

P. LOSLEVER

T. M. GUERRA

D. ROGER

**Analyse des questionnaires en ergonomie :
l'appréciation des réglages d'un poste de travail**

Les cahiers de l'analyse des données, tome 13, n° 2 (1988),
p. 175-196

http://www.numdam.org/item?id=CAD_1988__13_2_175_0

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1988, 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/>

ANALYSE DES QUESTIONNAIRES EN ERGONOMIE: L'APPRÉCIATION DES RÉGLAGES D'UN POSTE DE TRAVAIL

[ERGO. RÉGLAGES]

*P. LOSLEVER **

*T.M. GUERRA **

*D.ROGER**

1 Du problème aux analyses

1.0 Le problème ergonomique

Dans le but de déterminer des "critères de réglage ergonomique" du poste de travail bureautique, une étude préliminaire, menée en collaboration avec des fabricants de mobilier de bureau, a montré que les réglages relatifs à la hauteur de l'assise, à celle de la table et à la position du dossier s'avéraient être les plus déterminants pour les postures adoptées par l'opérateur. En outre, de cette même étude, la tâche de dactylographie est apparue comme étant la plus contraignante par son aspect de "rigidité" sur le plan postural et visuel (LEPOÛTRE 1982). Un protocole expérimental a donc été construit autour d'une tâche de dactylographie pour étudier l'influence des trois facteurs assise, table et dossier. Les données recueillies sont de nature "objective" (comportement postural et performances) et de nature "subjective" (questionnaire) (LOSLEVER 1986). Dans cette publication nous n'analyserons que ces dernières.

1.1 Choix des modalités des différents facteurs

Afin d'étudier l'influence des facteurs assise, table et dossier, on a choisi de considérer pour chacun d'entre eux trois modalités (deux extrêmes et une intermédiaire) ce qui entraîne donc 27 combinaisons expérimentales. Les réglages correspondant aux modalités ont été établis en fonction des données anthropométriques des sujets et en tenant compte des problèmes de vision imposés par la tâche de dactylographie.

(*) Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine; URIA H - U.A. C.N.R.S. n° 1118
Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis
Le Mont-Houy, 59326 Valenciennes Cedex - France

Plusieurs manipulations préalables ont été effectuées afin de déterminer les gammes utiles de réglage en tenant compte des impressions subjectives des sujets et des expérimentateurs.

-Hauteur d'assise: De cette étude préalable, la hauteur moyenne d'assise a été estimée à la hauteur poplité-sol + talon, et un écart de 2,5 cm par rapport à cette valeur a été pris pour les valeurs extrêmes.

-Eloignement de la table/assise (ET): Pour une hauteur d'assise donnée, la hauteur de table peut-être réglée entre deux limites extrêmes, une limite basse qui correspond au passage des jambes, une limite haute qui correspond à la vision possible du caractère en cours d'impression sur la machine à écrire. En définitive on a retenu l'ensemble de réglage suivant:

-ET minimum: hauteur de table pour le passage des jambes+2cm,

-ET maximum: hauteur de table pour la vision complète du caractère en cours d'impression pour une position "redressée",

-ET moyenne: hauteur moyenne par rapport au mini et maxi.

Les deux limites de hauteur de table sont prises en fonction de la hauteur de l'assise et dépendent de la morphologie des sujets.

-Eloignement dossier-clavier (ED):

On a remarqué que le minimum accepté par les sujets est relié au phénomène de glissement du sujet vers l'avant de l'assise. On a alors cherché à déterminer, par au moins deux expériences préalables, la position du dossier la plus rapprochée à la limite de l'acceptable ou, qui commence à provoquer un glissement de l'assise vers l'avant. On fixe ensuite les points d'expérience de la façon suivante, selon la morphologie des sujets:

-ED proche: distance dossier limite + 0,5 à 1 cm,

-ED moyen: distance dossier proche + 1 cm,

-ED éloigné: distance dossier moyen + 2 cm.

La méthode retenue pour organiser ces expériences consiste en un plan expérimental en carré latin. A l'origine, les raisons qui nous ont poussé à effectuer un tel choix proviennent du fait que l'on pouvait, moyennant certaines hypothèses, limiter le nombre d'expériences à 9. De plus, le principe de l'analyse de la variance, très couramment, voire même exclusivement utilisé en ergonomie, semblait répondre à notre problème concernant l'évaluation de l'influence des facteurs sur une variable donnée. L'expérience a cependant montré qu'il n'en était rien.

1.2 Principe de construction et d'analyse du carré latin

En conséquence, on a retenu le plan d'expériences suivant (figure 1). Ajoutons que le choix des 9 expériences parmi les 27 s'est fait en considérant les combinaisons de réglage qui paraissaient les moins "aberrantes" sur le plan ergonomique et ce, en tenant compte de la bibliographie existante dans ce domaine.

		HA			
		B M H			
ED	ET	E	M	P	E
		M	E	M	P
		P	P	E	M

HA: Hauteur d'assise
ET: Eloignement de la table/assise
ED: _____ du dossier/clavier

Figure 1: Plan d'expérience en carré latin

Avant de décrire, sommairement, le modèle probabiliste utilisé pour évaluer l'influence des réglages de l'assise, de la table et du dossier sur les variables expérimentales, nous devons rappeler la panoplie, impressionnante, d'hypothèses nécessaires à la mise en place d'un tel modèle avant de montrer, si besoin est, que plus d'un doute est permis quant à son utilisation !

L'objectif, qui consiste à déterminer l'influence des 3 facteurs, revient à tester l'hypothèse suivant laquelle ces facteurs n'influencent pas sur le résultat. Pour cela on impose aux variables aléatoires relatives aux résultats d'une expérience (les réponses au questionnaire) de suivre un modèle Gaussien. Egalement, on suppose que les effets des trois facteurs sont additifs et sans interaction. Ainsi, le problème se précise considérablement et le modèle final utilisé pour décrire de manière analytique un résultat expérimental est:

$$X_{ijk} = m + A_i + T_j + D_k + e_{ijk}$$

où A_i , T_j , et D_k représentent les effets des modalités i, j, k des facteurs assise, table et dossier ; et e_{ijk} représente les écarts résiduels au modèle qui suivent une même loi de Laplace-Gauss.

De telles hypothèses permettent, en adoptant un ensemble d'associations des modalités i, j, k particulières de construire un plan expérimental en carré latin. Ces associations doivent répondre aux conditions suivantes:

-chaque modalité d'un facteur est associée une fois et une seule à chaque modalité de tout autre facteur,

-les modalités des facteurs pris deux à deux se trouvent selon un plan factoriel simple (sans répétitions).

Le principe de l'analyse de la variance appliqué au carré latin a pour but de pouvoir déterminer si les moyennes en ligne, colonne et diagonale calculées pour une variable expérimentale présentent des différences significatives. On notera alors que si tel est le cas, une configuration des réglages, trouvée acceptable au sens des appréciations données par les sujets, peut appartenir à l'ensemble des 27 combinaisons dont 18 n'ont pas été étudiées expérimentalement. Au cours de chaque expérience sont prises en compte de nombreuses variables. Nous présentons ci-dessous celles relatives aux impressions subjectives.

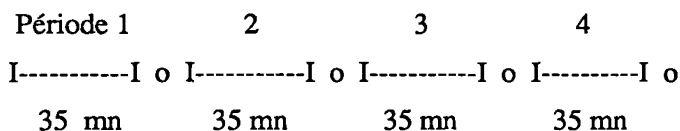
1.3 Prise en compte des impressions subjectives

Elles concernent les impressions de gêne ou de fatigue ressenties par le sujet en différentes parties du corps et ses appréciations sur les réglages étudiés. Pour cela on a construit un questionnaire dont le différenciateur sémantique associé à chaque réponse est continu (figure 2).

Nous avons préféré la continuité de l'échelle, car le fait d'introduire des modalités de réponses pose de nombreux problèmes: pour l'expérimentateur qui doit formaliser la question et la réponse, le problème du choix du nombre de modalités, pour le répondeur, le caractère "forcé" de la réponse. Le sujet répond alors à chaque question en plaçant une croix sur le segment correspondant.

1.4 Déroulement d'une expérience

Le déroulement d'une expérience (parmi les 9 du carré latin) est présenté sur la figure 3.



o: temps de pose durant lequel le sujet répond au questionnaire

I-----I: le sujet recopie un texte

figure 3 : Déroulement d'une expérience

L'étude expérimentale porte sur 12 sujets. Celle-ci étant présentée, nous passons à la description des différentes phases de la procédure d'analyse des questionnaires.

1.5 Enchaînement des analyses

A l'issue de la phase expérimentale nous nous trouvons face à une structure de données à 4 entrées:

	beaucoup	pas du tout
1. Avez-vous envie de bouger.....	_____	
2. Avez-vous mal à la tête.....	_____	
3. Etes-vous fatiguée.....	_____	
4. Avez-vous mal aux jambes.....	_____	
aux mains.....	_____	
aux bras.....	_____	
aux épaules.....	_____	
aux yeux.....	_____	
à la nuque.....	_____	
au dos		
5. Avez-vous des difficultés à concentrer votre attention....	_____	
6. Trouvez-vous le texte	très	pas du tout
intéressant.....	_____	
	beaucoup	beaucoup
	trop forte	trop faible
7. Trouvez-vous l'ambiance sonore	_____	
8. Trouvez-vous l'ambiance lumineuse.....	_____	
	beaucoup	beaucoup
	trop haut	trop bas
9. Comment vous sentez-vous assise	_____	
10. Comment trouvez-vous la table	_____	
	beaucoup	beaucoup
	trop loin	trop près
11. Comment trouvez-vous le dossier	_____	

figure 2 : Exemple de questionnaire (la longueur d'un segment est de 50 mm)

le sujet - l'expérience - la période - la question

L'analyse des informations contenues dans cette structure peut s'envisager de plusieurs manières et ce en fonction des objectifs que l'on se fixe.

L'objectif final de notre étude est de déterminer, globalement, la (les) meilleure(s) configuration(s) de réglage du poste de travail analysé en tenant compte de l'ensemble des appréciations données par l'ensemble des sujets. La

notion de "meilleure configuration" fait référence à deux aspects importants. Avant tout c'est la combinaison de réglages qui correspond aux meilleures appréciations, ou, tout du moins, aux moins mauvaises, sur le plan du confort. L'aspect sous-jacent au confort perçu pour une combinaison donnée concerne le niveau de dégradation intra-expérience de ce dernier. En conséquence les noyaux expérimentaux qui seront considérés pour notre analyse seront les 36 périodes de travail. Néanmoins, avant de passer à une évaluation globale, il est nécessaire d'effectuer une analyse préalable sur la façon dont le sujet se comporte vis-à-vis du différenciateur sémantique. Notamment, le problème posé est de déterminer si l'on obtient de la part du sujet une "information représentative" du fait que l'on veut étudier. En effet, un opérateur humain, au sein duquel émanent tout un réseau de contraintes d'ordre physiques, psychiques en étroites relations, peut être considéré comme un "capteur" d'informations avec le questionnaire comme moyen de restitution. Il est alors nécessaire de préciser son domaine de validité et de vérifier les propriétés de précision et de fidélité inhérente à tout capteur (BACHER 1984).

Que l'on veuille bien nous excuser d'employer vis-à-vis d'un tel rôle une expression aussi technique, mais il nous semble fort important d'insister sur le fait que toute restitution d'informations concernant l'évaluation d'un processus physique, voire même humain, requièrent la vérification de telles propriétés.

2 Comportement des sujets vis-à-vis du différenciateur sémantique

Il est évident que chaque sujet, face à une présentation continue de l'axe sémantique aura un comportement, voire même une "stratégie" de réponse qui lui est propre. Le problème initial qui se pose alors relève de l'aptitude du sujet à opérer le passage d'une sensation à sa qualification, voire même "quantification" verbale. Cela dépend certes de sa sensibilité, mais aussi de la valeur connotative associée aux expressions constituant le différenciateur sémantique.

Concrètement, cela implique pour l'expérimentateur de rechercher la zone, ou les zones, utilisées sur l'axe dialectique et de vérifier, si toute fois c'est possible, la cohérence de leur position avec certains "faits" connus de lui seul (réglages, intensité lumineuse et sonore...).

2.1 Utilisation de l'axe sémantique en fonction des variables

A ce niveau, l'un des outils les plus simples à mettre en œuvre est l'histogramme. Pour cela, il est nécessaire de choisir un découpage particulier de la variable étudiée. Dans le cas d'une variable continue, le problème inhérent à la discrimination "trop sélective" de la fonction d'appartenance binaire d'une valeur particulière à une classe donnée de l'histogramme, peut être palié en définissant des fonctions d'appartenances "floues" (figure 4) (GALLEGO 1982). La perte d'information due à la transformation de la variable d'un caractère quantitatif en qualitatif sera donc plus faible.

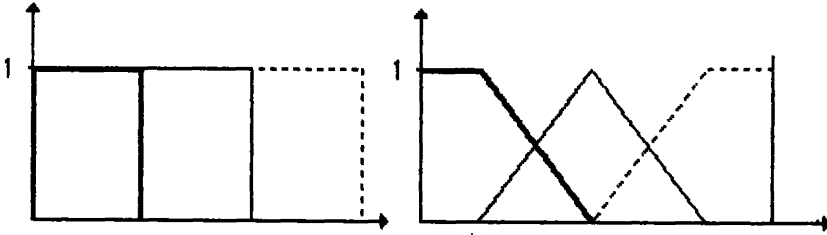


Figure 4: fonction d'appartenance d'une valeur à la classe

A partir des histogrammes empiriques, on peut alors envisager une modélisation de la fonction de densité. Le nombre de modalités a été fixé à 7 car le fait qu'il soit impair permet de tenir compte de la symétrie de l'axe des différenciateurs des 5 dernières questions. Chaque modalité correspond alors à un segment de 7mm et les fonctions d'appartenance sont celles de la figure 4a.

A titre d'exemple on s'intéresse ici à la façon dont l'ensemble des sujets "apprécie" les trois réglages d'un facteur donné. Par exemple, pour la hauteur de table (question 10) on a construit les trois histogrammes correspondant aux trois positions différentes de la table: proche, moyenne, éloignée, tous les autres réglages confondus (figure 5).

La disposition le long de l'axe et la symétrie par rapport au centre de cet axe est remarquable. En effet, malgré les faibles différences entre les réglages (2 à 3 cm), les appréciations sont données "dans le sens des réglages" pour l'ensemble des sujets. Pour tenter d'expliquer ce comportement, on peut construire l'interprétation suivante. En premier lieu, en raison de la difficulté à apprécier un réglage, la majorité des sujets ont tendance à répondre vers le milieu du segment mais, bien que peu catégorique, leur réponse est corrélée avec la position étudiée. Ce comportement sera d'autant plus marqué que le sujet est moins gêné par le réglage. En revanche, si le sujet perçoit pour certains réglages (réglages extrêmes) des gênes trop importantes, celui-ci sera d'autant plus catégorique dans sa réponse.

De l'observation des réponses de la figure 5 on peut également déduire que le modèle gaussien des fonctions de densité n'est pas toujours respecté. Ceci est principalement dû au principe de formulation du différenciateur sémantique qui met en jeu des expressions antinomiques de part et d'autre du segment utilisées de façon non symétrique par le sujet (figure 6).

La méthode de l'analyse de la variance, principalement basée sur ce modèle ne pourra donc être appliquée. La conséquence de cette impossibilité est que l'on ne pourra pas étendre l'interprétation des résultats aux 27 combinaisons de réglage. Cette "pénalisation", certes gênante, ne doit cependant pas remettre en

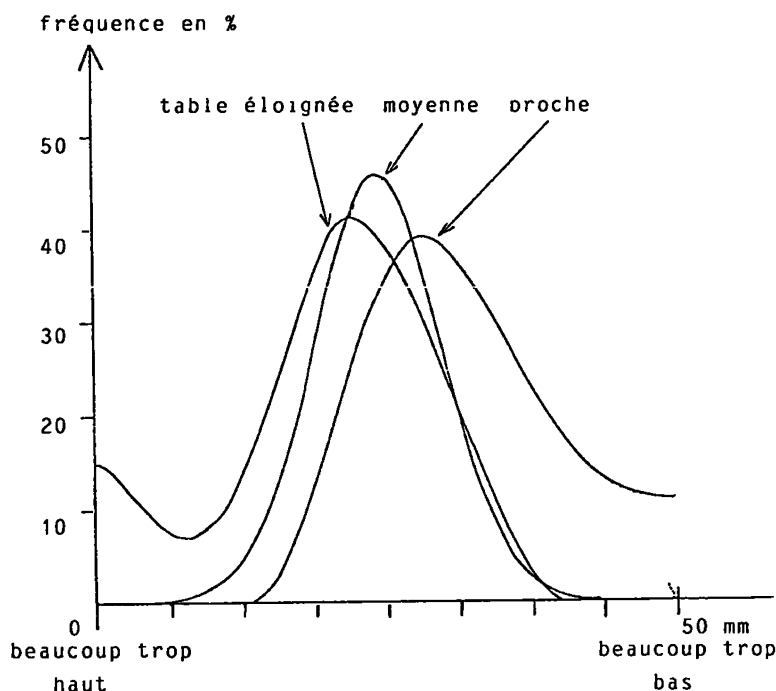


Figure 5: Appréciations données par l'ensemble des sujets pour le facteur table.

cause la poursuite de notre investigation sur les neuf expériences du carré latin. Pour celles-ci, nous utiliserons alors des techniques non paramétriques et multidimensionnelles.

Afin de généraliser l'étude présentée ci-dessus à l'ensemble des questions, on a alors construit le tableau d'utilisation de l'axe sémantique. Celui-ci met en correspondance les 17 questions et les modalités du segment réponse. Ce tableau ainsi construit a été traité par une analyse factorielle des correspondances. La figure 7 présente le plan des axes 1 et 2.

L'axe 1 qui, à lui seul représente 88% de l'inertie du nuage initial oppose les modalités 7 (modalité de droite sur le segment) et 4 (modalité centrale). L'évolution non strictement croissante des modalités 1 à 7 le long de cet axe est due aux types de formulation des axes dialectiques: antinomie à caractères symétriques au centre pour les questions 7 à 11 et évolution croissante ou décroissante pour les questions 1 à 6. Concernant ces dernières, on remarque que le champ d'utilisation de l'axe dialectique est relativement faible pour les rubriques de la question 4 hormis, peut-être, pour 4g (douleur dans le dos). A ce

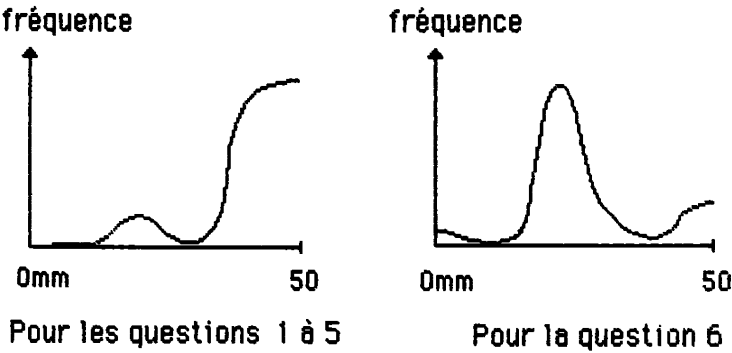


Figure 6: Type d'histogramme pour les réponses 1 à 6.

niveau, c'est à l'envie de bouger et à la difficulté à concentrer leur attention (questions 1 et 5) que les sujets sont le plus sensibles.

Quant à l'intérêt porté au texte (question 6), les appréciations données sont plus mitigées. On remarque sur la figure 6b que si certains sujets ont eu "l'audace" de trouver le texte absolument inintéressant, ce qui nous paraît une réponse franche en raison de l'évidente complexité de celui-ci, un d'entre eux l'a par contre trouvé très intéressant, ce qui nous paraît une réponse plutôt

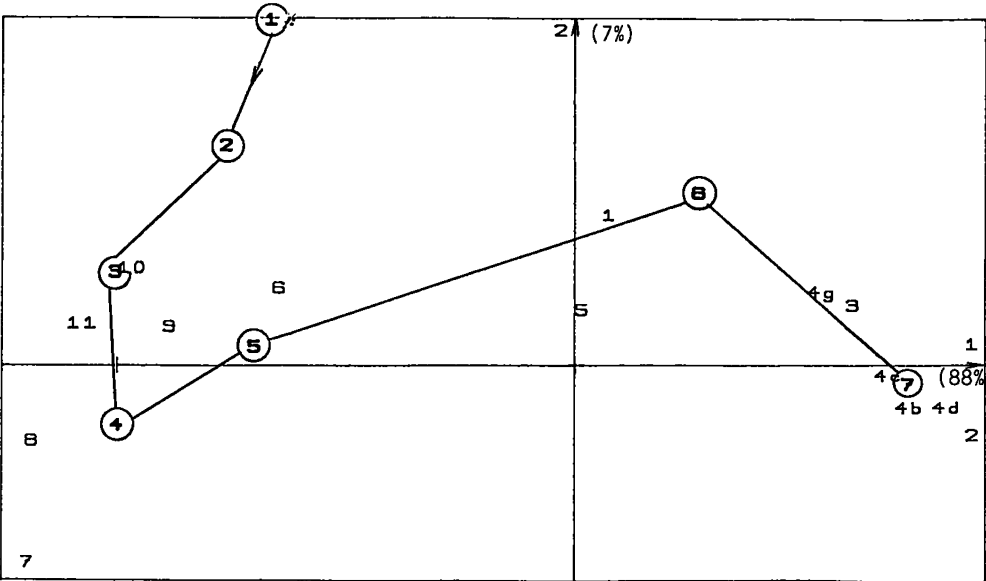


Figure 7: Projection des 7 portions du segment réponse et des 17 questions sur le plan des axes 1 et 2 (les numéros des modalités sont repérées par un cercle).

"complaisante". Ceci conduit à constater que l'hypothèse selon laquelle l'expérimentateur n'influence pas la réponse du sujet, n'est pas toujours vérifiée.

2.2 Utilisation du segment réponse par les individus

Le processus de codage interne d'une sensation particulière par un repère le long d'un axe dialectique continu est étroitement lié à la représentation mentale de l'organisation des nuances verbales, mais est également fonction du tempérament (extrémiste, mitigé...) et du niveau de spontanéité du sujet (réponse exprimée directement, sans réflexion ni calcul ou réponse plus réfléchie faisant référence à des situations antérieures). De plus, sur le plan purement géométrique il est probable que certains sujets ont tendance à affectionner des zones particulières du segment (n'y a-t-il pas des gauchers et des droitiers ?). En conséquence, il est nécessaire de faire une étude typologique sur le comportement des sujets face au segment réponse. Pour cela nous avons, pour chacun d'entre eux, concaténé les réponses aux 17 questions. Le segment a été découpé en 7 zones, comme dans

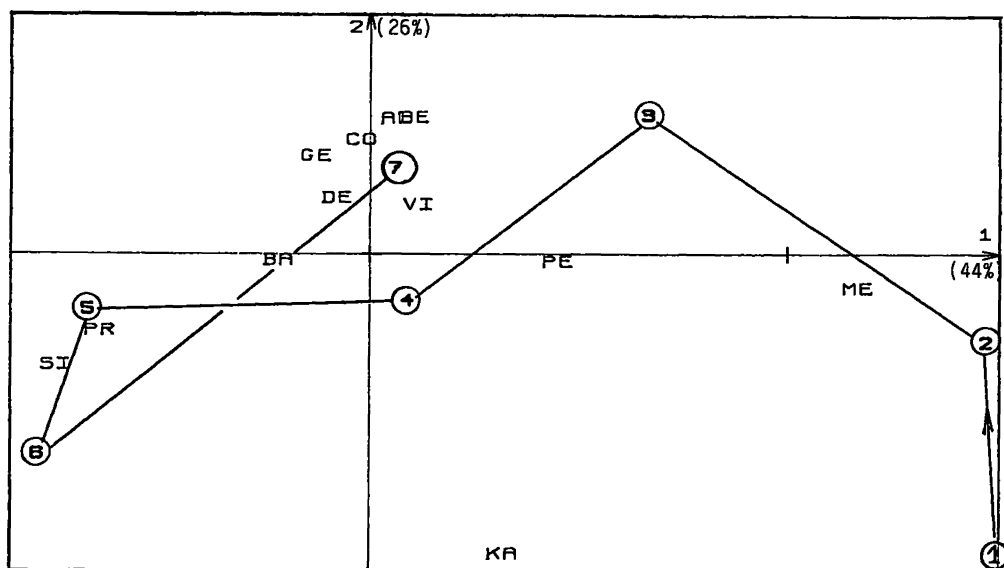


Figure 8: Projection des 7 portions du segment réponse et des 12 individus.

l'étude précédente. Le tableau analysé croise donc les 12 sujets et les 7 modalités. Les trois premiers axes factoriels représentent successivement 44, 26 et 20% de l'inertie du nuage initial. La figure 8 représente le plan des axes 1 et 2. De l'interprétation des trois premiers axes on observe alors trois classes de comportements différents. Le comportement le plus fréquent (8 sujets sur 12) correspond à une utilisation très importante de la position la plus à droite du segment (modalité 7) et de la position médiane (modalité 4), la modalité 6 n'étant alors pratiquement pas utilisée. Le second groupe {SI, PR} utilise par contre beaucoup les modalités de niveau 5 et 6 et semble donc être plus mitigé dans ses

appréciations. Le sujet ME utilise encore plus les modalités de gauche que les sujets précédents, quant au sujet KA, il est certainement celui qui utilise le plus la totalité de l'échelle.

Il apparaît donc que la façon "d'appréhender" l'axe continu du différenciateur sémantique soit sensiblement différente pour la majorité des sujets: certains sujets semblent volontiers utiliser le segment réponse dans sa presque totalité, d'autres, se cantonnent dans les zones extrêmes et dans la partie centrale.

3 Analyse factorielle sur les réglages

Les 17 réponses obtenues au cours de chaque observation expérimentale (relative à un sujet, à une expérience et une période) peuvent être codées de plusieurs manières. Le critère de codage peut être global ou local, c'est-à-dire adapté en fonction de l'individu et de la question.

3.1 Codage global

On peut, par exemple, découper le segment réponse en modalités comme nous l'avons fait plus haut ou, considérer les réponses brutes et leur complémentaire (BENZECRI 1980, VOLLE 1981). En effet, quand les informations se présentent sous forme de valeurs comprises entre deux bornes (par exemple entre 0 et 1 après changement d'échelle) se pose le problème du choix, parfois arbitraire, de l'orientation de l'échelle des valeurs (l'importance d'une observation dans l'analyse étant alors liée aux amplitudes de ces valeurs). Pour palier à ces inconvénients on peut associer à chaque question deux réponses. La première est la réponse proprement dite et la seconde est le complémentaire à 1 de la réponse. Cela revient donc à considérer la réponse par rapport au bord gauche (repérée par le signe "+") et au bord droit de l'échelle (repérée par un "-"). Chaque observation est alors considérée avec une même importance. Dans le cas où l'orientation de l'échelle est connue et peut se ramener à une "note" (de confort par exemple) on obtient alors une "note de qualité" et une "note de défaut". Les orientations des réponses par rapport au confort n'étant pas identiques pour les 17 questions il faudra donc en tenir compte au moment de l'interprétation des plans factoriels.

3.2 Codage local

Lorsque le système de réponse est constitué d'étiquettes verbales antinomiques, l'effet d'orientation de l'échelle verbale est propre à chaque individu. De plus, la symétrie des termes utilisés n'est qu' "illusoire" (FABRE 1980). Dans les paires d'adjectifs ou d'adverbes antonymes, les fonctions des deux éléments de la paire ne sont pas équivalentes. Par exemple, pour la question relative à la douleur dans le dos, une réponse donnée à droite, qui semble apparemment positive au sens du confort, peut avoir une fonction dénomminativement neutre: cette réponse ne signifiant pas nécessairement que le

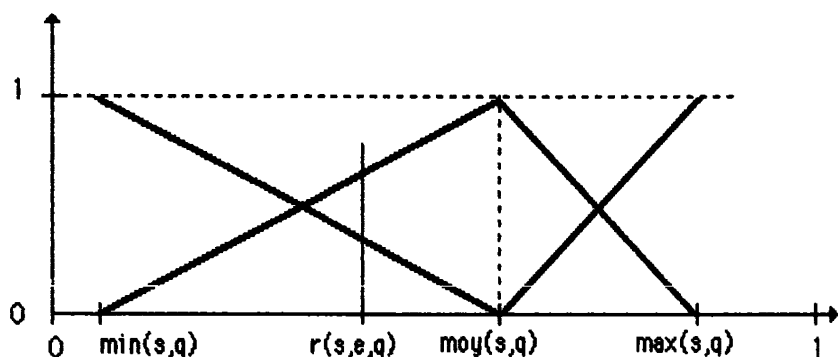


Figure 9: Fonctions d'appartenance des 3 nuances

sujet se "sente bien". Au contraire, la réponse à gauche manifeste un inconfort extrême.

Le "calibrage des capteurs" (entendez ici des sujets auquel on associe une question) n'est plus identique mais, cette fois-ci, adapté à la sensibilité de chacun (BEHRAKIS, NICOLACOPOULOS 1988; et MEZOUGH). Néanmoins, il faut prendre garde à ne pas dilater "artificiellement" la plage réellement utilisée de l'axe sémantique. Par exemple, celle-ci peut être divisée en 3 nuances de la façon indiquée sur la figure 9

Le choix pour chaque sujet des valeurs extrêmes et de la moyenne doit tenir compte du type de formulation de l'axe sémantique. En effet, l'échelle verbale présente apparemment, tantôt une évolution strictement monotone, (questions 1 à 6), tantôt un caractère symétrique par rapport au centre du segment, (questions 7 à 11). Dans ces conditions, on a calculé le maximum, le minimum et la moyenne séparément pour ces deux groupes de questions. La formule du codage adaptatif est alors donnée de la façon suivante.

Pour chaque groupe de questions, les équations de codage d'une réponse $r(s,e,q)$ d'un sujet s à la question q pour une période expérimentale e seront obtenues à partir de:

$\min(s)$ = minimum de la réponse donnée par s

$\max(s)$ = maximum _____

$\text{moy}(s)$ = moyenne des réponses _____

ces nombres étant calculés pour les 36 périodes expérimentales.

Si, $\min(s,q) < r(s,e,q) < \text{moy}(s,q)$ on considère que les 3 nuances sont représentées par:

$$n-(s,e,q) + n=(s,e,q) = 1$$

$$n-(s,e,q).\min(s,q) + n=(s,e,q).\text{moy}(s,q) = r(s,e,q)$$

$$n+(s,e,q) = 0$$

Si $\text{moy}(s,q) < r(s,e,q) < \max(s,q)$ on obtient:

$$n-(s,e,q) = 0$$

$$n=(s,e,q) + n+(s,e,q) = 1$$

$$n=(s,e,q).\text{moy}(s,q) + n+(s,e,q).\max(s,q) = r(s,e,q)$$

L'analyse ici présentée concerne l'évolution intra et inter-expérimentale des appréciations de l'ensemble des sujets. Pour cela on construit le tableau croisant, en ligne, les 36 périodes moyennes (calculées en concaténant les réponses des 12 sujets), en colonne, les 17x3 modalités relatives aux questions. Une telle disposition permettra de filtrer les différences inter-individuelles. En plus des 36 périodes expérimentales on peut constituer une expérience "optimale au sens du confort" qui correspondrait à des réponses idéales au sens du confort (figure 13). Ce dernier élément sera placé en observation illustrative. Les 3 premiers axes factoriels représentent respectivement 30, 13 et 11% de l'inertie du nuage initial.

La figure 10 montre les projections des 17x3 modalités sur le plan (1,2). La figure 11 présente les 36 périodes expérimentales et caractérise donc les évolutions intra et inter-expérience. Le premier axe factoriel oppose principalement, les modalités repérées par un "+" à celles repérées par un "-" relatives à la question 1 (envie de bouger), à la question 3 (fatigue) et à la question 4g (douleur dans le dos). De plus, on peut remarquer que l'effet de "bras de levier" est relativement important pour les modalités extrêmes de ces 3 variables. Le premier axe factoriel traduit donc un niveau général de confort: une expérience sera d'autant mieux perçue sur le plan du confort qu'elle sera d'autant plus située à droite de l'origine. La figure 11 permet de faire apparaître les évolutions intra-expériences: le passage de la première à la quatrième période s'accompagne toujours d'une dégradation, plus ou moins importante, du niveau de confort. La position de l'expérience "optimale" (notée OPT) à l'extrême droite de l'axe confirme ces remarques.

L'axe 2 traduit l'influence de la question 10 (appréciation sur la table). On peut remarquer, pour cette dernière, que les modalités extrêmes sont situées à égale distance de l'origine. Ceci traduit le fait que, globalement, les réponses se distribuent pratiquement de façon symétrique par rapport au différenciateur sémantique.

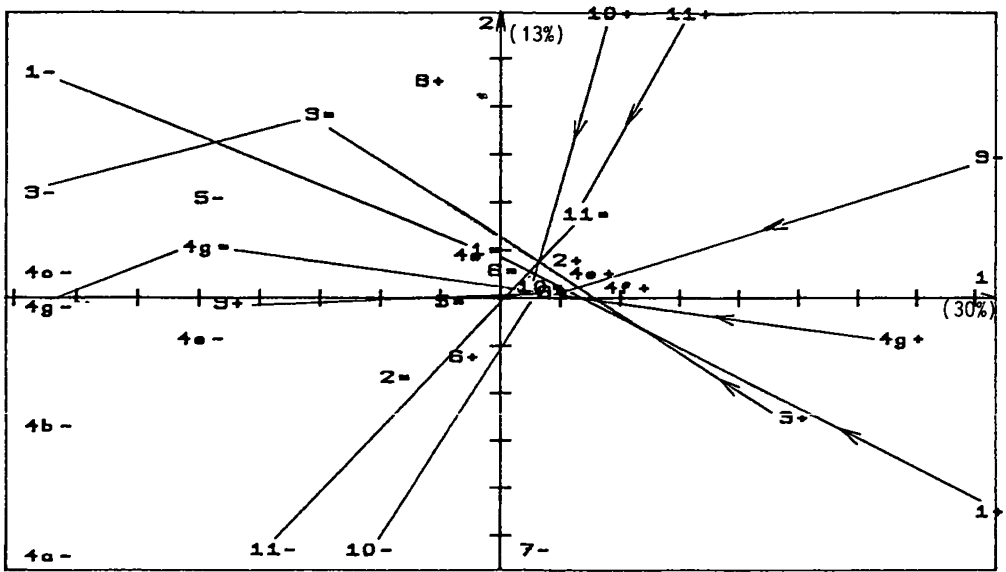


Figure 10: Projections des 17x3 points modalités sur le plan (1,2). Certaines superpositions empêchent de marquer tous les points.

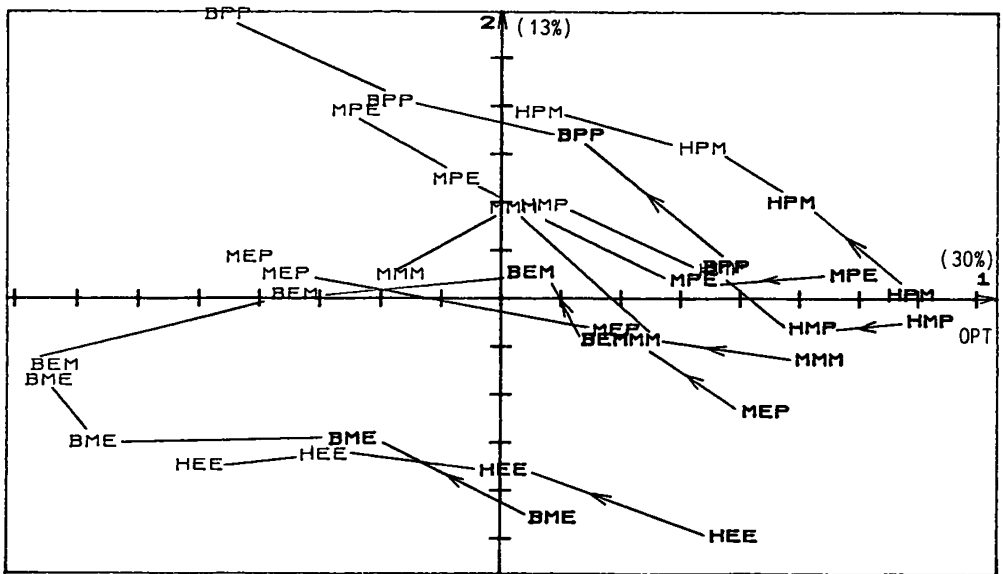


Figure 11: Projection des 36 périodes expérimentales. Les 4 périodes d'une même expérience sont jointes de la période 1 à la période 4. Le point "OPT" correspond aux 17 réponses "optimales"

Notation: en triplets ATD :

- A représente la modalité pour la hauteur d'assise (B,M,H)
- T - - - - - l'éloignement de la table (P,M,E)
- D - - - - - du dossier (P,M,E)

En tenant compte de l'interprétation faite à partir des deux axes factoriels on pourra donc conclure qu'une expérience sera d'autant mieux appréciée qu'elle sera d'autant plus située à droite et le long du premier axe et qu'elle présentera des variations internes plus faibles. L'expérience qui répond le mieux à ces deux conditions est HMP (assise haute, table moyenne et dossier proche). A l'opposé, on trouve les expériences BEM et BME.

Globalement, on observe également, en considérant les 3 premiers axes factoriels, que les appréciations sur les réglages sont relativement cohérentes avec ceux-ci. De plus, on remarque que les questions 9, 10 et 11 sont plus ou moins corrélées ce qui semblerait prouver qu'il n'y ait pas indépendance entre les réglages. On peut donner une interprétation, certes intuitive, de ce phénomène au niveau de l'interaction de l'influence des réglages de la table ou de l'assise: lorsque l'on modifie l'un d'eux, le sujet a des difficultés à déterminer l'origine de la modification. Par exemple, si la table est éloignée de l'assise: la table est-elle trop haute ou l'assise est-elle trop basse ?

4 Approche par les sous-ensembles flous (SEF)

Nous venons de voir comment l'AFC permet de répondre à notre problème d'analyse globale des impressions subjectives. Sur le plan formel cette méthode consiste à prendre en compte des vecteurs dont les coordonnées peuvent être des fréquences ou, dans notre cas, des notes. Pour les comparer, on alors utilisé la distance du χ^2 .

Nous avons pensé aborder le problème d'une façon différente tant sur la façon de considérer les données que sur la façon de les comparer. En effet, au lieu d'analyser directement les données brutes, on a imaginé travailler sur des fonctions de répartitions issues de celles-ci. Par exemple, si l'on considère une question, on peut construire la fonction de répartition à partir des réponses données pour chaque sujet à chaque réglage et à chaque période (donc $12 \times 9 \times 4$ réponses). Pour comparer deux fonctions on propose alors de calculer la surface entre celles-ci. Nous exposons ci-après cette approche

Au départ, si l'on a choisi de développer une méthode basée sur les sous-ensembles flous, c'est parce que cette approche nous a semblé peut-être, plus adaptée à la subjectivité de l'Homme, donc aux questionnaires que nous avons utilisés. D'autre part, les SEF permettent la quantification des adjectifs tels que, beaucoup, très... (ZADEH 1972) et il peut être intéressant d'introduire une telle notion dans le traitement. Enfin, la possibilité de mettre en oeuvre des SEF et leur mathématique doit permettre la mise en relation des données objectives et subjectives d'une façon originale, à savoir par des inférences du type si... alors.

La méthode fait appel aux sous-ensembles aléatoires flous (SEAF) que nous allons définir:

Soit E un référentiel fini ;

soit A un sous-ensemble flou (SEF) de E , supposons que la fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ soit une variable aléatoire prenant ses valeurs dans $[0,1]$ et dont la densité $f(\mu_A(x)=a)$ est donnée pour tout x de E , on dira que A est un sous-ensemble aléatoire flou (KAUFMANN 1983).

En discret, on pourra caractériser un SEAF par des fonctions de répartition associées à chaque variable.

L'intérêt d'utiliser les SEAF provient du fait que ceux-ci conservent la grande majorité des propriétés des SEF, en outre celles correspondant aux compositions, qui nous permettront d'établir une relation entre les données objectives et subjectives.

L'idée du traitement est d'associer aux différents caractères (réglage, période, sujets), des SEAF et de les comparer entre eux. Pour pouvoir les comparer nous utilisons le concept de distance entre deux fonctions de répartition F_1 et F_2 :

$$\mu \in [0,1] \quad F_1(\mu), F_2(\mu) \in [0,1],$$

$$d(F_1(\mu), F_2(\mu)) = \int_0^1 |F_1(\mu) - F_2(\mu)| d\mu$$

Cette distance représente donc l'aire séparant les deux fonctions de répartition. La distance entre deux SEAF A_1 et A_2 d'un même référentiel E est alors donnée par (KAUFMANN 1984):

$$\partial(F_1(\mu), F_2(\mu)) = \int_{x=a}^b d(F_1(\mu, x), F_2(\mu, x)) . dx \quad x, a, b \in E$$

Dans la suite, un sujet auquel on demande de qualifier une notion subjective sera appelé expert.

Ces définitions étant données, nous allons passer au traitement proprement dit.

Dans un premier temps nous avons voulu opérer une classification des experts sur certains caractères (réglages, périodes). Pour ce faire nous avons construit des matrices de distances inter-experts. Ces matrices symétriques et antiréflexives sont appelées de dissemblance. Nous décomposons alors cette matrice pour en extraire les sous-relations maximales (ou classes). Remarquons qu'étant donné la non-transitivité de la relation de dissemblance, ces classes sont empiétantes.

Nous nous sommes alors trouvés confrontés à la façon de représenter visuellement le treillis associé. A notre connaissance il n'en existe aucune, hormis une approche limitée à des matrices particulières (DIDAY 1985) qui

propose à l'aide de pyramides (extension des hiérarchies) de représenter visuellement des classes empiétantes.

Nous avons néanmoins utilisé cette méthode dans les cas (relativement rares) où nos matrices entraient dans le cadre des matrices utilisées par DIDAY ou, s'en approchaient de telle sorte à pouvoir réaliser des "concessions".

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
a	0	26.4	18.1	18.1	2.4	26.4	54.3	2.4	7.5	18.1	26.4	18.1
b		0	34.8	34.8	26.4	2.4	51.6	26.4	30.6	34.8	2.4	34.8
c			0	2.4	18.1	34.8	61.2	18.1	13.5	2.4	34.8	2.4
d				0	10.1	34.8	61.2	18.1	13.5	2.4	34.8	2.4
e					0	26.4	54.3	2.4	7.5	18.1	26.4	18.1
f						0	51.6	26.4	30.6	34.8	2.4	34.8
g							0	54.3	56.1	61.2	51.6	61.2
h								0	7.5	18.1	26.4	18.1
i									0	13.5	30.6	13.5
j										0	34.8	2.4
k											0	34.8
l												0

Matrice pour la question 4a

Par exemple, nous avons obtenu pour la question 4a, ("Avez-vous mal aux jambes tous réglages confondus"), la matrice ci-jointe.

Cette matrice réarrangée suivant les colonnes gbafkaehcdjl se retrouve mise sous l'une des formes des matrices utilisées par DIDAY. Nous avons alors tracé sa pyramide associée (figure 12).

Sur cette pyramide deux remarques importantes sont à faire:

-au seuil 34,8 ne restent que deux classes {g} et {abcdefhijkl}. L'expert g se retrouve donc seul contre tous les autres et s'agrège très mal avec eux. Effectivement, la classe {abcdefhijkl} se forme au seuil 34,8 et g ne commence à s'agréger qu'au seuil 51,6.

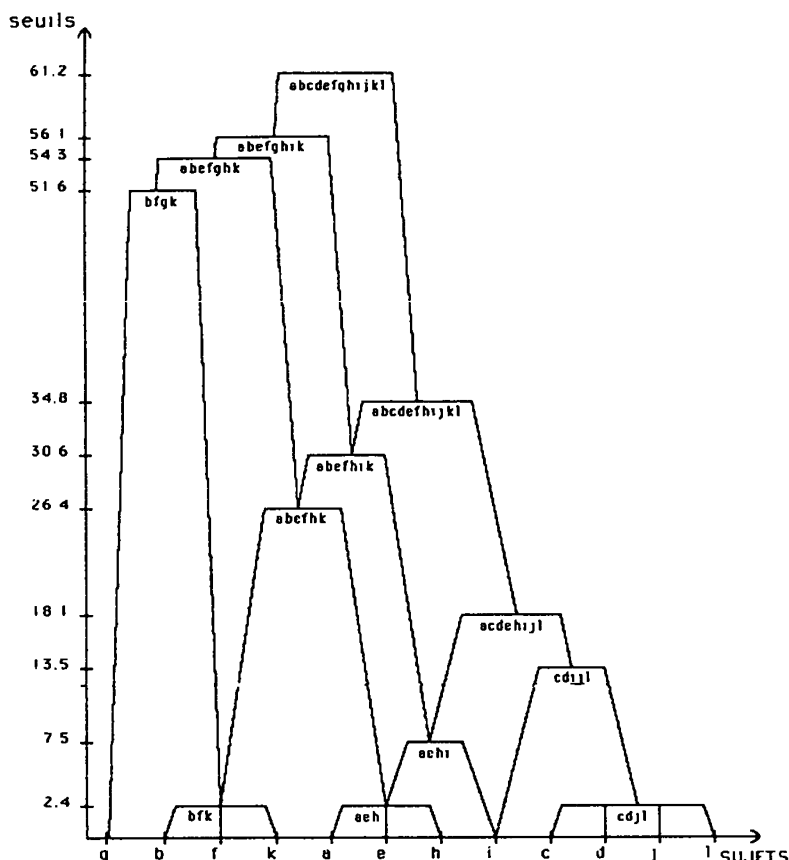


Figure 12: Représentation de classes empiétantes: pyramide

-g étant alors considéré comme expert à part, on peut remarquer au seuil 18,1 deux classes (en dehors de {g}) disjointes: {bfgk} et {acdehijl}. Il y a donc opposition de deux groupes d'experts dans la réponse à la question.

A l'aide de cette classification nous avons tiré les conclusions suivantes sur les experts: Il se dégage deux groupes d'experts, l'un composé de 10 experts, l'autre de 2. Ces deux groupes se distinguent en fait par une différence de stratégie vis-à-vis de la réponse aux différenciateurs sémantiques. Effectivement les deux experts se distinguant des autres sont en fait ceux qui ont le plus largement utilisé l'axe du différenciateur. D'autres résultats plus approfondis ont été trouvés, nous n'en citerons qu'un pour exemple, celui-ci renforçant, si besoin est encore de le faire, la cohérence des experts aux réponses. On a noté que deux experts se sont retrouvés systématiquement à l'opposé des autres pour la

question 4e ("avez-vous mal aux yeux") et que ces deux mêmes experts ont présenté un comportement analogue pour la question 14 ("comment trouvez-vous l'ambiance lumineuse").

La classification sur les experts ayant été effectuée, nous avons alors appliqué la méthode pour tenter de dégager, parmi les 9 expériences réalisées la, ou les expériences les mieux perçues par les experts.

Pour ce faire nous avons commencé par définir un SEAF optimal subjectif. Celui-ci est composé des réponses "idéales" d'un expert au questionnaire (fig 13)

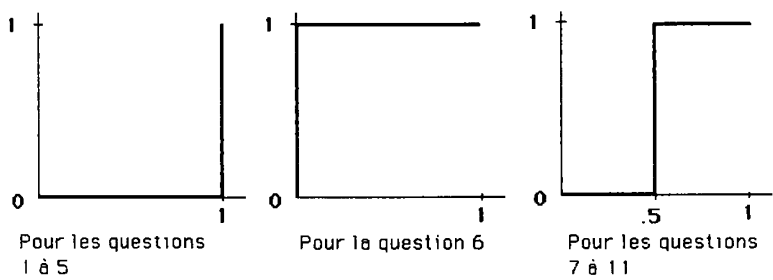


Figure 13: Fonctions de répartition associées aux réponses optimales au questionnaire

D'autre part nous avons défini un profil moyen par question comme concaténation des fonctions de répartition calculées à l'aide des réponses des 12 experts. Nous avons alors calculé les distances entre chaque réglage et le profil optimal, et entre chaque réglage et le profil moyen, puis nous les avons représentées dans un plan moyen-optimal. Sur la figure 14 nous avons mis un exemple de plan moyen-optimal pour un réglage ABC. ABC est caractérisé par

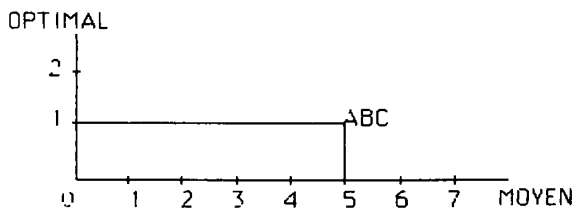


figure 14: Exemple de plan moyen-optimal

son éloignement par rapport aux axes. Dans notre cas ABC est à 0.5 de l'axe optimal et à 0.1 de l'axe moyen.

Sur la figure 15 sont représentés les 9 réglages toutes questions et périodes confondues. Sur ce plan on peut remarquer que le réglage HMP est le plus proche de l'axe optimal, il semble donc être le mieux apprécié par l'ensemble des experts à l'opposé du réglage BME. D'autre part, on remarque que, l'évolution temporelle n'a pas d'influence sur l'appréciation des réglages par les experts (il n'y a pas d'éloignement systématique de l'axe optimal). Pour les questions 1 à 8 on constate par contre que l'évolution intra-expérience s'accompagne pour les réglages d'un éloignement de l'optimal, ce qui tend à prouver que les gênes et les douleurs augmentent au fur et à mesure de l'expérience.

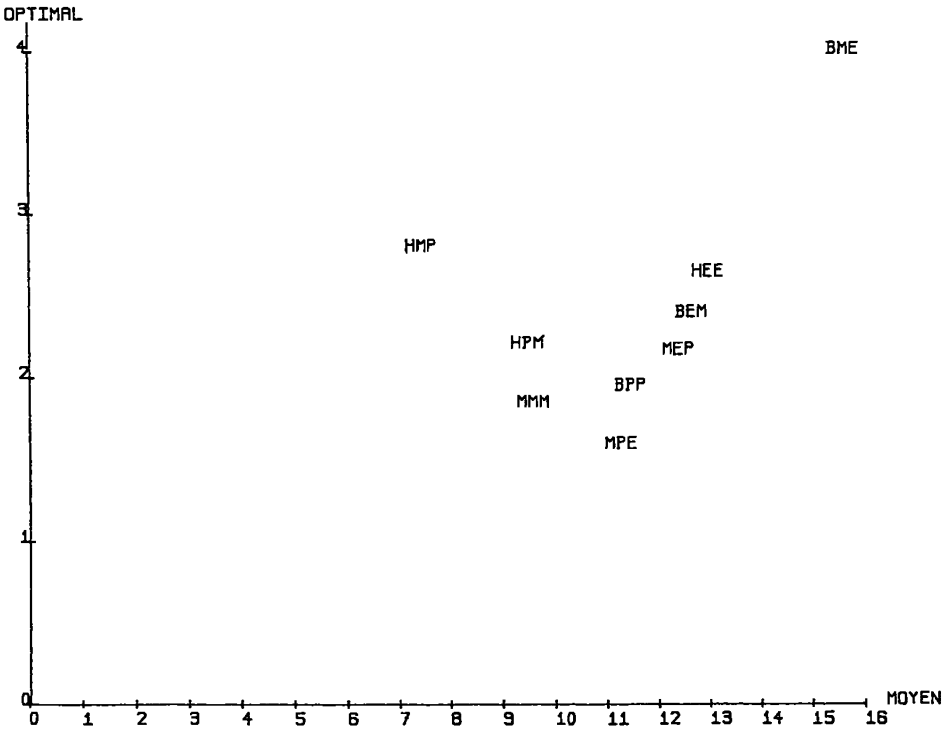


Figure 15: Représentation dans le plan moyen-optimal des 9 réglages

5 CONCLUSION

L'analyse des histogrammes relatifs à chaque question a permis de faire apparaître certaines stratégies de comportement du sujet vis-à-vis du différenciateur sémantique. De ces comportements, mais surtout en raison de la formulation des questions, il apparaît, en premier lieu que le modèle gaussien pour la distribution des réponses ne peut être retenu. La conséquence de ceci est l'impossibilité d'utiliser, de "manière fiable" l'analyse de la variance. Certes, cette impossibilité ne nous permettra donc pas de déterminer la meilleure configuration parmi les 27 possibles du poste de travail. Néanmoins, il nous semble préférable de pouvoir tirer des résultats "sûrs", en se restreignant aux 9 configurations étudiées que de tenir des propos "hasardeux" sur des réglages non étudiés. D'ailleurs, les deux méthodes multivariées utilisées ont prouvé, en donnant des résultats convergents, et notamment en permettant de dégager sans aucune ambiguïté une configuration optimale des réglages, que l'on pouvait s'abstenir d'utiliser un modèle probabiliste.

A propos de ces deux méthodes, il convient de remarquer que, si l'AFC se propose de mettre en correspondance deux, voire plusieurs caractères nominaux, l'approche basée sur les SEF permet l'intégration d'un caractère en faisant appel aux fonctions de répartition. Cette différence permet à cette seconde approche de présenter des résultats, peut-être plus facilement interprétables mais, moins riches. Ajoutons enfin, que, dans l'avenir, nous envisageons de mettre en relation les appréciations subjectives et les données objectives (comportement postural et performances).

Bibliographie

- F. BACHER (1982): *Les enquêtes en psychologie*; Presses Universitaires de Lille
- T. BEHRAKIS, I. NICOLACOPOULOS (1988): *Analyse des réponses de 2000 électeurs à un thermomètre de sympathie vis-à-vis de personnalités politiques grecques*; C.A.D. vol XIII n° 2.
- J.P. BENZÉCRI (1980): *Pratique de l'analyse des données. Analyse des correspondances*; DUNOD éditeur.
- E. DIDAY (1986): *Une représentation visuelle des classes empiétantes: les pyramides APII*, ATP spécial n°5.
- FABRE (1980): *Jugement et certitude. Recherche sur l'évaluation des connaissances*, Edition Peter Lang.

- F.J. GALLEG0 (1982): *Codage flou en analyse des correspondances*; Les Cahiers de l'Analyse des Données. Vol VII n°4 pp413-430.
- A. KAUFMANN (1983): *Sous-ensembles aléatoires flous et possibilité aléatoire* ; Note de travail 105.
- A. KAUFMANN (1984): *Avis d'experts et "experts systems" utilisant les sous-ensembles aléatoires flous*; Note de travail 118.
- F.X. LEPOUTRE, D. ROGER (1982): *Système vision-posture: ergonomie des sièges de bureau*; Rapport final, LAIH, Université de Valenciennes.
- P. LOSLEVER, F.X. LEPOUTRE, D. ROGER (1986): *Système vision-posture: rapport interne*, LAIH, Université de Valenciennes.
- M. MEZOUGH1: *Sur l'équation personnelle dans l'Analyse des Questionnaires*, Thèse, à paraître.
- M. VOLLE (1981): *Analyse des données*; Edition Economica.
- L.A. ZADEH (1972): *A fuzzy set theoretic interpretation of linguistic hedges*; Journal of Cybernetics, vol.2, n°3, pp.4-34