semble encore assez long, la science arrivera certainement à répondre aux interrogations liées à l'olfaction et aux interactions molécule-récepteur.

5. Remerciements

Mes remerciements vont à Mme *I. FERRAND* pour m'avoir accueillie au sein de la société *Cinquième Sens*.

6. Sources

- [1] CINQUIEME SENS 2011, *Initiation à la technique de la parfumerie et au langage des odeurs*, Paris, Cinquième Sens.
- [2] CINQUIEME SENS, *Initiation laboratoire*, Paris, Cinquième Sens.
- [3] HOLLEY A., 2011, *Année Internationale de la Chimie : De la chimie du parfum à la biologie de l'odorat*, Strasbourg: Université de Strasbourg.
- [4] MEIERHEINRICH U., GOLEBIOWSKI J., FERNANDEZ, X., & CABROSS-BASS D., 08-09/2005, *De la molécule à l'odeur*, pp. 29-40.
- [5] OHLOFF G., PICKENHAGEN W., & KRAFT P., 2011, *Scent and Chemistry: the molecular word of odor*, Zürich, VHCA/WILEY-VCH.
- [6] RODRIGUEZ O., TEIXEIRA, M., & RODRIGUEZ, A., 2011, *Prediction of odour detection threshold using coefficient partition*, J. Wiley Éd., Flavour and Fragrance Journal, 421-428.
- [7] KRAFT P., & SWIFT K., 2005, *Perspectives in Flavor and Fragrance Research*, Zürich, WILEY-VCH.
- [8] 3M occupational Health and Environmental Safety Dv, 2010, *Respirator Selection Guide*, Ontario (Canada).
- [9] K., GARBE, D., & SURBURG H., 2001, *Common Fragrances and Flavor Materials*, Allemagne, WILEY-VCH.
- [10] VAN GEMERT L., 2003, *Odor thresholds*, Zeist: Oliemans Punter & Parters BV.