

J.-P. BENZÉCRI

G. D. MAÏTI

## **Variation diachronique de la capacité d'exercice des insuffisants cardiaques**

*Les cahiers de l'analyse des données*, tome 15, n° 2 (1990),  
p. 145-156

[http://www.numdam.org/item?id=CAD\\_1990\\_\\_15\\_2\\_145\\_0](http://www.numdam.org/item?id=CAD_1990__15_2_145_0)

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1990, 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/>

## VARIATION DIACHRONIQUE DE LA CAPACITÉ D'EXERCICE DES INSUFFISANTS CARDIAQUES

### [EXERC. INSUFF.]

J.-P. BENZÉCRI  
G. D. MAÏTI

#### 1 Objectif initial de l'étude et structure des données

Afin d'étudier l'effet d'un produit sur la capacité d'exercice, 55 patients insuffisants cardiaques (aux stades 2 ou 3 de la New York Heart Association, 'NYHA') ont été répartis en trois groupes, {P, L, C}, recevant respectivement un placebo et les doses 50 et 100 du produit. Les patients sont désormais désignés chacun par un sigle formé d'une lettre suivie de 2 chiffres pour indiquer le traitement reçu et le numéro du dossier: on a ainsi trois sous-ensembles:

{P01... P19} {L20... L37} {C38... C55} .

Les données sont disposées en un tableau 'XR' de 55 lignes et 10 colonnes dont nous expliquerons d'abord le contenu.

XR: Exercice d'effort

10	Dose	Age	Poid	NYHA	Fejc	WK00	WK01	WK04	WK08	WK12
P01	0	72	662	3	22	248	301	311	326	301

.....

Dans la première colonne, la *Dose* est indiquée par les chiffres 0, 1 ou 2 selon qu'il s'agit des modalités *P*, *L* ou *C*. L'*Age* est exprimé en années. Le *Poids* est en hectogrammes. L'indice *NYHA*, qui vaut 2 ou 3, est d'autant plus élevé que l'insuffisance cardiaque est plus grave.

La *Fraction d'éjection* (ventriculaire gauche), est définie classiquement comme le rapport du volume d'éjection systolique (ou volume de sang chassé par une contraction cardiaque) au volume télédiastolique (ou volume maximum du ventricule, atteint en fin de diastole avant que ne débute la contraction). La *Fejc* (exprimée usuellement en %) a pour valeur normale 66 (2/3); pour nos patients elle varie de 7 à 43.

Enfin les cinq variables  $WKxy$  mesurent le temps d'exercice que le sujet peut effectuer sur une bicyclette ergométrique, respectivement après 0, 1, 4, 8 et 12 semaines de traitement.

liste des lignes sans données manquantes

1	2	3	5	6	7	9	10	12	13	14	15	16	17	19
20	21	22	25	26	27	30	32	33	36	37	38	39	40	41
42	43	44	45	46	48	50	52	53						

Dans le tableau de base 'XR', les données manquantes sont remplacées par le nombre 10000: le programme 'manq' nous permet de reconnaître 39 lignes complètes, que l'on extrait pour constituer un tableau 'XR\*' où ne manque aucune donnée. Comme on le voit dans la liste, les lignes complètes sont inégalement réparties entre les 3 traitements {P, L, C}; schématiquement on a:

[19P, 18L, 18C] → [15P, 11L, 13C].

Désormais, on travaille exclusivement sur la base des données du tableau 'XR\*'.

## 2 Codage des données et enchaînement des analyses

L'hétérogénéité des données impose d'adopter pour le tableau 'XR\*' un codage par classes. Les sigles des variables sont abrégés, de telle sorte que les modalités, faible moyenne et forte, puissent être désignées en ajoutant un signe.

```
XR*: Exercice d effort
10 Dz Ag Poi NY Fej W0 W1 W4 W8 Wd
P01 0 72 662 3 22 248 301 311 326 301
```

```
XR* {Dz, Ag, Poi, NY, Fej, W0, W1, W4, W8, Wd}
modalités {-, =, +} sauf pour {Dz0, DzL, DzC} et {NY-, NY+};
```

Nous publions le tableau des bornes des classes afin d'indiquer l'ordre de grandeur des variables et l'amplitude de leurs variations (compte tenu de ce que les modalités sont à peu près d'égal effectif).

Les variables étant découpées en classes, on construit le tableau de cooccurrence des modalités, ou tableau de Burt 'XR\*B'. Notre but étant de déceler un éventuel effet du traitement au cours du temps, il est logique de séparer les variables en deux groupes:

état initial et traitement : {Dz, Ag, Poi, NY, Fej, W0};  
réponse diachronique : {W1, W4, W8, Wd};

et d'analyser le sous-tableau de Burt croisant les 17 modalités du 1-er groupe avec les 12 modalités du 2-ème.

L'analyse (objet du §3) ayant montré que la *réponse*, ainsi définie, est tout simplement déterminée par la valeur initiale, W0, de la capacité d'effort, (valeur

Age	a	3 modalités	dont les sigles et valeurs maxima sont			
AG-		AG=	AG+	54	63	75
Poi	a	3 modalités	dont les sigles et valeurs max en hg sont			
Poi-		Poi=	Poi+	630	762	1020
NY	a	2 modalités	dont les sigles et valeurs maxima sont			
NY-		NY+		2	3	
Fej	a	3 modalités	dont les sigles et valeurs max en % sont			
Fej-		Fej=	Fej+	18	27	43
W0	a	3 modalités	dont les sigles et valeurs maxima sont			
W0-		W0=	W0+	370	573	960
W1	a	3 modalités	dont les sigles et valeurs maxima sont			
W1-		W1=	W1+	391	660	1200
W4	a	3 modalités	dont les sigles et valeurs maxima sont			
W4-		W4=	W4+	360	705	1500
W8	a	3 modalités	dont les sigles et valeurs maxima sont			
W8-		W8=	W8+	406	720	1560
Wd	a	3 modalités	dont les sigles et valeurs maxima sont			
Wd-		Wd=	Wd+	411	645	1620

initiale dont dépendent étroitement les valeurs ultérieures, W1, W4, W8, Wd), il s'impose de considérer la réponse, non dans l'absolu, mais relativement à W0.

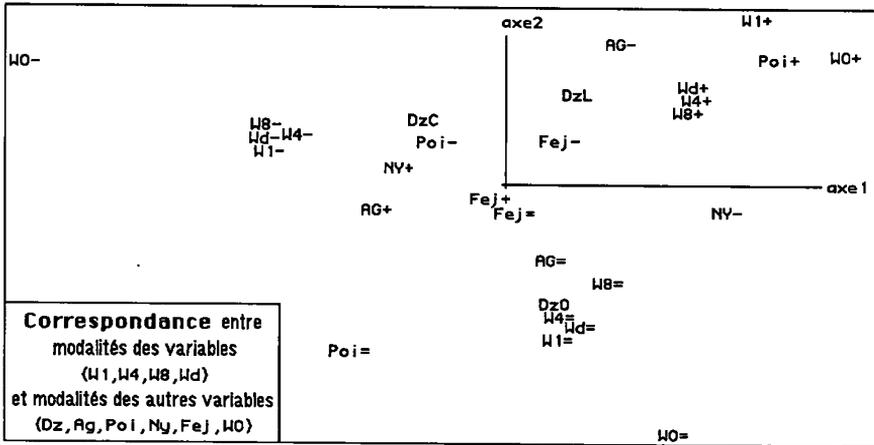
On crée donc un tableau 'XR\*§', où aux variables {W1, W4, W8, Wd} sont substituées des variables quotient: {WQ1, WQ4, WQ8, WQd}, définies par:

$$WQ1 = W1/W0 ; \dots ; WQd = Wd/W0.$$

Pour le tableau 'WR\*§', comme pour le tableau 'XR\*', on applique le codage par classes; on construit le tableau de Burt 'XR\*§B'; on analyse le sous-tableau croisant les 17 modalités des variables {Dz, Ag, Poi, NY, Fej, W0} avec les 12 modalités des variables {WQ1, WQ4, WQ8, WQd}.

Or cette analyse (objet du §4) montre que, pour notre population de patients, l'évolution de la capacité d'exercice est d'autant moins favorable (i.e. les quotients WQx sont d'autant plus bas) qu'est plus élevée la *Fraction d'éjection* (modalité Fej+, définissant une chasse relativement efficace). Pour atténuer le caractère paradoxal de ce résultat, nous disons tout de suite que, les quotients WQx sont généralement supérieurs à 1 (ce qu'on peut présumer en comparant les intervalles de variations des modalités de W1, W4, W8, Wd à celles de W0).

Cependant, la variation diachronique de la capacité d'exercice reste à préciser, dans la mesure où les modalités de même signe des variables quotients afférentes aux semaines successives ne se superposent pas (e.g. Wq1- est loin de WQd-). On construit donc un tableau 'XR\*\$' dans lequel à chaque individu *i* sont affectées 4 lignes {ia, ib, ic, id} correspondant aux 4 mesures consécutives {W1, W4, W8, Wd}; il y a alors dans chaque ligne une seule variable quotient (notée WQp, 'p' initiale de *post*, après) mais aux variables de base {Dz, Ag, Poi, NY, Fej, W0} s'ajoute la variable SEM (semaine), dont les 4 modalités sont {Sma, Smb, Smb, Smc, Smd}.



### 3 Correspondance entre la réponse diachronique et les autres variables

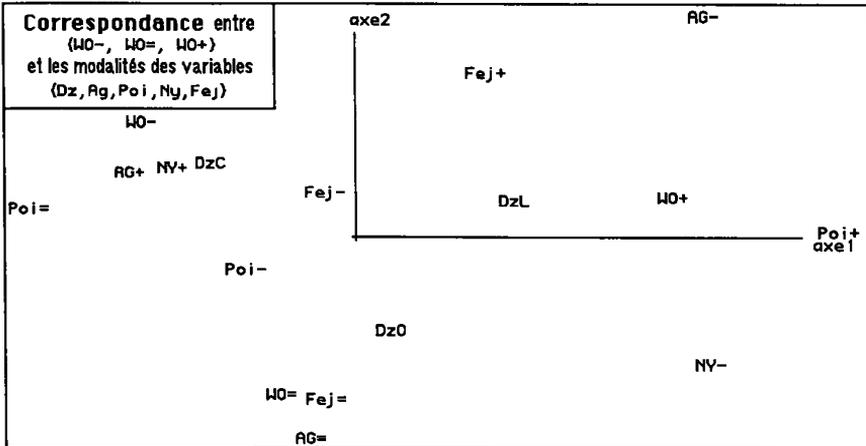
XR\*B\*(17x12): Exercice d'effort

trace :	2.967e-1						
rang :	1	2	3	4	5	6	7
lambda :	2042	735	92	82	9	7	0 e-4
taux :	6882	2477	311	278	29	22	1 e-4
cumul :	6882	9359	9670	9948	9977	9999	10000 e-4

Dans le plan (1,2), les modalités des variables {W1, W4, W8, Wd} (temps d'exercice aux semaines 1 à 12) se disposent aux sommets d'un triangle; avec, sur l'axe 1, opposition entre mauvaise performance (Wx-, F1<0) et bonne performance (Wx+, F1>0).

Parmi les autres variables (décrivant l'état initial et le traitement), on remarque d'abord les modalités de la performance initiale W0, qui s'accordent avec les modalités des performances ultérieures (de W1 à Wd). Le fait dominant est donc la constance des performances (plus précisément la constance des rangs des patients au cours des épreuves successives; le niveau général étant, d'autre part, meilleur dans la suite qu'il n'est au début).

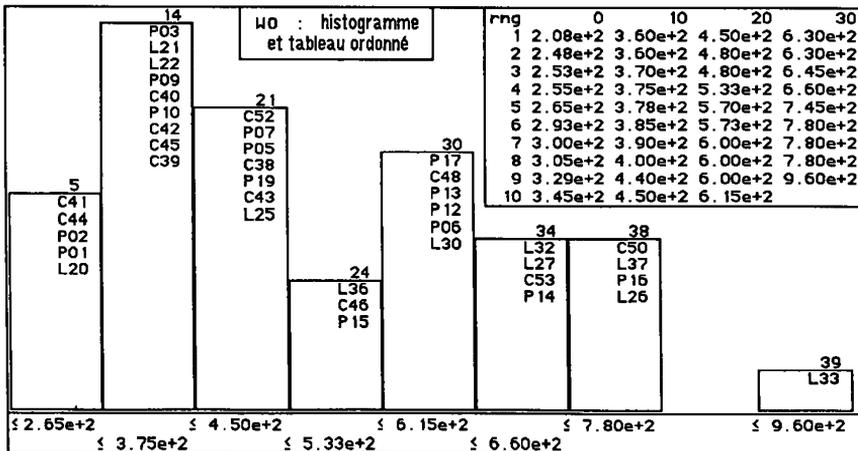
Parmi les modalités décrivant l'état initial des patients, {Poi+, Ag-, NY-}, c'est-à-dire *forte masse corporelle, jeune âge et moindre atteinte cardiaque*, semblent associées à une bonne performance d'effort; ce qui ne surprendra pas. Mais on s'étonne de trouver les modalités de la *Dose* assez écartées de l'origine; alors qu'elles devraient en être proche, si la répartition des sujets entre les traitements était aléatoire. On a donc fait une analyse complémentaire (d'un autre sous-tableau de Burt) pour préciser le lien entre, d'une part, la performance initiale W0 et d'autre part l'état initial et le traitement (lequel ne saurait aucunement influencer sur la performance initiale!).

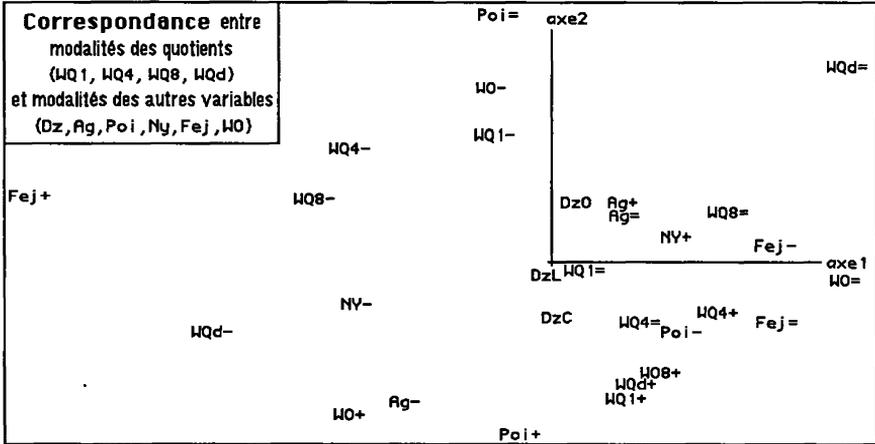


**3 bis Correspondance entre performance initiale et état initial ainsi que traitement**

XR\*B\*\* : Exercice d'effort  
 trace : 1.800e-1  
 rang : 1 2  
 lambda : 1425 374 e-4  
 taux : 7920 2080 e-4  
 cumul : 7920 10000 e-4

L'analyse complémentaire confirme le lien entre W0+ et {Poi+, AG-, NY-}; mais (bien que l'inertie afférente aux modalités de Dz soit faible) un lien réel existe entre DzL (dose 50) et bonne performance; et l'histogramme confirme que, sur 9 sujets ayant W0 ≥ 630, 5 ont reçu la dose L.





XR\*\$B\*: Exercice d'effort

trace :	1.279e-1								
rang :	1	2	3	4	5	6	7	8	
lambda :	669	284	142	107	37	27	11	2	e-4
taux :	5231	2219	1110	840	289	209	83	20	e-4
cumul :	5231	7450	8560	9400	9689	9898	9980	10000	e-4

#### 4 Évolution de la capacité d'exercice relativement à sa valeur initiale

XR\*\$S: Exercice d'effort

10	Dz	Ag	Poi	NY	Fej	W0	WQ1	WQ4	WQ8	WQd
P01	0	72	662	3	22	248	301/248	311/248	326/248	301/248

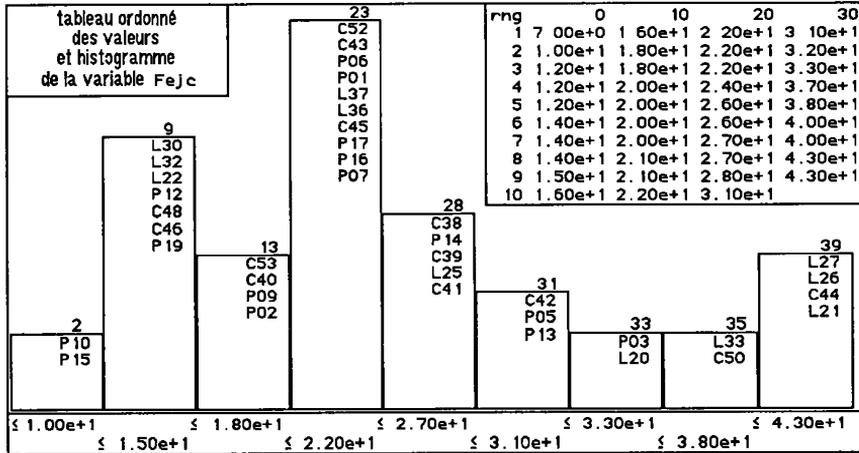
Ainsi qu'on l'a annoncé au §2, on divise par W0 les variables {W1, W4, W8, Wd} pour créer 4 variables quotient {WQ1, WQ4, WQ8, WQd}. Ces variables sont divisées en classes, dont il vaut la peine de considérer les bornes pour vérifier que l'amélioration de la capacité d'exercice est quasi générale.

XR\*\$B:

{Dz, Ag, Poi, NY, Fej, W0} modalités comme dans XR\*\$B;

WQ1 a 3 modalités dont les sigles et valeurs maxima sont			
WQ1-	WQ1=	WQ1+	1.052 1.125 1.846
WQ4 a 3 modalités dont les sigles et valeurs maxima sont			
WQ4-	WQ4=	WQ4+	1.058 1.200 1.923
WQ8 a 3 modalités dont les sigles et valeurs maxima sont			
WQ8-	WQ8=	WQ8+	1.066 1.273 2.308
WQd a 3 modalités dont les sigles et valeurs maxima sont			
WQd-	WQd=	WQd+	1.049 1.221 2.253

Plus précisément, les plus forts quotients se trouvent à la semaine 8, tandis qu'un fléchissement semble marquer la semaine 12. Dans la mesure où l'analyse ne suggère pas d'influence nette du traitement, on peut supposer qu'il s'agit soit d'un effet placebo, soit (et cette hypothèse aurait notre faveur) d'une sorte d'apprentissage (ou d'accoutumance).



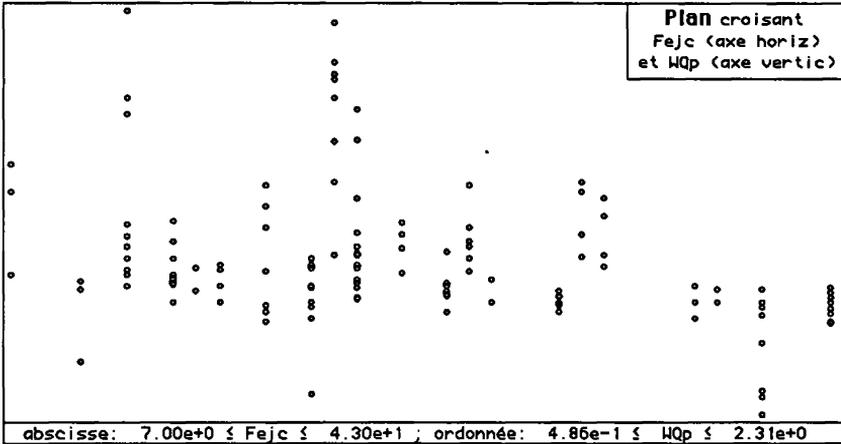
Le plan (1,2) est dominé par l'association, sur le demi-axe ( $F1 < 0$ ), de la modalité Fej+ (très écartée de l'origine) et des modalités '-' des 4 variables quotient WQx. Une telle association (sur laquelle on reviendra au §5) a de quoi surprendre: une *Fraction d'éjection* relativement élevée semblerait être la condition nécessaire d'une amélioration notable de la capacité d'exercice, traduite, dans notre codage, par des quotients WQx nettement supérieurs à 1.

Faute de mieux, on peut conjecturer que les sujets rentrant dans les modalités Fej- et Fej= sont, au contraire, ceux qui, étant bas, sont le plus susceptibles de progresser. Mais, afin d'y voir clair, il faudrait avoir, pour chaque sujet, plusieurs mesures de la *Fraction d'éjection*, effectuées de semaine en semaine, chacune avant un exercice ergométrique.

Cependant, l'objet initial de l'étude était d'évaluer l'effet du traitement; or, dans le plan (1,2), les trois modalités {Dz0, DzL, DzC} (Placebo, dose 50, dose 100) sont très proches de l'origine: on devrait donc conclure à une absence totale d'effet.

Mais considérons l'histogramme de la variable Fej<sub>c</sub>: parmi les 5 sujets pour lesquels Fej dépasse 33%, aucun n'a reçu de placebo (car leurs sigles commencent par L ou C: L27, L26, C44...). Ce biais devrait, sur l'axe 1, lier 'traitement' à Fej+ et donc à WQx-; et 'placebo' à {Fej-, Fej=} et donc {WQ+, WQ=}. Puisqu'il n'en est rien, c'est que, vraisemblablement, le biais est compensé par un effet bénéfique du traitement.

Le plan (1,2) montre, de plus, une différence entre les semaines; avec, en particulier, un étalement des modalités WQx- de WQ1- à WQd-. Dans la suite, on considérera cette différence à la lumière d'un autre codage.



VaISup	1.50e+1		2.20e+1		3.10e+1		3.80e+1	
	1.00e+1	1.80e+1	2.70e+1	3.30e+1	4.30e+1			
5.95e-1	0	0	0	1	0	0	0	3
8.11e-1	1	0	0	0	0	0	0	1
1.09e+0	1	6	9	14	7	11	0	8
1.27e+0	3	15	4	13	8	1	3	0
1.50e+0	0	4	2	2	4	0	4	0
1.62e+0	3	0	1	1	1	0	1	0
1.87e+0	0	1	0	4	0	0	0	0
2.08e+0	0	1	0	4	0	0	0	0
2.31e+0	0	1	0	1	0	0	0	0

tri croisant Fejc (col) et WQp (lignes)

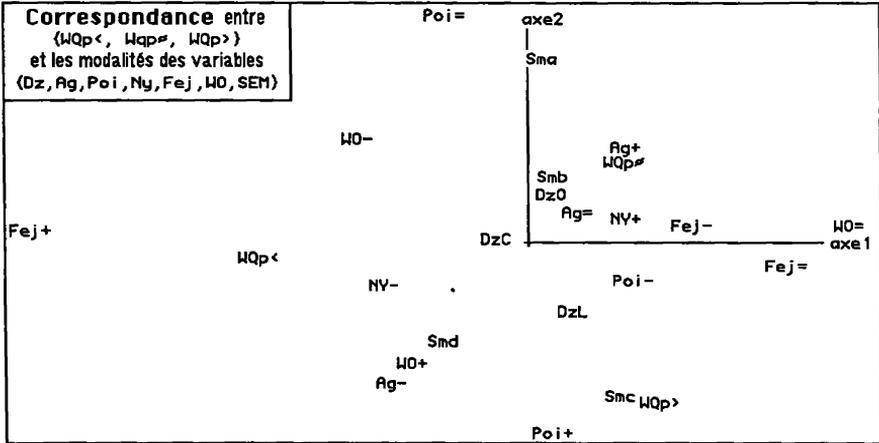
**5 Analyses où chaque mesure ergométrique effectuée en cours de traitement constitue un individu statistique**

XR\*\$: Exercice d'effort

	8	Dz	Ag	Poi	NY	Fej	W0	WQp	SEM
P01a	0	72	662	3	22	248	301/248	1	
P01b	0	72	662	3	22	248	311/248	2	
P01c	0	72	662	3	22	248	326/248	3	
P01d	0	72	662	3	22	248	301/248	4	

Pour chaque patient, on crée 4 lignes, {a, b, c, d}, afférentes aux semaines {1, 4, 8, 12}; les 6 variables {Dz, Ag, Poi, NY, Fej, W0} sont répétées à chaque ligne; on a une seule variable quotient, notée WQp ('p' ≈ post), et calculée avec le numérateur approprié; une dernière variable, SEM, est créée pour indiquer le rang de l'exercice.





```
XR*$3B:
{Dz, Ag, Poi, NY, Fej, W0} modalités comme dans XR*B;
SEM = {Sma, Smb, Smc, Smd};
WQp a 3 modalités dont les sigles et valeurs maxima sont
WQp<   WQp≈   WQp>   1.00  1.25  2.31
```

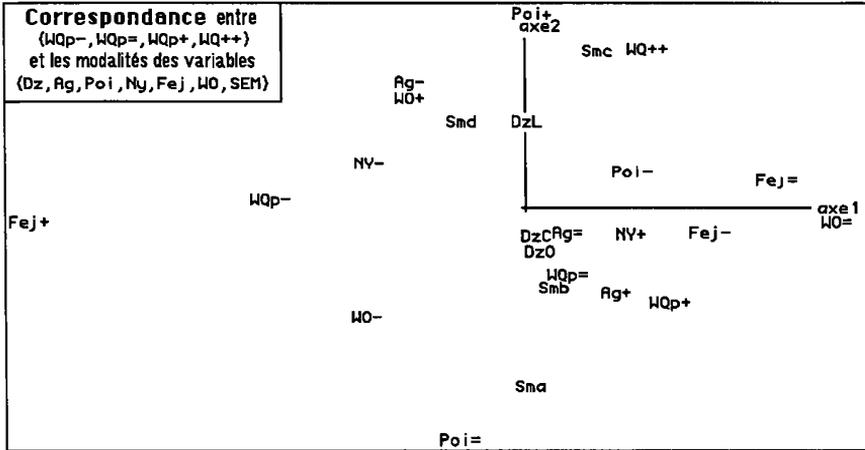
```
XR*$3B*: Exercice d'effort
trace : 7.631e-2
rang : 1 2
lambda : 514 249 e-4
taux : 6737 3263 e-4
cumul : 6737 10000 e-4
```

On a effectué deux analyses factorielles, en découpant la variable quotient WQp en 3 ou en 4 classes. Dans les deux analyses, on trouve sur le demi-axe (F1<0), comme au §4, Fej+ associé à WQp- (ou WQp<); il se confirme que les patients ayant la meilleure *Fraction d'éjection* sont ceux dont la capacité d'exercice progresse le moins.

Sur l'axe 1, les modalités de la variable SEM s'écartent peu de l'origine; toutefois de Sma à Smc le mouvement se fait dans le sens positif; puis il y a un recul avec Smd.

Ce mouvement est encore plus net sur l'axe 2; lequel peut recevoir la même interprétation dans les deux analyses, à ceci près que l'orientation s'inverse. S'opposent sur l'axe 2 les modalités moyennes (WQp≈, ou WQp= et WQp+) associées à Sma; et la modalité maxima (notée WQp> ou WQp++) associée à Smc. La 4-ème semaine, Smb, est du même côté que Sma, mais plus proche de l'origine. La 12-ème semaine, Smd, est de même en retrait par rapport à Smc.

La variation de semaine en semaine de ce mouvement qu'au §4 nous avons proposé d'attribuer à une sorte d'apprentissage, apparaît aussi sur le tri croisant WQp et SEM.



XR\*\$4B:  
{Dz, Ag, Poi, NY, Fej, W0} modalités comme dans XR\*B;  
SEM = {Sma, Smb, Smc, Smd};  
WQp a 4 modalités dont les sigles et valeurs maxima sont  
WQp- WQp= WQp+ WQ++ 1.00 1.10 1.25 2.31

XR\*\$4B\*: Exercice d'effort  
trace : 9.049e-2  
rang : 1 2 3  
lambda : 536 251 118 e-4  
taux : 5926 2770 1304 e-4  
cumul : 5926 8696 10000 e-4

ValSup	8.11e-1					1.27e+0				1.62e+0			2.08e+0	
	5.95e-1		1.09e+0		1.50e+0		1.87e+0		2.31e+0					
Sma	0	1	20	13	3	1	1	0	0					
Smb	2	0	17	13	2	1	2	2	0					
Smc	1	1	15	10	7	1	1	2	1					
Smd	1	0	16	11	4	4	1	1	1					

tri croisant WQp (col) et SEM (lignes)

Il resterait à interpréter la place des modalités du traitement {Dz0, DzL, DzC}. Sur l'axe 1, ces modalités s'écartent peu de l'origine (particulièrement si le quotient WQp est découpé en 4 modalités). Sur l'axe 2, la dose 50, DzL, semble associée à la modalité maxima de WQp (notée WQ++ ou WQp>): mais les données ne suffisent pas à conclure.

### 6 Conclusions

La présente étude a d'abord appelé notre attention sur l'amélioration quasi générale de la capacité d'exercice ergométrique des patients, au cours des

semaines. Il s'agit d'un phénomène complexe, qui semble présenter un fléchissement au bout de 3 mois (12-ème semaine) et serait corrélé négativement à la *Fraction d'éjection*. Pour faire de l'ergométrie une méthode d'investigation non invasive précise, il faudra cerner de plus près cette sorte d'apprentissage (ou d'accoutumance); notamment en mesurant Fejc avant chaque exercice ergométrique, pour des séries de patients.

Quant à l'effet du traitement, il est impossible de rien affirmer parce que les patients, trop peu nombreux, pour lesquels on dispose de données complètes ne sont pas également répartis entre les trois traitements quant à la variable Fejc dont l'importance a été révélée par l'étude. Il semble toutefois qu'en raisonnant par soustraction, comme au §4, on puisse conclure à un effet positif du produit sur la capacité d'exercice.