

A. SKALLI

**Discrimination olfactive, variation entre sujets
et effets séquentiels dans une expérience
sur les odeurs de chats**

Les cahiers de l'analyse des données, tome 11, n° 2 (1986),
p. 185-200

http://www.numdam.org/item?id=CAD_1986__11_2_185_0

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1986, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Les cahiers de l'analyse des données » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

DISCRIMINATION OLFACTIVE, VARIATION ENTRE SUJETS ET EFFETS SÉQUENTIELS DANS UNE EXPÉRIENCE SUR LES ODEURS DE CHATS

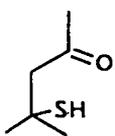
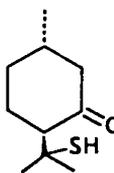
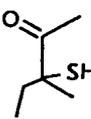
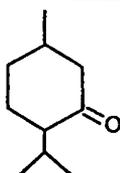
[ODEUR CHAT]

par A. SKALLI*

0 L'expérience : Conçue initialement pour étudier les similitudes olfactives entre certaines substances, l'expérience a recueilli des données assez abondantes pour permettre d'analyser les différences entre sujets et de déceler certains liens entre la réponse fournie à un stimulus et le couple stimulus réponse précédent.

0.1 Les stimuli odorants : Quatre des substances utilisées sont des molécules organiques comportant le groupement fonctionnel *mercaptan* (-SH) et dégageant une odeur capable d'induire sous certaines conditions, un stress chez le rat (R1). Pour les hommes ces odeurs rappellent celles de l'urine de chat. On y a adjoint le menthone dont l'odeur est tout à fait différente mais qui dans l'expérimentation fournit aux sujets un terme de référence.

Plus précisément, comme on le voit sur la figure, trois des substances à odeur de chat (désignées par les lettres a, b, d) possèdent à la fois le groupement mercaptan (-SH) et le groupement (C=O) à

		
<p>4-MERCAPTO-4-METHYL- 2-PENTANONE (a)</p>	<p>trans-8-MERCAPTO- p-MENTHAN-3-ONE (b)</p>	<p>3-MERCAPTO-3-METHYL- 2-PENTANONE (d)</p>
<p>[ODEUR CHAT] § 0.1</p> <p>formules chimiques des stimuli odorants</p>		
	<p>MENTHONE (e)</p>	<p>t-AMYL MERCAPTAN (c)</p>

(*) Laboratoire de statistique de l'université Pierre et Marie Curie.
Maître assistant E.M.I. - Rabat.

l'intérieur d'une chaîne : ce sont des mercapto-kétones ; la quatrième (c) est un mercaptan (sans groupement C=O), et on s'interrogeait sur la similitude olfactive, pour l'homme entre cette substance (c) et les trois autres (a, b, d). On notera de plus que la substance (b), ne diffère du menthone (e) que par l'adjonction du groupement mercaptan (-SH).

0.2 Choix des sujets : 8 sujets, (6 femmes âgées de 21 à 31 ans et 2 hommes âgés de 23 et 26 ans) ont été choisis parmi 15 candidats d'après les résultats de deux épreuves d'aptitude ; la première qualitative, la deuxième quantitative.

Pour la première épreuve, on présente d'une part au sujet une série de flacons sans indication de nom, contenant des solutions différentes de produits odorants familiers ; et d'autre part, une série de noms-clé. Le sujet après avoir reniflé les flacons, doit attribuer le nom correct à chaque solution.

Pour l'épreuve quantitative, on demande au sujet candidat d'aligner une série de dilutions de n-butanol dans l'ordre des intensités décroissantes. La quotation de l'épreuve est basée sur le test des rangs de Kramer (Kramer & col. 1974).

0.3 Protocole expérimental : Après deux séances consacrées à l'apprentissage et à la familiarisation avec les cinq substances odorantes, suivent, pour chaque sujet, cinq séances (à raison d'une par jour) dont les données seront retenues ; chaque séance commençant encore par un rappel pour que le sujet se rémémore les cinq odeurs.

Au cours d'une séance, on présente au sujet, sans indication, 15 flacons contenant 100 ml de solution, où chacun des 5 odorants (a, b, c, d, e) figure 3 fois sous 3 concentrations différentes (co/2) (co), (2co).

Les flacons sont disposés aléatoirement en 3 groupes, de 5 échantillons chacun. Le sujet doit identifier le produit afférent à chaque échantillon (sans référence à d'éventuelles différences de concentration). L'expérimentateur ne confirme, ni n'infirmes la réponse.

Les sujets observent une pause de 20 secondes entre deux flacons successifs d'un même groupe ; et une pause de 2 minutes entre deux groupes de cinq. Suit une pause de 10 minutes, au cours de laquelle les flacons sont à nouveau disposés aléatoirement ; et l'on répète le protocole déjà réalisé une première fois.

Ainsi en 5 séances, chaque sujet se voit au total présenter 30 fois chacune des 5 substances odorantes : à ces 150 stimulations, il fournit autant de réponses.

1 Discriminabilité des cinq substances odorantes : En cumulant sans distinction de sujet ni de rang les 1200 couples stimulus-réponse enregistrés au cours de l'expérimentation, on constitue un tableau $St \times Rp$, (5x5), ou matrice de confusion avec à l'intersection de la ligne SX et de la colonne RY, le nombre de fois qu'à une présentation du stimulus odorant X, a été donnée la réponse Y.

Chacune des lignes de ce tableau a pour total 240 (5 x 6 = 30 présentations à chacun des 8 sujets) ; et bien que la matrice de confusion ne soit pas rigoureusement symétrique, (fait sur lequel nous reviendrons) les totaux des colonnes s'écartent peu de 240.

L'examen direct du tableau 5x5, et les résultats de l'a. des correspondances apportent des résultats concordants.

MATRICE DE CONFUSION :

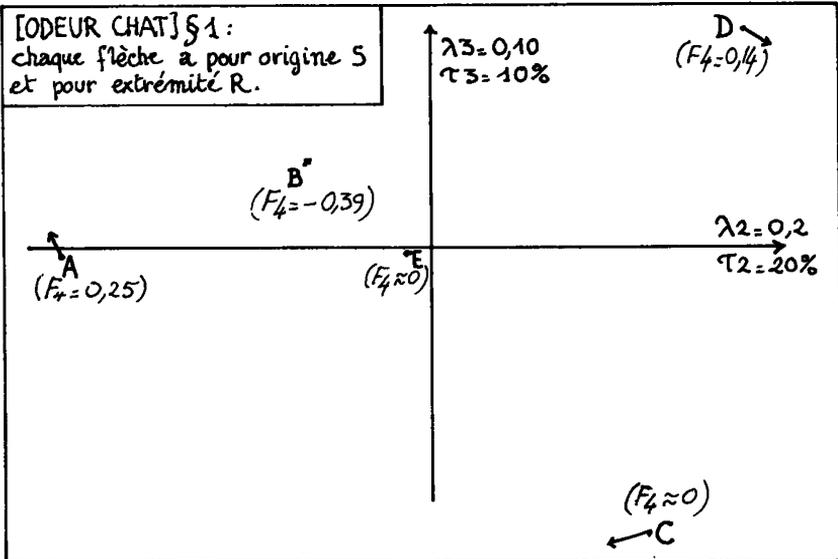
ident.	RA	RB	RC	RD	RE	TOTAL
SA	122	54	37	18	9	240
SB	54	101	37	39	9	240
SC	25	35	119	50	11	240
SD	24	40	40	123	13	240
SE	6	7	10	13	204	240
TOTAL	231	237	243	243	246	1200

[ODEUR CHAT]

VAL PROPRE	POURCENT	CUMUL	!
0.63990	64.456	64.456	!
0.20573	20.723	85.179	!
0.10057	10.130	95.309	!
0.04657	4.691	100.000	!

I1	POID	INR	1#F	COR	CTR	2#F	COR	CTR	3#F	COR	CTR	4#F	COR	CTR
SA	200	151	453	273	54	-595	644	470	-22	1	1	248	82	265
SB	200	133	431	449	58	-233	131	53	159	61	50	-386	359	639
SC	200	121	377	236	44	398	262	154	-550	502	602	-8	0	0
SD	200	129	337	177	35	575	516	322	418	272	347	149	35	96
SE	200	515	-1593	999	793	-45	1	2	-5	0	0	-4	0	0
	1000		1000			1000			1000			1000		1000

J1	POID	INR	1#F	COR	CTR	2#F	COR	CTR	3#F	COR	CTR	4#F	COR	CTR
RA	193	152	468	279	66	-705	635	466	30	1	2	258	85	274
RB	193	84	440	458	60	-227	122	50	164	63	53	-389	357	640
RC	203	117	386	259	47	323	181	102	-567	560	648	-2	0	0
RD	203	135	332	166	35	621	582	380	385	223	298	140	30	35
RE	205	511	-1573	999	792	-51	1	3	-5	0	0	-4	0	0
	1000		1000			1000			1000			1000		1000



Le stimulus SE (menthone) choisi précisément pour s'opposer aux autres odorants, est l'objet de 36 réponses fausses seulement ; et la réponse RE n'est donnée que 42 fois après des stimuli (SA, SB, SC, SD) "à odeur de chat". Sur l'axe 1, SE et RE très à l'écart du côté $F1 < 0$, s'opposent aux éléments situés du côté $F1 > 0$. (Sur les autres axes, SE et RE s'écartent peu de l'origine).

Quant aux stimuli à odeur de chat, on voit sur la diagonale de la matrice de confusion (5x5) qu'ils sont bien individualisés ; même s'il y a entre eux d'assez nombreuses confusions. Pour les stimuli SA, SC, SD la réponse correcte est donnée une fois sur 2* ; pour SB la proportion est un peu plus faible. On peut pour chaque couple (X,Y) d'odorants calculer un indice de similitude $Sym(X,Y)$ qui est la somme $k(SX,RY) + k(SY,RX)$ des associations établies entre eux par confusion : il vient :

$Sym(A,B) = 108$; $Sym(A,C) = 62$; $Sym(A,D) = 42$; $Sym(B,C) = 72$;
 $Sym(B,D) = 79$; $Sym(C,D) = 90$.

Ceci suggère une opposition entre les deux paires (A,B) et (C,D) ; la proximité étant un peu plus grande entre A et B qu'entre C et D ; et la distance maxima étant celle entre A et D.

Ces suggestions s'accordent parfaitement avec celles du plan (2,3) de l'a. des corr. . On notera qu'à l'analyse les points SX et RX de même nom sont presque superposés ; comme si le tableau analysé était rigoureusement symétrique. Avec les nombres de présentation des stimuli réalisés dans cette expérience, il n'est sans doute pas possible d'affirmer qu'il y a une dissymétrie significative. La différence la plus frappante est celle entre :

$k(SA, RC) = 37$ et $k(SC, RA) = 25$;

si on admet selon la règle poissonnienne que les nombres entiers sont connus avec un écart type égal à leur racine carrée, cette différence n'est pas significative.

En principe, il ne serait pas invraisemblable que la loi de confusion fût dissymétrique. En effet la réponse RY est donnée au stimulus SX non seulement du fait de la similitude entre X et Y (laquelle est jugée par le mathématicien égale à celle entre Y et X...) mais aussi du fait de la concurrence des autres réponses possibles ; lesquelles ne sont pas distribuées autour de X de la même façon qu'elles le sont autour de Y.

Il n'en serait pas moins imprudent de tenter un modèle (de type gravitaire, par exemple) pour calculer une matrice dissymétrique de confusion ; à partir d'une matrice symétrique de distance. En fait d'une part, on ne sait pas répondre aux questions les plus simples, telles que : "que deviendrait la matrice de confusion si le stimulus de contraste E était éliminé de l'expérience?" ; d'autre part la diversité et la complexité des comportements des sujets, révélées par les analyses ultérieures, interdisent de raisonner simplement en termes de distance entre stimuli.

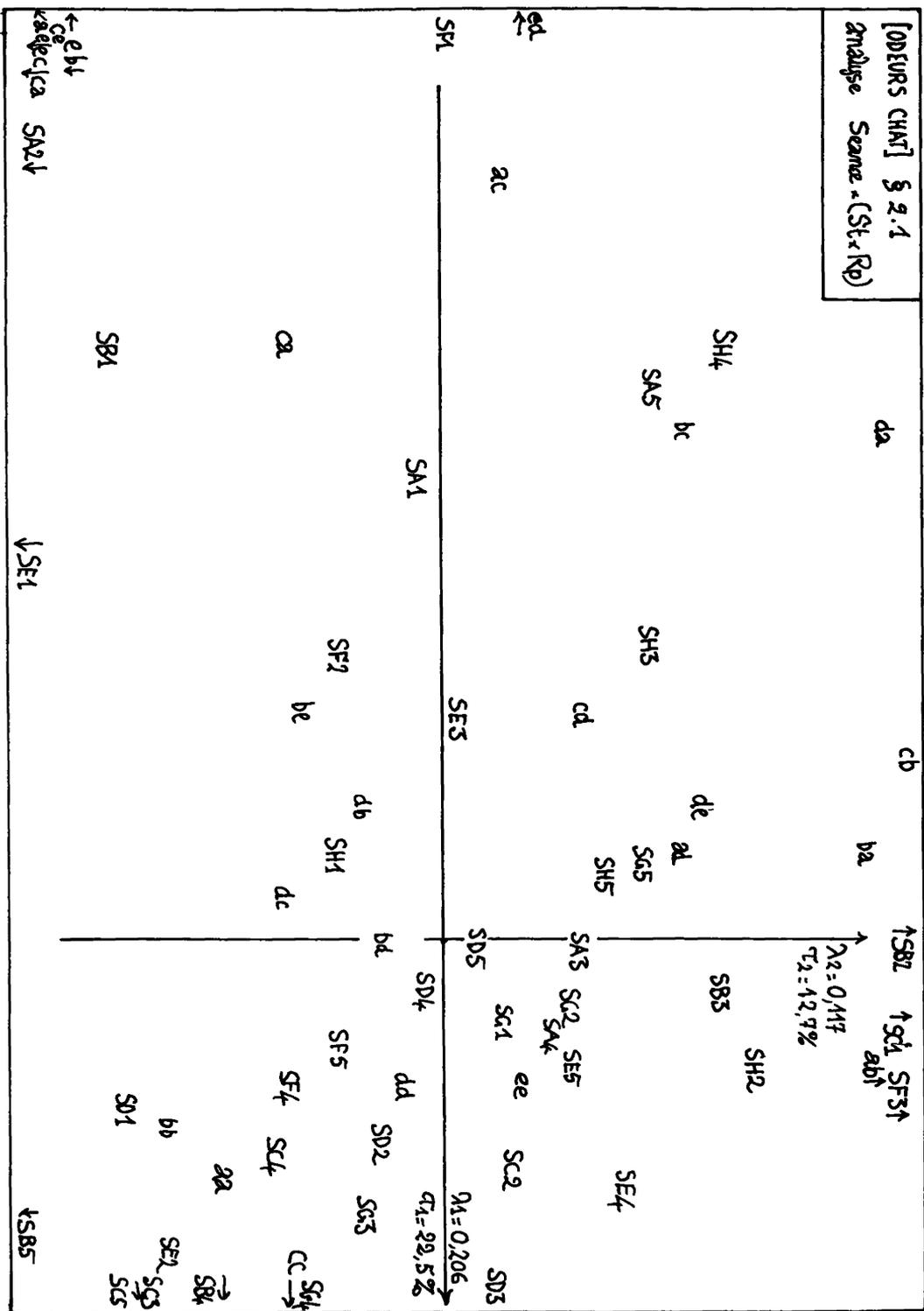
Quant à la structure chimique, la proximité entre A et B peut s'expliquer, par la présence des groupements (-SH) et (C=O) en même position bêta dans ces deux molécules ; tandis que dans C (C=O) manque ; et dans D, il est en position alpha.

2 Diversité et instabilité des comportements des huit sujets

Si l'on ne tient pas compte des effets séquentiels (d'ailleurs très importants ; et dont l'étude fait l'objet du § 3), le comportement d'un sujet au cours d'une séance consiste à fournir au total

(*) Si la réponse était donnée au hasard, la fréquence serait de 1 sur 5.

[ODEURS CHAT] § 2.1
Analyse Seconde (St+Rp)



30 couples stimulus-réponse, chaque stimulus ayant été présenté 6 fois. Comme il y a 25 couples St-Rp différents possibles, on ne peut d'après 30 occurrences estimer les fréquences d'apparition de chaque couple au cours d'une séance. Cependant les résultats de l'analyse montrent qu'il vaut la peine de considérer le profil de chaque séance sur l'ensemble des (St×Rp) 25 couples.

De façon précise, les huit sujets étant désignés par les lettres de A à H, on désigne une séance par la lettre du sujet qui y a participé suivie du chiffre (de 1 à 5) exprimant le rang de la séance pour ce sujet. Ainsi l'ensemble des 40 séances est (Su×Rg).

$$(Su \times Rg) = \{A1, \dots, A5 ; B1, \dots, B5 ; C1, \dots, C5 ; \dots; H1, \dots, H5\}.$$

Un couple stimulus-réponse est désigné par la succession des deux lettres (en minuscules) associées respectivement à l'odorant présenté, et à celui qu'on a cru reconnaître ; soit :

$$(St \times Rp) = \{aa, ab, \dots, ae ; ba, bb, \dots, be ; ca, \dots, ce ; da, \dots, dd, de ; ea, \dots, ee\}.$$

2.1 Analyse de la correspondance entre séances et couples stimulus-réponse:

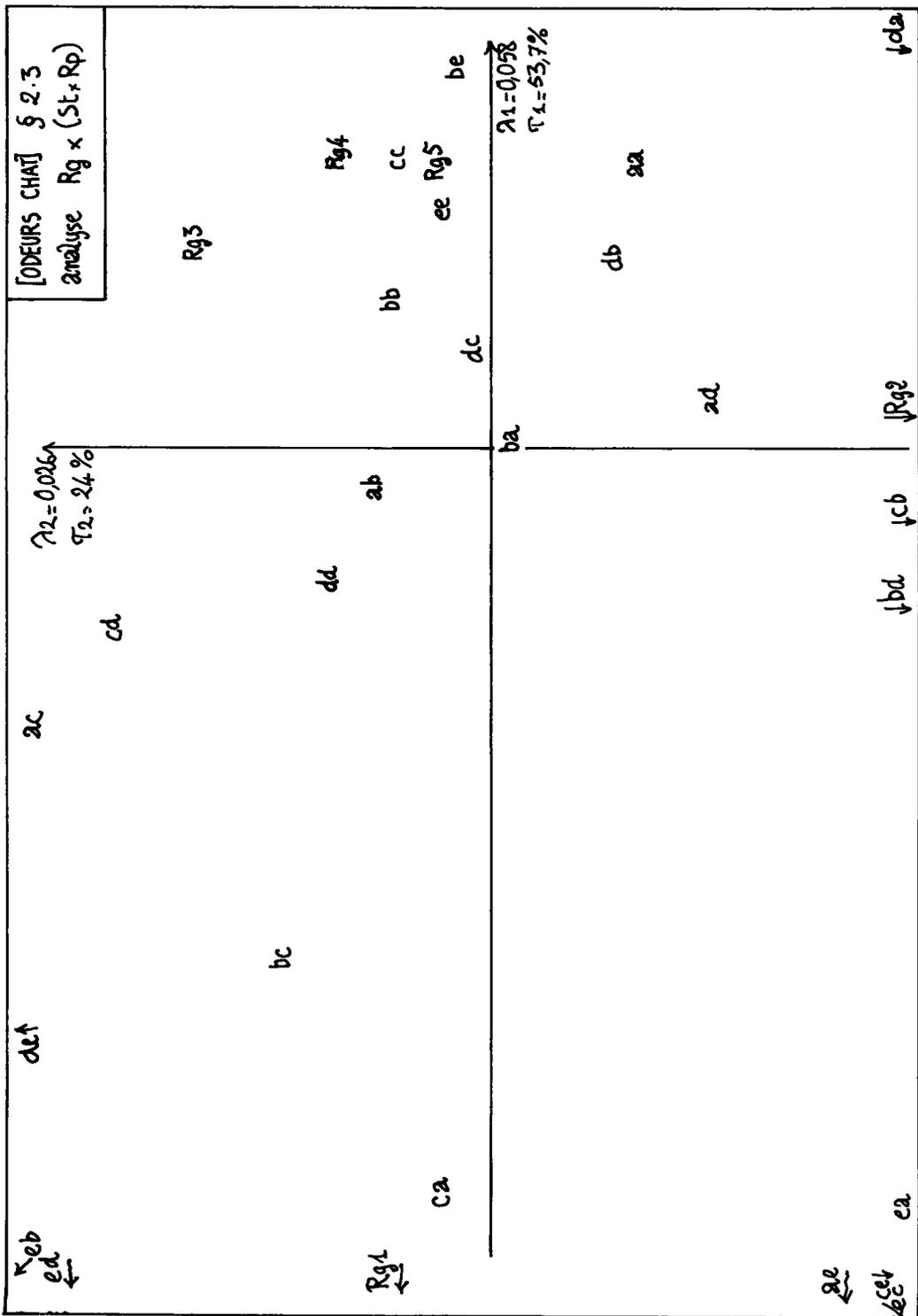
On construit alors le tableau (Su×Rg)(St×Rp) (40×25) donnant à l'intersection de la ligne se et de la colonne xy le nombre de fois où au cours de la séance se le stimulus Sx a fait l'objet de la réponse Ry. On peut dire encore qu'à la séance se, il correspond une matrice de confusion 5×5, (cf. § 1); et que la ligne se, est constituée de 5 lignes de cette matrice mises bout à bout. Mais, répétons-le avec 30 événements (de couples St-Rp) pour 25 cases, cette matrice de confusion est fort légèrement échantillonnée.

Le premier facteur suscite une interprétation nette qui en assure la validité. Du côté (F1>0) on trouve les cinq couples formés d'un stimulus et d'une réponse identiques : aa, bb, cc, dd, ee ; puis en se rapprochant de l'origine le couple ab qui est (avec ba) la forme de confusion la plus fréquente ; tous les autres cas de confusion ont (F1≤0) : une telle distribution de l'ensemble (St×Rp) avec les 5 couples xx groupés à une extrémité a moins d'une chance sur 10⁶ de se produire si les couples sont jetés au hasard. De plus du côté (F1<0) les couples extrêmes correspondent presque tous à des confusions très rares entre le menthone (e) et un stimulus à odeur de chat (a, b, c, d).

Corrélativement, on a du côté (F1>0) les séances où ont été réalisées de bonnes performances : peu de confusions, et en particulier peu de confusions mettant en jeu le menthone. Du côté (F1<0) sont les séances où se rencontrent, parmi d'autres, de telles confusions. Les deux sujets C et D ont toutes leurs séances du côté des bonnes performances (F1>0); le sujet H, au contraire a toutes ses séances (sauf H2) du côté des mauvaises performances (F1<0). Les sujets B et F tendent à améliorer leurs performances de séance en séance, comme s'ils bénéficiaient d'un apprentissage ; bien que cette tendance n'apparaisse pas chez tous les sujets, on trouve parmi les plus mauvaises séances une certaine prédominance des numéros 1 ou 2.

Bien que les confusions réciproques xy, et yx n'aient pas même profil de distribution sur l'ensemble (Su×Rg) des séances, on observe dans le plan (1,2) certaines proximités : ainsi du côté (F2>0) on trouve ba et ab ; cb et bc ; da et ad. Ainsi, après que l'axe 1 ait montré de façon certaine que les séances étaient d'abord caractérisées par un niveau général de performance valant pour tous les odorants, l'axe 2 pourrait suggérer l'existence de liens entre paires d'odorants plus ou moins forts selon les séances.

Parmi les confusions rares, mettant en jeu le menthone (e), deux seulement sont assez proches de l'origine sur l'axe 1 ; ce sont be et de. Cette position résulte de ce que ces confusions se sont trouvées



dans des séances où les performances n'étaient pas très mauvaises : la forme des molécules (d) et surtout (b) pourrait produire l'effet du menthone (e) ; dans des cas où le groupement (-SH) serait passé inaperçu.

2.2 Analyse de la correspondance entre sujets et couples stimulus-réponse:

Afin de voir si, en dépit de la diversité de leurs séances, les individus se distinguent clairement quant à leurs performances générales, on a construit le tableau $Su(St \times Rp)(8 \times 25)$; dont chaque ligne est obtenue en cumulant les 5 séances d'un sujet. Le graphique présenté ici résulte de l'analyse de ce tableau, auquel on a adjoint en lignes supplémentaires l'ensemble des 40 séances. Chaque sujet est désigné par sa lettre précédée de la ligne t (total) et entouré d'un cercle. Comme dans l'analyse précédente (où les 40 séances sont en lignes principales) on trouve groupé dans le quadrant ($F1 > 0$) ; $F2 < 0$) l'ensemble des 5 couples aa, bb, cc, dd, ee ; ce qui caractérise ce quadrant comme étant le lieu des meilleures performances. Mais du côté ($F1 < 0$) se mêlent aux couples de confusion avec e (ed, ec, ce, ea, ae...) d'autres couples qui ont été associés aux sujets dont la performance moyenne est mauvaise : ac, ca, bc, cb, da, ad... Quant aux individus, leur place concorde avec ce qu'on a déjà vu : bonnes performances pour C et D ; mauvaises pour H... Mais au-delà de la performance, il n'est pas possible de reconnaître des associations stables entre certains sujets et certaines confusions, (autres que celles mettant en jeu e).

2.3 Analyse de la correspondance entre rangs et couples stimulus-réponse :

De plus, afin de voir si en moyenne la performance s'améliore de séance en séance on a construit un tableau $(5 \times 25) Rg (St \times Rp)$; dont chaque ligne ra est obtenue en cumulant les séances de rang ra de tous les 8 sujets.

De l'analyse du tableau (5×25) croisant l'ensemble des rangs des séances (sans distinction de sujet) avec l'ensemble des 25 couples stimulus-réponse, nous retiendrons seulement le 1-er facteur* ($\lambda_1 = 0,058$; $\tau_1 = 54\%$; tandis que $\tau_2 = 24\%$;...). Sur l'axe 1, les 5 séances se succèdent dans leur ordre naturel de $R1(F1 \leq 0)$ à $R4$ et $R5 (F1 > 0)$. $F1(R4)$ est légèrement supérieur à $F1(R5)$, mais cette anomalie ne nuit pas à l'interprétation dans la mesure où l'apprentissage une fois achevé, il subsiste dans le comportement des sujets des fluctuations de faible amplitude. L'examen de la distribution sur l'axe 1 de l'ensemble des couples stimulus-réponse autorise en effet cette interprétation en termes d'apprentissage et de performance croissante chez les sujets : du côté $F1 < 0$ prédominent les confusions les plus grossières mettant en jeu l'odorant e. Au contraire, les couples stimulus-réponse identiques (réponse exacte) sont (à l'exception de dd) du côté ($F1 > 0$). La tendance au progrès de séance en séance suggérée par l'analyse $(Su \times Rg) \times (St \times Rp) (40 \times 25)$ du § 2.1 est donc confirmée même si l'axe 1 ne montre la disposition attendue des couples (st, rp), qu'avec quelques perturbations.

(*) Notons que les valeurs propres sont faibles (0.058 ; 0.026 ; 0.017 et 0.007).

3 Effets séquentiels dans le comportement des sujets

3.1 Effets du stimulus et de la réponse antérieurs : Au § 1 on a considéré le tableau (St×Rp) (5×5), donnant, sans distinction de séance ni de sujet, le nombre de fois que chaque stimulus S évoque chaque réponse R. On s'interroge maintenant sur d'éventuels effets séquentiels. On peut supposer que la réponse à un stimulus ne dépend pas seulement de celui-ci, mais également du couple (stimulus-réponse) qui le précède immédiatement. Afin de vérifier cette hypothèse on calcule les nombres tels que :

$k(a c B, RD)$ = nombre de fois que la réponse RD est donnée au stimulus SB, celui-ci étant précédé du couple (stimulus a, réponse c).

On notera que pour plus de clarté on a utilisé les majuscules B, D pour le stimulus pris en référence et la réponse qu'il reçoit ; et des lettres minuscules pour le stimulus et la réponse précédents. Comme il y a 125 triplets (stimulus-réponse-Stimulus), on a un tableau à 125 lignes avec 5 colonnes (les réponses).

D'autre part, plus particulièrement, on peut s'enquérir de l'effet du seul stimulus ou de la seule réponse précédent ; d'où le calcul de :

$k(a q B, RD)$ = nombre de fois que la réponse RD est donnée au stimulus SB, celui-ci étant précédé d'un couple (stimulus a - réponse quelconque q) ;

$k(q c B, RD)$ = nombre de fois que la réponse RD est donnée au stimulus SB, celui-ci étant précédé d'un couple stimulus quelconque q - réponse c).

Cela fait encore 2 fois 25 lignes ; sans oublier les 5 lignes du § 1 ; où le nombre $k(SB, RD)$ peut encore être écrit $k(qqB, RD)$ pour signifier que ce qui précède le stimulus B est quelconque ... (éventuellement inexistant, si SB est le premier stimulus présenté dans la séance considérée). Au total, 180 lignes.

L'analyse du tableau 5×5 avec en supplémentaires 175 lignes (125 + 25 + 25) fait nettement apparaître sur l'axe 1 que, quel que soit le contexte, le stimulus E évoque quasi exclusivement la réponse RE. Du côté de RE ($F_1 < 0$), il n'y a sur l'axe 1 que 6 triplets correspondant à un stimulus autre que E : et, ces triplets se rencontrant rarement, il n'y a rien à conclure du fait qu'ils évoquent 1 ou 2 fois la réponse RE). Quant aux autres triplets accumulés dans le demi-espace ($F_1 > 0$), ils semblent se disposer en général, quoique non toujours, à proximité de la réponse exacte (bbD, eeD, acD avec RD ...). Mais la lecture du tableau des facteurs ou l'examen des plans, ne suggèrent pas de règle expliquant les exceptions. C'est pourquoi on a cumulé les lignes afférentes aux triplets suivant des principes expliqués au § 3.2.

3.2 Cumuls des séquences selon les égalités et les différences

3.2.1 Création du tableau des cumuls contextuels : Comme au § 3.1, l'on utilise des lettres capitales pour le stimulus pris pour référence et la réponse qu'il reçoit ; et des lettres minuscules pour le stimulus et la réponse précédents. Mais à la différence de ce qu'on a fait au § 3.1, on ne cumule pas sur l'ensemble des 5 odorants (lettre q) ; on désigne par l'une des lettres x, y, z des classes d'odorants astreints à être différents des autres spécifiés dans l'identificateur et différents entre eux ; ce plus on élimine de la plupart ces dénombremens le cinquième odorant, le menthone e, qui est très à l'écart des quatre autres.

Ainsi relativement au stimulus A, on distingue 5 contextes antérieurs

aaA : le stimulus A est présenté une nouvelle fois après une réponse correcte

axA : le stimulus A est présenté une nouvelle fois après une réponse erronée :

$$axA = \{abA, acA, adA\} = \{axA \mid x \in \{a,b,c,d\} ; x \neq a\}.$$

xaA : le stimulus A est présenté après que la réponse a ait été donnée par erreur :

$$xaA = \{baA, caA, daA\} = \{xaA \mid x \in \{a,b,c,d\} ; x \neq a\}$$

xxA : le stimulus A est présenté après un autre stimulus, qui a reçu la réponse correcte

$$xxA = \{bbA, ccA, ddA\} = \{xxA \mid x \in \{a,b,c,d\} ; x \neq a\}$$

xyA : le stimulus A est présenté après qu'une réponse fautive autre que a ait été donnée à un autre stimulus

$$xyA = \{bcA, cbA, cdA, ocA, bdA, dbA\} \\ = \{xyA \mid x, y \in \{a,b,c,d\} ; x \neq a, y \neq a, x \neq y\}.$$

La raison pour laquelle on fait ces cumuls, est qu'on pense que les sujets peuvent être attirés par les répétitions, ou au contraire les éviter.

Ainsi, ayant défini pour chaque stimulus, 5 classes de contextes antérieurs, on a pour une réponse 20 (5×4) contextes antérieurs possibles, a'où un tableau 20×4 avec, e.g. :

$$k(xxA, RC) = k(bbA, RC) + k(ccA, RC) + k(ddA, RC) \\ = \text{nombre de fois que le stimulus A a reçu la réponse C après qu'eût été présenté un autre stimulus (x) ayant reçu la réponse correcte}$$

Faute d'une expression plus précise, nous parlerons de correspondance entre *stimuli contextualisés* et réponses.

3.2.2 Analyse de la correspondance entre stimuli contextualisés et réponses : Avec 4 colonnes, on a seulement 3 dimensions : il suffit de considérer les plans (1,2) et (2,3).

En bref, sur l'axe 1, les réponses (RA, RB) ($F1 > 0$) s'opposent aux réponses (RC, RD) ($F1 < 0$) ; sur l'axe 2, RC se sépare de RD ; et sur l'axe 3 RA se sépare de RB. La distance maxima est celle entre RA et RD. Ces résultats concordent parfaitement avec ceux vus au § 1.

Quant aux stimuli, si l'on fait abstraction des spécifications de contexte, ils se trouvent en général proches de la réponse de même nom. Par exemple, dans le plan (1,2), RB est entouré des cinq stimuli contextualisés : bbB, xbl, bxB, xxB, xyB et il est très proche de leur centre de gravité note, comme au § 3.1, qqB. Mais il vaut la peine de considérer les exceptions à cette règle de proximité.

Il apparaît que pour chaque réponse RZ ($Z \in \{A,B,C,D\}$) la forme contextualisée la plus éloignée du stimulus Z est xzZ : i.e. pour RA, xaA, pour RB, xB, pour RC, xcC, pour RD, xdD. En d'autres termes, une réponse juste est donnée le moins fréquemment quand cette réponse (qui devrait maintenant être donnée) vient d'être donnée par erreur.

3.2.3 Calculs de fréquences conditionnelles : Pour préciser cette remarque, la valider, la généraliser, nous effectuerons des calculs de fréquences conditionnelles.

Nous comparerons d'abord la fréquence conditionnelle de chaque réponse juste avec la fréquence conditionnelle de cette même réponse juste dans le contexte antérieur de la réponse donnée par erreur. On a en se référant au tableau des données :

$$\begin{aligned} xaAA/xaA &= 4/23 & ; & & qqAA/qqA &= 122/231 & ; \\ xbBB/xbB &= 10/37 & ; & & qqBB/qqB &= 101/231 & ; \\ xcCC/xcC &= 8/34 & ; & & qqCC/qqC &= 119/229 & ; \\ xdDD/xdD &= 8/20 & ; & & qqDD/qqD &= 123/227 \end{aligned}$$

et en cumulant sur les 5 odorants A, B, C, D :

$$xzZZ/xzZ = 30/114 & ; & qqZZ/qqZ = 465/918 & ;$$

(où dans les calculs de fréquence de la réponse exacte, sans distinction de contexte, on a éliminé le stimulus et la réponse E).

Il apparaît que pour chaque stimulus la fréquence conditionnelle de la réponse juste est grandement diminuée dans le contexte où cette réponse vient d'être donnée par erreur ; et globalement, le quotient (30/114) diffère nettement de ((465/918) > 0,5) ; différence significative si on admet qu'au lieu de 30 on devrait avoir $\approx (114/2) = 57$ avec un écart-type de $57^{1/2} \approx 7,5$.

On peut se demander si la fréquence précise xzZ est nécessaire pour défavoriser la répétition de la réponse z qui vient d'être donnée ; ou si l'important est seulement que le sujet évite de donner deux fois de suite la même réponse. Il est difficile de vérifier une telle tendance dans les contextes zzZ où la réponse juste vient d'être donnée au même stimulus que celui présenté maintenant ; car de tels cas sont peu nombreux. Nous considérerons donc les contextes yxZ où vient d'être donnée par erreur une réponse distincte du present stimulus, et comparerons la fréquence conditionnelle $yxZX/yxZ$ que cette réponse soit donnée une deuxième fois, à la fréquence ($qqZX/qqZ$) d'une erreur, calculée sans spécification de contexte : plus précisément comme dans le contexte yxZ , l'erreur X est l'une parmi les trois possibles, il faut comparer ($yxZX/yxZ$) à $(1/3)(qqZX/qqZ)$. La fréquence d'une erreur (sans spécification de contexte) n'est autre que le complément à 1 de la fréquence de la réponse exacte, fréquence calculée ci-dessus ; on a donc :

$$(qqZX/qqZ) = 1 - (qqZZ/qqZ) = 1 - (465/918) = (453/918).$$

Quant à la fréquence de contexte, il vient :

$$yxZX = yxAX + yxBX + yxCX + yxDX & ; & \text{avec e.g.}$$

$$yxAX = cbAB + dbAB + bcAC + dcAC + bdAD + cdAD = 6 & ; & \text{etc. ; d'où}$$

$$(yxZX/yxZ) = (27/164) \approx (1/6) \approx (1/3) \times (453/918).$$

Ici, aucune tendance n'apparaît à la non répétition d'une réponse. De même dans le contexte yxY la réponse erronée X n'est aucunement évitée : car on a :

$$(yxYX/yxY) = (17/67) > (1/6).$$

Le petit nombre de cas ne permettant toutefois de rien affirmer de général.

En somme la seule conclusion à retenir est celle visible sur l'analyse factorielle (§ 3.2.2) : une réponse juste est donnée le moins fréquemment quand cette réponse (qui devrait maintenant être donnée) vient d'être donnée par erreur. Une explication possible serait que dans le contexte xzZ, la réponse z apparaît au sujet comme étant propre au stimulus x ($x \neq z$) ; et par conséquent impropre à Z.

4 Résultats de l'expérience et suggestions méthodologiques

4.1 Résultats : Quant aux 5 substances odorantes, l'examen direct de la matrice de confusion 5x5 et l'analyse de cette matrice montrent que le menthone est nettement distinct des autres stimuli ; tandis que le mercaptan se place parmi les mercapto-kétones (cf. § 1).

Les sujets, bien que sélectionnés, ont au cours des séances réalisé des performances inégales, le facteur dominant de la diversité des séances étant l'opposition entre d'une part toutes les réponses justes, et d'autre part les confusions mettant en jeu le menthone. (§ 2).

Des effets séquentiels sont apparus : en bref, un sujet n'est pas disposé à donner à nouveau une réponse qu'il vient de donner par erreur, lorsque cette réponse est maintenant attendue ... (§ 3.2).

4.2 Suggestions : Pour corriger cet effet séquentiel, on peut songer à intervenir dans la fréquence des stimuli et des réponses par des renforcements appropriés.

Les sujets étant généralement rémunérés, on pourrait les inciter à plus d'attention en proportionnant leurs gains à leurs performances : l'efficacité de ce procédé a été souvent reconnue (cf. e.g. Tanner & Swets in *Psychological Review* Vol 61 pp. 401-409 ; 1954).

La présentation initiale des stimuli peut ne pas suffire à entretenir la mémoire du sujet : l'expérimentation pourrait après chaque couple (ST, Rp) donner au sujet à titre de renforcement la réponse exacte, ou au moins lui indiquer s'il a dit juste ou faux.

L'espacement des stimuli pourrait également être modifié.

4.3 Conclusion : Une expérience de psychophysique n'a jamais la simplicité que suggère le schéma stimulus-réponse. Nous venons d'évoquer les renforcements que l'expérimentateur peut introduire consciemment, mais qui existent dans tout processus séquentiel par le seul fait que l'exercice modifie les dispositions du sujet. Il faut surtout considérer que la réponse ne résulte pas ici directement du stimulus comme c'est le cas en physiologie pour la réponse d'un récepteur sensible (enregistrée, par exemple à l'aide d'une micro-électrode). Le sujet animal ou homme, ne répond que dans le cadre d'un montage sans lequel le stimulus serait accepté tacitement ou ignoré. L'animal est soumis au jeûne, conditionné, etc. ; l'homme reçoit une consigne à l'exécution de laquelle on tente de l'intéresser.

L'analyse statistique multidimensionnelle devrait permettre à la psychophysique d'évaluer avec finesse, l'effet de ces montages sur des sujets aux aptitudes diverses.

Tableau analyse au § 3.1 presente en 4 parties de 6 colonnes :La premiere represente l'identificateur du contexte, les 5 suivantes representent le nombre de reponses de chacun des odorants.

ident	RA	RB	RC	RD	RE	ident	RA	RB	RC	RD	RE	ident	RA	RB	RC	RD	RE	ident	RA	RB	RC	RD	RE
qqA	122	54	37	18	9	qda	33	13	4	1	1	bcA	2	1	2	0	0	dba	5	0	2	1	0
qqB	54	101	37	39	9	qdB	10	24	9	5	3	bcB	1	3	0	1	0	dbB	3	1	1	3	1
qqC	25	35	119	50	11	qdc	4	5	23	1	4	bcC	1	0	1	9	0	dbC	4	1	2	0	1
qqD	24	40	40	123	13	qdd	5	8	6	14	3	bcD	0	1	1	3	0	dbD	0	2	0	4	0
qqE	6	7	10	13	204	qde	1	2	5	4	37	bcE	1	0	0	0	1	dbE	0	0	1	0	9
qaA	18	9	14	6	2	1	1	8	9	3	1	bdA	6	1	0	0	1	dcA	4	2	1	1	0
qaB	9	27	5	8	5	1	11	19	10	7	0	bdB	0	3	2	2	0	dcB	2	1	1	2	0
qaC	5	11	24	5	2	1	7	8	22	10	3	bdC	1	0	3	2	2	dcC	0	0	6	3	2
qaD	3	6	8	28	2	1	7	11	9	31	1	bdD	1	1	1	2	1	dcD	0	1	1	1	0
qaE	1	1	1	2	46	1	1	1	1	3	33	bdE	0	1	0	0	7	dcE	0	1	2	0	7
qbA	22	5	7	9	4	2	9	10	2	4	0	beA	0	0	0	1	0	ddA	19	1	1	1	0
qbB	5	15	5	6	2	0	2	18	2	0	0	beB	0	0	1	0	0	ddB	5	13	3	2	1
qbC	4	2	32	20	3	0	0	5	17	4	0	beC	0	0	1	0	0	ddC	2	4	13	3	1
qbD	3	5	8	23	5	0	0	3	3	14	1	beD	0	2	0	0	0	ddD	0	1	4	6	1
qbE	2	1	0	1	46	0	0	0	0	0	27	beE	0	0	0	0	2	ddE	0	1	4	2	20
caA	28	13	7	4	1	1	4	3	0	1	0	caA	0	0	3	0	0	deA	2	1	1	0	0
caB	14	20	10	8	1	1	3	4	2	4	2	caB	0	4	3	0	0	deB	1	2	1	1	0
caC	6	5	15	9	2	1	2	2	4	0	0	caC	0	0	1	3	1	deC	0	0	0	1	0
caD	6	14	4	21	4	2	2	2	0	5	0	caD	0	2	1	1	1	deD	0	0	0	2	0
caE	2	3	1	3	30	1	1	0	0	13	0	caE	0	1	0	0	2	deE	0	0	0	0	1
daA	30	12	6	2	2	0	4	0	2	1	1	cbA	4	2	0	2	0	eaA	0	0	1	2	0
daB	11	19	7	8	0	2	2	2	1	0	0	cbB	4	4	1	3	0	eaB	0	0	0	0	0
daC	6	6	23	7	4	1	4	4	1	1	1	cbC	0	1	1	0	0	eaC	0	0	0	0	0
daD	2	6	7	16	1	1	1	0	2	8	0	cbD	0	1	1	3	0	eaD	0	0	1	1	0
daE	2	2	7	3	42	0	1	0	0	0	1	cbE	0	0	0	1	6	eaE	0	0	0	0	1
eaA	22	8	7	4	5	1	1	1	0	0	0	ccA	16	7	1	1	1	ebA	0	1	0	0	0
eaB	12	18	10	8	3	2	2	2	0	0	1	ccB	8	7	3	5	0	ebB	0	1	0	0	0
eaC	4	9	23	9	0	0	0	0	1	2	0	ccC	3	3	10	3	1	ebC	0	0	0	0	0
eaD	7	8	8	30	1	0	0	0	1	1	1	ccD	3	6	2	12	3	ebD	1	0	0	1	0
eaE	0	0	0	3	33	0	1	1	1	3	0	ccE	1	1	0	1	17	ebE	0	0	0	0	1
qaA	13	17	11	3	0	1	0	1	0	0	0	cdA	6	4	2	1	0	ecA	1	0	0	0	3
qaB	3	29	7	5	0	1	0	0	0	0	0	cdB	2	5	2	0	1	ecB	1	0	1	1	0
qaC	1	6	28	11	3	0	0	0	0	0	0	cdC	1	1	3	3	0	ecC	0	1	0	0	0
qaD	0	5	9	20	4	0	1	2	0	0	0	cdD	2	3	0	5	0	ecD	0	1	0	0	0
qaE	1	1	0	1	47	0	0	0	0	2	2	cdE	1	0	0	1	5	ecE	0	0	0	0	1
qbA	23	6	5	6	2	4	4	4	4	1	0	ceA	2	0	1	0	0	edA	2	1	1	0	0
qbB	13	14	5	12	3	1	5	1	1	1	0	ceB	0	0	1	0	0	edB	1	1	2	1	0
qbC	5	6	26	5	2	0	0	0	2	1	1	ceC	2	0	0	0	0	edC	0	0	0	0	0
qbD	1	5	6	5	29	2	0	0	1	2	2	ceD	2	2	0	0	0	edD	0	1	0	0	0
qbE	0	1	1	1	2	47	1	0	0	0	12	ceE	0	1	1	0	0	edE	0	0	0	0	2
qcA	27	10	6	3	5	10	1	1	3	2	1	daA	0	3	1	0	0	eeA	19	7	6	2	1
qcB	14	13	6	9	0	3	4	1	1	2	0	daB	0	2	1	0	0	eeB	10	16	7	6	3
qcC	8	8	18	16	4	1	2	19	5	0	0	daC	0	1	2	0	1	eeC	4	8	21	9	0
qcD	4	9	6	24	3	2	1	4	16	2	2	daD	0	0	2	3	0	eeD	6	6	7	28	1
qcE	3	2	2	2	33	0	0	0	0	18	0	daE	0	0	0	1	5	eeE	0	0	0	3	28

TABLEAU DES CONTEXTES § 3.2

*Ident.	*RA	*RB	*RC	*RD	*RE
* qaA	*122	*54	*37	*18	*9
* qaB	*54	*101	*37	*39	*9
* qaC	*25	*35	*119	*50	*11
* qaD	*24	*40	*40	*123	*13
* aaA	*9	*10	*2	*0	*0
* bbB	*3	*4	*1	*2	*0
* ccC	*3	*3	*10	*3	*1
* ddD	*2	*3	*4	*6	*1
* eeA	*17	*24	*20	*6	*0
* xbB	*23	*24	*9	*22	*6
* xcC	*13	*13	*26	*29	*7
* xdD	*8	*13	*8	*22	*5
* xaA	*27	*18	*10	*4	*2
* xbB	*7	*26	*9	*10	*0
* xcC	*9	*7	*20	*15	*3
* xdD	*2	*9	*10	*26	*1
* xxA	*372	*150	*96	*46	*24
* xxB	*158	*310	*104	*112	*26
* xxC	*64	*108	*378	*142	*24
* xxD	*70	*112	*112	*386	*40
* xyA	*243	*89	*62	*33	*22
* xyB	*95	*189	*77	*63	*17
* xyC	*43	*57	*225	*82	*21
* xyD	*40	*76	*67	*230	*25

Nous remercions Monsieur Polak de nous avoir confié les données expérimentales obtenues dans son laboratoire de neurophysiologie comparée Paris VI.

Nous remercions Monsieur Guillaume du laboratoire de neurophysiologie ontogénétique (Paris VI) pour la lecture attentive du manuscrit.

Bibliographie.

R1 : E. Vernet-Maury, E.H. Polak and A. Demael : Structure activity relationships of stress inducing odorants in the rats - journal of chemical ecology Vol 10, pp 1007, 1018 - 1984.