

Nancy-Université
Université Nancy 2



Les analyses factorielles dynamiques pour l'analyse de la variabilité intra-individuelle :

Aspects théoriques et applications

Jean-Luc KOP & Capucine DORKEL

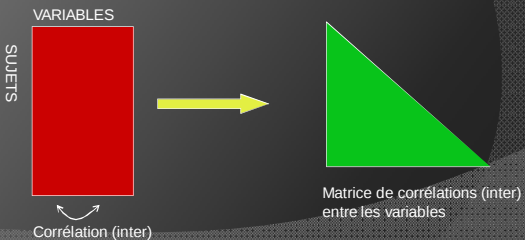
1^{er} Workshop MODEVAIIA (Rennes), 25-27 juin 2007

PLAN

- I. Variabilité inter-individuelle et variabilité intra-individuelle ou le rappel de quelques évidences.... parfois pas si évidentes
- II. L'analyse factorielle en plan P
- III. La prise en compte du temps : des modèles d'analyse des séries temporelles aux analyses factorielles dynamiques
- IV. Applications

Variabilité inter et variabilité intra

La structure des différences inter-individuelles est traditionnellement étudiée par l'intermédiaire d'analyses factorielles



Corrélation (inter)

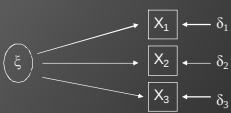
Matrice de corrélations (inter) entre les variables

Variabilité inter et variabilité intra

Le modèle factoriel s'écrit :

$$x = \lambda \times \xi + \delta$$

et se représente :



Qu'est-ce que ξ ?

Une variable qui "explique" la probabilité de donner une réponse d'un certain type à X_k

Variabilité inter et variabilité intra

sujets	X1	X2	X3	ξ
1	1	1	0	1.5
2	0	0	1	-0.75
3	0	1	0	-0.43
4	1	0	1	1.25
...	...	...	...	...

PREMIERES EVIDENCES

ξ "explique" pourquoi le sujet 1 a une plus grande probabilité de répondre juste à X1 que le sujet 2

ξ n' "explique" pas pourquoi le sujet 1 a une plus grande probabilité de répondre juste à X1 qu'à X3

Variabilité inter et variabilité intra

Quelques autres évidences :

- la valeur moyenne d'une variable peut ne correspondre à aucun individu
- la corrélation (inter-individuelle) entre deux variables peut ne correspondre à aucun individu
- l'analyse des données interindividuelles ne peut renseigner que sur les différences entre les individus
- il est absurde d'essayer de comprendre le fonctionnement psychologique à partir de l'analyse des différences entre les individus

Variabilité inter et variabilité intra

.... une question :

Pourquoi fait-on comme si on pouvait généraliser les résultats obtenus au niveau d'un échantillon d'individus (différences inter) aux individus qui le composent ?

Variabilité inter et variabilité intra

.... et une réponse :

Parce qu'on admet implicitement que les systèmes que l'on étudie sont ergodiques (identité entre les structures générales et individuelles)

Un système est ergodique à deux conditions (théorème) :

- les processus doivent être stationnaires (homogénéité temporelle)
- les processus doivent être homogènes entre les unités

Variabilité inter et variabilité intra

Les processus psychologiques ne sont certainement pas ergodiques :

- la stationnarité est peu vraisemblable
- pas plus que l'homogénéité entre les individus

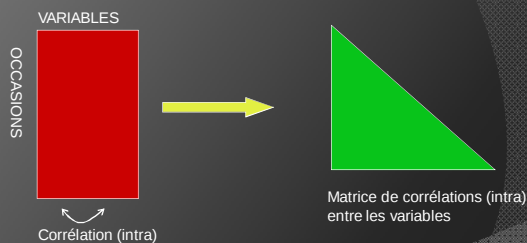
Variabilité inter et variabilité intra

Une nouvelle évidence

Pour étudier le fonctionnement individuel, le niveau d'analyse approprié est l'individu, pas le groupe d'individus

→ La source de variabilité pertinente est la variabilité intra-individuelle

Variabilité inter et variabilité intra

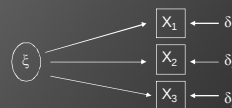


Variabilité inter et variabilité intra

Le modèle factoriel s'écrit :

$$x = \lambda \times \xi + \delta$$

et se représente :



Qu'est-ce que ξ ?

Une variable qui "explique" la probabilité de donner une réponse d'un certain type à X_k

Variabilité inter et variabilité intra

occasions	X1	X2	X3	ξ
1	1	1	0	1.5
2	0	0	1	-0.75
3	0	1	0	-0.43
4	1	0	0	-0.54
....	...	...	...	...

ξ "explique" pourquoi le sujet 1 a une plus grande probabilité de répondre juste à X1 qu'à X3

Variabilité inter et variabilité intra

Il n'y a aucune raison d'attendre une homologie entre la structure issue de l'étude de la variabilité inter et les structures issues de l'étude de la variabilité intra

Corrélation intra-individuelle :

$$\rho_{xy,i} = \frac{\sigma_{xy,i}}{\sqrt{\sigma_{x,i}^2 \sigma_{y,i}^2}}$$

Corrélation inter-individuelle :

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{\mu_{xi}\mu_{yi}} + \mu_{\sigma_{xy,i}}}{\sqrt{(\sigma_{\mu_{xi}}^2 + \mu_{\sigma_{xi}^2})(\sigma_{\mu_{yi}}^2 + \mu_{\sigma_{yi}^2})}}$$

(Hamaker, E.L., Dolan, C.V., & Molenaar, P.C.M. (2005). Statistical modeling of the individual: rationale and application of multivariate stationary time series analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 40, 207-233)

Variabilité inter et variabilité intra

suj.	var.	occasions temporelles				m
		1	2	3	4	
1	X	120	120	101	99	110
	Y	101	99	120	120	110
2	X	120	120	99	101	110
	Y	99	101	120	120	110
3	X	80	80	99	101	90
	Y	99	101	80	80	90
4	X	80	80	101	99	90
	Y	101	99	80	80	90

Schmitz, B. (2006). Advantages of studying processes in educational research, *Learning and Instruction*, 16, 433-449

Variabilité inter et variabilité intra

suj.	var.	occasions temporelles				m	r intra
		1	2	3	4		
1	X	120	120	101	99	110	
	Y	101	99	120	120	110	-.995
2	X	120	120	99	101	110	
	Y	99	101	120	120	110	-.995
3	X	80	80	99	101	90	
	Y	99	101	80	80	90	-.995
4	X	80	80	101	99	90	
	Y	101	99	80	80	90	-.995

Schmitz, B. (2006). Advantages of studying processes in educational research, *Learning and Instruction*, 16, 433-449

Variabilité inter et variabilité intra

suj.	var.	occasions temporelles				m	r intra
		1	2	3	4		
1	X	120	120	101	99	110	
	Y	101	99	120	120	110	-.995
2	X	120	120	99	101	110	
	Y	99	101	120	120	110	-.995
3	X	80	80	99	101	90	
	Y	99	101	80	80	90	-.995
4	X	80	80	101	99	90	
	Y	101	99	80	80	90	-.995
r inter		0.0	0.0	0.0	0.0		

Schmitz, B. (2006). Advantages of studying processes in educational research, *Learning and Instruction*, 16, 433-449

Variabilité inter et variabilité intra

suj.	var.	occasions temporelles				m	r intra
		1	2	3	4		
1	X	120	120	101	99	110	
	Y	101	99	120	120	110	-.995
2	X	120	120	99	101	110	
	Y	99	101	120	120	110	-.995
3	X	80	80	99	101	90	
	Y	99	101	80	80	90	-.995
4	X	80	80	101	99	90	
	Y	101	99	80	80	90	-.995
r inter		0.0	0.0	0.0	0.0		r = +1

Variabilité inter et variabilité intra

Des évidences.... pas si évidentes.... :

Thorndike (1911) : Une corrélation indique "dans quelle mesure le degré auquel un individu possède un trait est lié au degré auquel cet individu possède un autre trait"

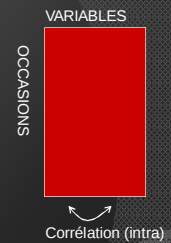
.... et un constat bien amer

Stern (1927) : "(...) la vraie individualité, dont la compréhension était mon ultime objectif, ne peut être appréhendée par le truchement de la psychologie différentielle"

L'analyse factorielle en plan P

L'analyse factorielle en plan P permet d'analyser la structure de la variabilité intra-individuelle

La technique P est une AF traditionnelle qui porte sur une matrice de données occasions * variables



L'analyse factorielle en plan P

Exemple : structure de l'affectivité

- 4 adjectifs PA : dynamique, volontaire, vivant, énergique
- 4 adjectifs NA : perturbé, craintif, anxieux, angoissé
- échelle de Likert en 7 points
- 84 occasions temporelles (deux fois par jour, pendant 6 semaines consécutives)

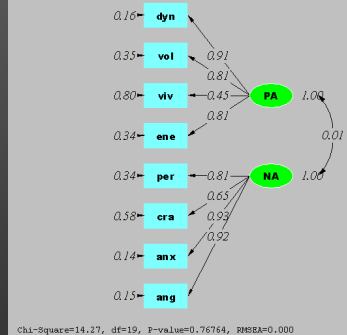
L'analyse factorielle en plan P

Sujet 39

Matrice factorielle (ML, promax)

	Facteur	
	1	2
dynamique	-.004	.915
volontaire	.025	.805
vivant	-.012	.454
énergique	.077	.813
perturbé	.811	-.038
craintif	.650	.107
anxieux	.928	-.006
angoissé	.921	.033

Sujet 39 : $r = 0.025$



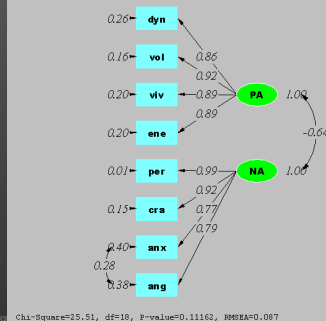
L'analyse factorielle en plan P

Sujet 11

Matrice factorielle (ML, promax)

	Facteur	
	1	2
dynamique	.857	-.583
volontaire	.914	-.560
vivant	.893	-.573
énergique	.902	-.509
perturbé	-.632	.969
craintif	-.561	.935
anxieux	-.473	.813
angoissé	-.532	.817

Sujet 11 : $r = -0.612$



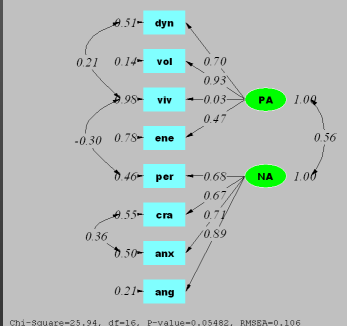
L'analyse factorielle en plan P

Sujet 4

Matrice factorielle (ML, promax)

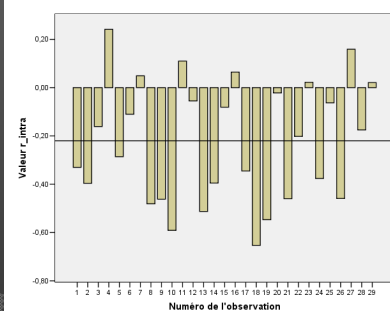
	Facteur	
	1	2
dynamique	.134	.948
volontaire	.437	.729
vivant	-.251	.200
énergique	.262	.480
perturbé	.628	.310
craintif	.893	.247
anxieux	.910	.231
angoissé	.715	.476

Sujet n° 4 ($r = 0.317$)



L'analyse factorielle en plan P

INTERLUDE : la structure de l'affectivité est-elle ergodique ?



Les analyses factorielles dynamiques

La technique P analyse la variabilité intra-individuelle, mais ne tient pas compte du temps

occa-sion	X	Y
O1	1	4
O2	5	2
O3	4	4
O4	3	6
O5	4	2
O6	2	3
O7	7	5

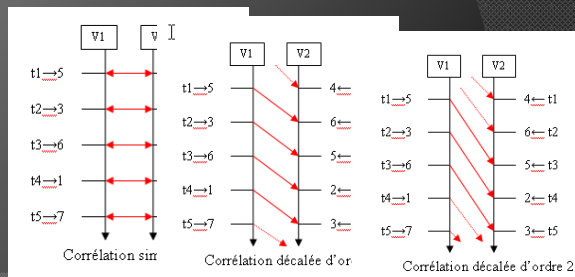
$$r(X,Y) = 0.024$$

occa-sion	X	Y
O6	2	3
O1	1	4
O3	4	4
O7	7	5
O2	5	2
O5	4	2
O4	3	6

$$r(X,Y) = 0.024$$

Les analyses factorielles dynamiques

La dynamique temporelle est introduite par l'intermédiaire de corrélations temporelles : corrélations simultanées et corrélations décalées



Les analyses factorielles dynamiques

Exemple : auto-corrélations décalées

	X	Y	X(t+1)	Y(t+1)	X(t+2)	Y(t+2)	X(t+3)	Y(t+3)
					1	4	5	2
			1	4	5	2	4	4
O1	1	4	5	2	4	3	6	
O2	5	2	4	4	3	6	4	2
O3	4	4	3	6	4	2	2	3
O4	3	6	4	2	2	3	7	5
O5	4	2	2	3	7	5		
O6	2	3	7	5				
O7	7	5						

$$r(X_t, X_{t+1}) = -0.64$$

$$r(X_t, X_{t+2}) = 0.088$$

$$r(X_t, X_{t+3}) = 0.000$$

Les analyses factorielles dynamiques

Exemple : corrélations croisées simultanées et décalées

	X	Y	X(t+1)	Y(t+1)	X(t+2)	Y(t+2)	X(t+3)	Y(t+3)
					1	4	5	2
					1	4	5	2
			1	4	5	2	4	4
O1	1	4	5	2	4	3	6	
O2	5	2	4	4	3	6	4	2
O3	4	4	3	6	4	2	2	3
O4	3	6	4	2	2	3	7	5
O5	4	2	2	3	7	5		
O6	2	3	7	5				
O7	7	5						

$$r(X_t, Y_t) = 0.024$$

$$r(X_t, Y_{t+1}) = 0.361$$

$$r(X_t, Y_{t+2}) = 0.313$$

$$r(Y_t, X_t) = 0.024$$

$$r(Y_t, X_{t+1}) = 0.115$$

$$r(Y_t, X_{t+2}) = -0.639$$

Les analyses factorielles dynamiques

Les AFD analysent donc simultanément les corrélations simultanées et les corrélations décalées

Il peut y avoir une ou plusieurs matrices de corrélations décalées



Corrélations simultanées



Corrélations décalées de lag 1



Corrélations décalées de lag 2

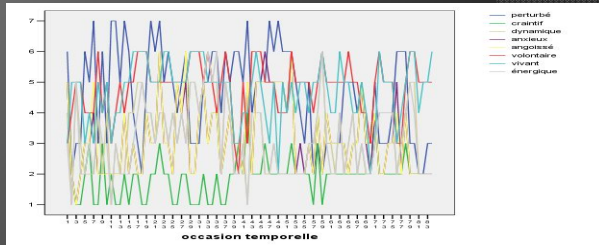


Corrélations décalées de lag 3

Les analyses factorielles dynamiques

Les AFD s'inspirent des modèles d'analyse des séries temporelles en économie

Exemple de séries temporelles (sujet n° 5)



Les analyses factorielles dynamiques

La modélisation de séries temporelles :

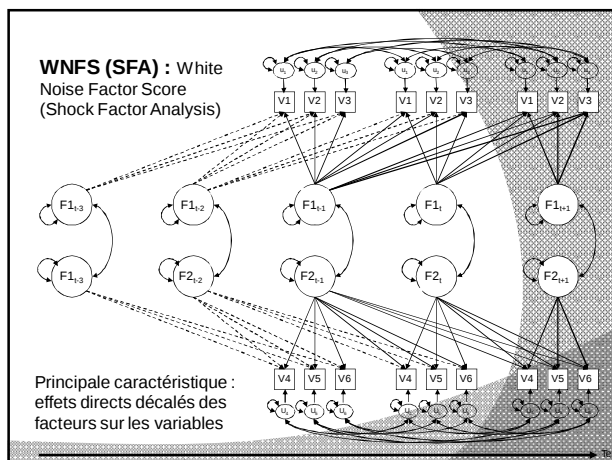
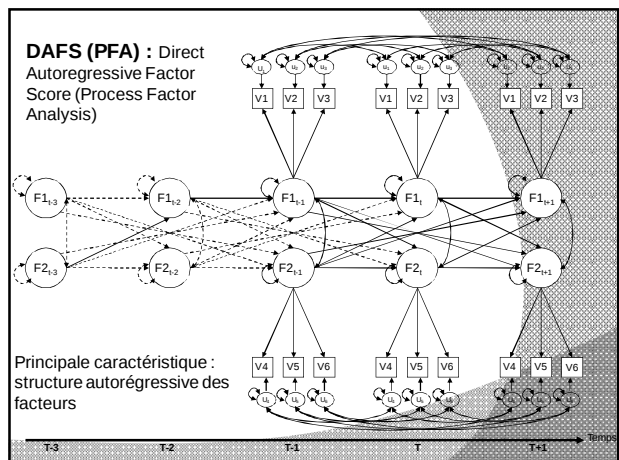
- ARMA (AutoRegressive Moving Average)
 - AR = valeurs temporellement antérieures influencent les valeurs contemporaines
 - MA = introduction de chocs aléatoires (white noise) retardés
- VARMA : V = Vector (plusieurs variables)
- MIVARMA : MI = Multiple Indicators (Hamaker, E.L., Dolan, C.V., & Molenaar, P.C.M. (2005). Statistical modeling of the individual: rationale and application of multivariate stationary time series analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 40, 207-233)

Les analyses factorielles dynamiques

DEUX PRINCIPAUX MODELES d'AFD

Nesselroade, J.R. et al. (2002). Dynamic factor analysis models for multivariate time-series analyses. In D.M. Moscovitz, S.L. Hersberger, & L. Scott (Eds.), *Modeling intraindividual variability with repeated measures data: advances and techniques* (pp. 235-265). Mahwah: Erlbaum.

Browne, M.W., & Nesselroade, J.R. (2005). Representing psychological processes with dynamic factor models: some promising uses and extensions of ARMA time series models. In A. Maydeu-Olivares & J.J. McArdle (Eds.), *Advances in psychometrics: a festschrift for Roderick P. McDonald* (pp. 415-452). Mahwah: Erlbaum.



Les analyses factorielles dynamiques

L'ESTIMATION DES PARAMETRES d'AFD

- L'estimation des paramètres est une opération techniquement complexe
- Il existe plusieurs méthodes (estimations bayésiennes, filtre de Kalman sur un algorithme du ML...) difficilement accessibles
- L'une des méthodes repose sur les MES

Les analyses factorielles dynamiques

L'ESTIMATION DES PARAMETRES d'AFD par les MES

Avec deux ordres de décalage, on doit analyser simultanément trois matrices



Corrélations
simultanées



Corrélations
décalées de
lag 1



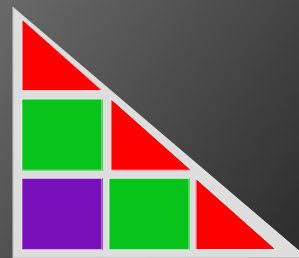
Corrélations
décalées de
lag 2

Les programmes d'analyse structurale n'admettent, en entrée que des matrices triangulaires → comment faire un triangle avec un triangle et deux carrés ?

Les analyses factorielles dynamiques

L'ESTIMATION DES PARAMETRES d'AFD par les MES

Solution : construction d'une matrice Block-Toeplitz



		t1			t2			t3		
		v1	v2	v3	v1	v2	v3	v1	v2	v3
t1	v1	1								
	v2		1							
	v3			1						
t2	v1		1		1					
	v2			1		1				
	v3				1		1			
t3	v1					1		1		
	v2						1		1	
	v3							1		1

Les analyses factorielles dynamiques

Exemple de PARAMETRAGE d'un MODELE WNFS par MES pour un décalage temporel d'une unité (lag 1)

Input : Matrice Block-Toeplitz

	A0	B0	C0	D0	A1	B1	C1	D1
A0	1							
B0	0.80	1						
C0	0.81	0.85	1					
D0	0.88	0.78	0.76	1				
A1	0.05	0.05	0.08	-0.03	1			
B1	0.14	0.21	0.18	0.09	0.80	1		
C1	0.12	0.15	0.12	0.03	0.81	0.85	1	
D1	0.14	0.11	0.15	0.06	0.88	0.78	0.76	1

Les analyses factorielles dynamiques

PARAMETRAGE d'un MODELE WNFS (lag 1)

	Conceptuellement	Techniquement
Variables observées	4	8
Variables latentes	1/2	3

Pourquoi 3 variables latentes ?

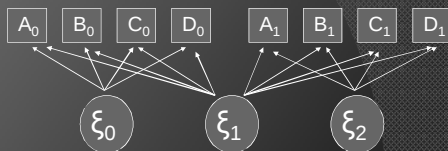
Parce qu'une variable observée est expliquée par une variable latente simultanée et une variable latente décalée :

$$A0 = f(\xi_t, \xi_{t-1})$$

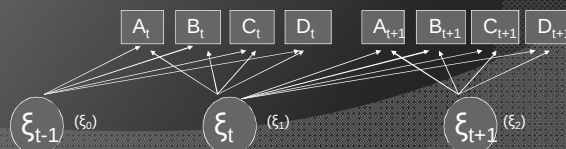
$$A1 = f(\xi_{t+1}, \xi_t)$$

Les analyses factorielles dynamiques

Techniquement

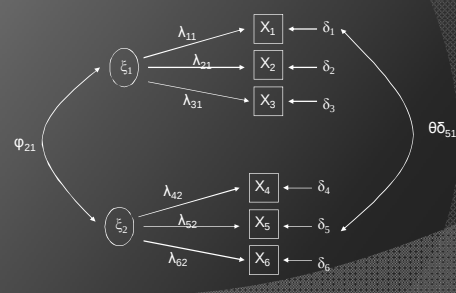


Conceptuellement



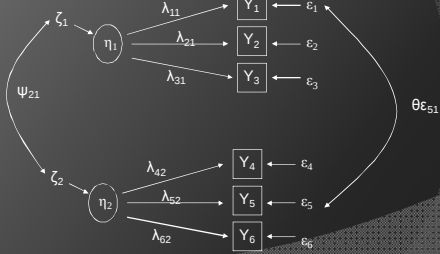
Les analyses factorielles dynamiques

RAPPEL : le modèle factoriel dans LISREL



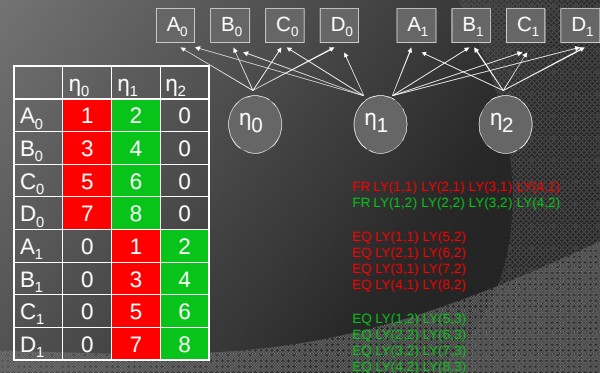
Les analyses factorielles dynamiques

RAPPEL : le modèle factoriel dans LISREL sur les variables endogènes



Les analyses factorielles dynamiques

Paramétrage et code LISREL : matrice factorielle



Les analyses factorielles dynamiques

Paramétrage et code LISREL : parties uniques

	A_0	B_0	C_0	D_0	A_1	B_1	C_1	D_1
A_0	9							
B_0	0	10						
C_0	0	0	11					
D_0	0	0	0	12				
A_1	13	0	0	0	14			
B_1	0	15	0	0	16	17		
C_1	0	0	18	0	19	20	21	
D_1	0	0	0	22	23	24	25	26

FR TE(1,1) TE(2,2) TE(3,3) TE(4,4)
FR TE(5,1) TE(6,2) TE(7,3) TE(8,4)

FR TE(5,5) TE(6,6) TE(7,7) TE(8,8)
FR TE(6,5)
FR TE(7,5) TE(7,6)
FR TE(8,5) TE(8,6) TE(8,7)

Les analyses factorielles dynamiques

Paramétrage et code LISREL : généralités

DA NI = 8 NO = 84 MA = KM
KM SY FI = <<<<< nom du fichier >>>>>>
MO NY=8 NE=3 LY=FU,FI PS=FU,FI TE=SY,FI

LA
a0 b0 c0 d0
a1 b1 c1 d1

LE
fac0
fac1
fac2

! Métrique des variables latentes (variance = 1)
VA 1.0 PS(1,1) PS(2,2) PS(3,3)

! Output
ou me = ml xm nd = 2 it = 500 ad = off

Les analyses factorielles dynamiques

WNFS 4 variables, 1 facteur, 1 lag, paramétrage Nesselroade et al. 2002
DA NI = 8 NO = 84 MA = KM
KM SY FI = lag1.txt
MO NY=8 NE=3 LY=FU,FI PS=FU,FI TE=SY,FI
LA
a0 b0 c0 d0 a1 b1 c1 d1
LE
fac0 fac1 fac2
FR LY(1,1) LY(2,1) LY(3,1) LY(4,1)
FR LY(1,2) LY(2,2) LY(3,2) LY(4,2)
EQ LY(1,1) LY(5,2) LY(2,1) LY(6,2) LY(3,1) LY(7,2) LY(4,1) LY(8,2)
EQ LY(1,2) LY(5,3) LY(2,2) LY(6,3) LY(3,2) LY(7,3) LY(4,2) LY(8,3)
FR TE(1,1) TE(2,2) TE(3,3) TE(4,4) TE(5,1) TE(6,2) TE(7,3) TE(8,4)
FR TE(5,5) TE(6,6) TE(7,7) TE(8,8) TE(6,5) TE(7,5) TE(7,6)
FR TE(8,5) TE(8,6) TE(8,7)
VA 1.0 PS(1,1) PS(2,2) PS(3,3)
ou me = ml xm nd = 2 it = 500 ad = off

Les analyses factorielles dynamiques

Résultats

	fac0	fac1	fac2
a0	0.91 (0.08) 11.02	0.13 (0.11) 1.12	- -
b0	0.85 (0.09) 9.88	0.14 (0.11) 1.21	- -
c0	0.88 (0.09) 9.98	0.16 (0.12) 1.32	- -
d0	0.91 (0.08) 10.82	0.03 (0.12) 0.24	- -

Les analyses factorielles dynamiques

Résultats

	a0	b0	c0	d0	a1	b1	c1	d1
a0	0.12							
b0	-	0.22						
c0	-	-	0.22					
d0	-	-	-	0.17				
a1	-0.01	-	-	-	0.19			
b1	-	0.05	-	-	0.04	0.28		
c1	-	-	-0.02	-	0.00	0.09	0.20	
d1	-	-	-	0.01	0.07	0.03	-0.04	0.19

Les analyses factorielles dynamiques

Indicateurs d'adéquation

Degrees of Freedom = 10

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 27.47
(P = 0.0022)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.15

P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.011

Les analyses factorielles dynamiques

Le paramétrage de modèles WNFS : l'aide du logiciel DFA

DFA = Dynamic Factor Analysis

Zhang, Z. (2005). *How to use DFA*. Retrieved June 7, 2007, from <http://www.psychstat.org/us/article.php/8.htm>.

DFA permet d'écrire automatiquement les codes LISREL correspondant à un modèle WNFS dont on précise les paramètres :

- nombre d'observations
- nombre de variables observées
- nombre de variables latentes
- nombre de décalages

DFA permet théoriquement de calculer la matrice Block-Toeplitz (inopérant)

ATTENTION : Nombreux Bugs, contrôle préalable des codes LISREL indispensable

Les analyses factorielles dynamiques

Le paramétrage de modèles WNFS : l'aide du logiciel DFA

Une différence essentielle dans le paramétrage DFA par rapport au paramétrage de Nesselroade et al. : l'introduction de contraintes d'égalité pour les variances des parties unies

	A ₀	B ₀	C ₀	D ₀	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
A ₀	9							
B ₀	0	10						
C ₀	0	0	11					
D ₀	0	0	0	12				
A ₁	13	0	0	0	9			
B ₁	0	14	0	0	15	10		
C ₁	0	0	16	0	17	18	11	
D ₁	0	0	0	19	20	21	22	12

Les analyses factorielles dynamiques

Résultats paramétrage DFA

LAMBDA-Y	fac0	fac1	fac2
a0	0.93	0.12	-
b0	0.86	0.12	-
c0	0.87	0.14	-
d0	0.91	0.03	-

THETA-EPS	a0	b0	c0	d0	a1	b1
a0	0.12					
b0	-	0.23				
c0	-	-	0.22			
d0	-	-	-	0.17		
a1	-0.01	-	-	-	0.12	
b1	-	0.05	-	-	-0.02	0.23
c1	-	-	-0.02	-	-0.02	0.07
d1	-	-	-	0.01	0.03	-0.01

	c1	d1
c1	0.22	
d1	-0.04	0.17

Degrees of Freedom = 14

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 27.76 (P = 0.015)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.11

P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.058

Les analyses factorielles dynamiques

PARAMETRAGE d'un MODELE WNFS (lag 2)

Matrice Block-Toeplitz

	A0	B0	C0	D0	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2
A0	1											
B0	0.80	1										
C0	0.81	0.85	1									
D0	0.88	0.78	0.76	1								
A1	0.05	0.05	0.08	-0.03	1							
B1	0.14	0.21	0.18	0.09	0.80	1						
C1	0.12	0.15	0.12	0.03	0.81	0.85	1					
D1	0.14	0.11	0.15	0.06	0.88	0.78	0.76	1				
A2	-0.02	0.07	-0.01	0.05	0.05	0.05	0.08	-0.03	1			
B2	0.02	0.12	0.01	0.06	0.14	0.21	0.18	0.09	0.80	1		
C2	-0.02	0.11	-0.03	0.06	0.12	0.15	0.12	0.03	0.81	0.85	1	
D2	-0.05	0.02	0.03	0.00	0.14	0.11	0.15	0.06	0.88	0.78	0.76	1

Les analyses factorielles dynamiques

PARAMETRAGE d'un MODELE WNFS (lag 2)

	Conceptuellement	Techniquement
Variables observées	4	12
Variables latentes	1/3	5

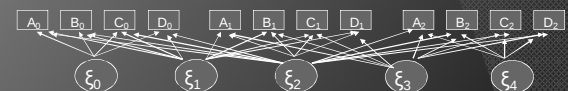
Pourquoi 5 variables latentes ?

Parce qu'une variable observée est expliquée par une variable latente simultanée et deux variables latentes décalées :

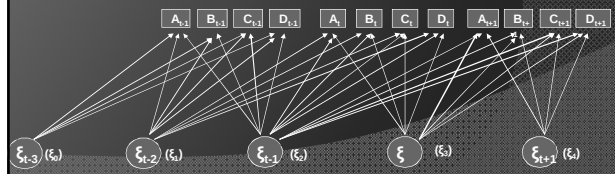
$$A_0 = f(\xi_0, \xi_{t-1}, \xi_{t-2}) \quad A_1 = f(\xi_{t+1}, \xi_t, \xi_{t-1}) \quad A_2 = f(\xi_{t+2}, \xi_{t+1}, \xi_t)$$

Les analyses factorielles dynamiques

Techniquement



Conceptuellement



Les analyses factorielles dynamiques

Paramétrage et code LISREL : matrice factorielle

	η_0	η_1	η_2	η_3	η_4
A_0	1	2	3	0	0
B_0	4	5	6	0	0
C_0	7	8	9	0	0
D_0	10	11	12	0	0
A_1	0	1	2	3	0
B_1	0	4	5	6	0
C_1	0	7	8	9	0
D_1	0	10	11	12	0
A_2	0	0	1	2	3
B_2	0	0	4	5	6
C_2	0	0	7	8	9
D_2	0	0	10	11	12

FR LY(1,1) LY(2,1) LY(3,1) LY(4,1)
 FR LY(1,2) LY(2,2) LY(3,2) LY(4,2)
 FR LY(1,3) LY(2,3) LY(3,3) LY(4,3)
 EQ LY(1,1) LY(5,2) LY(9,3)
 EQ LY(2,1) LY(6,2) LY(10,3)
 EQ LY(3,1) LY(7,2) LY(11,3)
 EQ LY(4,1) LY(8,2) LY(12,3)
 EQ LY(1,2) LY(5,3) LY(9,4)
 EQ LY(2,2) LY(6,3) LY(10,4)
 EQ LY(3,2) LY(7,3) LY(11,4)
 EQ LY(4,2) LY(8,3) LY(12,4)
 EQ LY(1,3) LY(5,4) LY(9,5)
 EQ LY(2,3) LY(6,4) LY(10,5)
 EQ LY(3,3) LY(7,4) LY(11,5)
 EQ LY(4,3) LY(8,4) LY(12,5)

Les analyses factorielles dynamiques

Paramétrage et code LISREL : parties uniques

	A_0	B_0	C_0	D_0	A_1	B_1	C_1	D_1	A_2	B_2	C_2	D_2
A_0	13											
B_0	0	14										
C_0	0	0	15									
D_0	0	0	0	16								
A_1	17	0	0	0	18							
B_1	0	19	0	0	20	21						
C_1	0	0	22	0	23	24	25					
D_1	0	0	0	26	27	28	29	30				
A_2	31	0	0	0	32	33	34	35	36			
B_2	0	37	0	0	38	39	40	41	42	43		
C_2	0	0	44	0	45	46	47	48	49	50	51	
D_2	0	0	0	52	53	54	55	56	57	58	59	60

Les analyses factorielles dynamiques

Paramétrage et code LISREL : parties uniques

FR TE(1,1) TE(2,2) TE(3,3) TE(4,4)
 FR TE(5,1) TE(6,2) TE(7,3) TE(8,4)
 FR TE(9,1) TE(10,2) TE(11,3) TE(12,4)
 FR TE(5,5)
 FR TE(6,5) TE(6,6)
 FR TE(7,5) TE(7,6) TE(7,7)
 FR TE(8,5) TE(8,6) TE(8,7) TE(8,8)
 FR TE(9,5) TE(9,6) TE(9,7) TE(9,8) TE(9,9)
 FR TE(10,5) TE(10,6) TE(10,7) TE(10,8) TE(10,9) TE(10,10)
 FR TE(11,5) TE(11,6) TE(11,7) TE(11,8) TE(11,9) TE(11,10) TE(11,11)
 FR TE(12,5) TE(12,6) TE(12,7) TE(12,8) TE(12,9) TE(12,10) TE(12,11) TE(12,12)

Les analyses factorielles dynamiques

WNFS 4 variables, 1 facteur, 2 lag, paramétrage Nesselroade et al. 2002

DA NI = 12 NO = 84 MA = KM

KM SY FI = lag2.txt

MO NY=12 NE=5 LY=FU,FI PS=FU,FI TE=SY,FI

LA

a0 b0 c0 d0 a1 b1 c1 d1 a2 b2 c2 d2

LE

fac0 fac1 fac2 fac3 fac4

FR LY(1,1) LY(2,1) LY(3,1) LY(4,1)

FR LY(1,2) LY(2,2) LY(3,2) LY(4,2)

FR LY(1,3) LY(2,3) LY(3,3) LY(4,3)

EQ LY(1,1) LY(5,2) LY(9,3)

EQ LY(2,1) LY(6,2) LY(10,3)

EQ LY(3,1) LY(7,2) LY(11,3)

EQ LY(4,1) LY(8,2) LY(12,3)

EQ LY(1,2) LY(5,3) LY(9,4)

EQ LY(2,2) LY(6,3) LY(10,4)

EQ LY(3,2) LY(7,3) LY(11,4)

EQ LY(4,2) LY(8,3) LY(12,4)

EQ LY(1,3) LY(5,4) LY(9,5)

EQ LY(2,3) LY(6,4) LY(10,5)

EQ LY(3,3) LY(7,4) LY(11,5)

EQ LY(4,3) LY(8,4) LY(12,5)

..... suite diapo suivante

Les analyses factorielles dynamiques

..... suite de la diapo précédente

FR TE(1,1) TE(2,2) TE(3,3) TE(4,4)
 FR TE(5,1) TE(6,2) TE(7,3) TE(8,4)
 FR TE(9,1) TE(10,2) TE(11,3) TE(12,4)
 FR TE(5,5)
 FR TE(6,5) TE(6,6)
 FR TE(7,5) TE(7,6) TE(7,7)
 FR TE(8,5) TE(8,6) TE(8,7) TE(8,8)
 FR TE(9,5) TE(9,6) TE(9,7) TE(9,8) TE(9,9)
 FR TE(10,5) TE(10,6) TE(10,7) TE(10,8) TE(10,9) TE(10,10)
 FR TE(11,5) TE(11,6) TE(11,7) TE(11,8) TE(11,9) TE(11,10) TE(11,11)
 FR TE(12,5) TE(12,6) TE(12,7) TE(12,8) TE(12,9) TE(12,10) TE(12,11) TE(12,12)
 VA 1.0 PS(1,1) PS(2,2) PS(3,3) PS(4,4) PS(5,5)
 OU me = ml xm nd = 2 it = 500 ad = off

Les analyses factorielles dynamiques

Résultats

	fac0	fac1	fac2	fac3	fac4
a0	0.86	-0.09	-0.08	-	-
b0	0.74	0.22	0.30	-	-
c0	0.81	0.15	0.17	-	-
d0	0.82	-0.16	0.05	-	-

Les analyses factorielles dynamiques

Paramétrage DFA (parties uniques)

	A ₀	B ₀	C ₀	D ₀	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂
A ₀	13											
B ₀	0	14										
C ₀	0	0	15									
D ₀	0	0	0	16								
A ₁	17	0	0	0	13							
B ₁	0	18	0	0	19	14						
C ₁	0	0	20	0	21	22	15					
D ₁	0	0	0	23	24	25	26	16				
A ₂	27	0	0	0	17	28	29	30	13			
B ₂	0	31	0	0	32	18	33	34	35	14		
C ₂	0	0	36	0	37	38	20	39	40	41	15	
D ₂	0	0	0	42	43	44	45	23	46	47	48	16

Les analyses factorielles dynamiques

MODELE WNFS avec 8 variables et deux facteurs (structure simple) ; deux décalages

	Conceptuellement	Techniquement
Variables observées	8	24
Variables latentes	2/6	10

Les analyses factorielles dynamiques

MODELE WNFS avec 8 variables et deux facteurs (structure simple) ; deux décalages

PARAMETRAGE et CODE LISREL

- matrice factorielle : idem
- parties uniques : idem
- métrique des variables latentes : idem
- nouveauté : corrélation entre variables latentes
 FR PS(2,1)
 EQ PS(2,1) PS(4,3) PS(6,5) PS(8,7) PS(10,9)

Les analyses factorielles dynamiques

APPLICATIONS

1) Fichiers de données au format "texte tabulé"

- 8 variables : dynamique, déterminé, entreprenant, volontaire, perturbé, craintif, anxieux, angoissé (Likert en 7 points)
- 3 fichiers : sujet5.txt ; sujet9.txt ; sujet29.txt

EXEMPLE	3	1	3	6	5	5	5
4	3	1	3	6	5	5	5
1	2	1	1	2	2	2	2
5	5	4	5	3	1	1	1
3	6	5	2	3	1	2	2
2	4	1	2	6	2	3	3
2	5	4	3	5	3	3	3
2	4	3	2	7	1	4	5
4	5	4	4	3	1	2	2
2	4	1	3	6	3	2	2
Etc.....							

Les analyses factorielles dynamiques

APPLICATIONS

2) Construction des matrices Block-Toeplitz

→ Script R pour créer 4 matrices de corrélations BT triangulaires :

- bt0.txt
- bt1.txt
- bt2.txt
- bt3.txt

```
## code pour construction de matrices Block-Toeplitz avec 0, 1, 2 et 3 décalages
## le fichier de données est de forme occasions * variables et s'appelle data.txt
## il est au format "texte tabulé"
## ce code ne gère pas les données manquantes
## Jean-Luc Kop Jan 2007

data <- read.table("data.txt", header = FALSE, blank.lines.skip = FALSE)
data
data0 <- rand(matrix(NA, nrow = 3, ncol = ncol(data)), data)
colnames(data0) <- paste(colnames(data), "_0", sep = "")
data1 <- rand(matrix(NA, nrow = 2, ncol = ncol(data)), data, matrix(NA, nrow = 1, ncol = ncol(data)))
colnames(data1) <- paste(colnames(data), "_1", sep = "")
data2 <- rand(matrix(NA, nrow = 1, ncol = ncol(data)), data, matrix(NA, nrow = 2, ncol = ncol(data)))
colnames(data2) <- paste(colnames(data), "_2", sep = "")
data3 <- rand(matrix(NA, nrow = 3, ncol = ncol(data)))
colnames(data3) <- paste(colnames(data), "_3", sep = "")
data0ag <- cbind(data0, data1, data2, data3)
data0ag

cor0ag <- cor(data0ag[, c(1:ncol(data)), data0ag[, c(1:ncol(data)) + ncol(data)*0]], use = "complete.obs")
cor1ag <- cor(data0ag[, c(1:ncol(data)), data0ag[, c(1:ncol(data)) + ncol(data)*1]], use = "complete.obs")
cor2ag <- cor(data0ag[, c(1:ncol(data)), data0ag[, c(1:ncol(data)) + ncol(data)*2]], use = "complete.obs")
cor3ag <- cor(data0ag[, c(1:ncol(data)), data0ag[, c(1:ncol(data)) + ncol(data)*3]], use = "complete.obs")
bt0 <- cor0ag
bt0[upper.tri(bt0, diag = F)] <- NA
write.table(bt0, file = "bt0.txt", na = "", row.names = FALSE, col.names = FALSE)
bt1 <- rbind(cbind(cor0ag, cor1ag), cbind(cor1ag, cor0ag))
bt1[upper.tri(bt1, diag = F)] <- NA
write.table(bt1, file = "bt1.txt", na = "", row.names = FALSE, col.names = FALSE)
bt2 <- rbind(cbind(cor0ag, cor1ag, cor2ag), cbind(cor1ag, cor0ag, cor1ag), cbind(cor2ag, cor1ag, cor0ag))
bt2[upper.tri(bt2, diag = F)] <- NA
write.table(bt2, file = "bt2.txt", na = "", row.names = FALSE, col.names = FALSE)
bt3 <- rbind(cbind(cor0ag, cor1ag, cor2ag, cor3ag), cbind(cor1ag, cor0ag, cor1ag, cor2ag), cbind(cor2ag, cor1ag, cor0ag, cor1ag), cbind(cor3ag, cor2ag, cor1ag, cor0ag))
bt3[upper.tri(bt3, diag = F)] <- NA
write.table(bt3, file = "bt3.txt", na = "", row.names = FALSE, col.names = FALSE)
round(bt0, 2)
round(bt1, 2)
round(bt2, 2)
round(bt3, 3)
```

Les analyses factorielles dynamiques

APPLICATIONS

3) Générer les codes LISREL avec DFA

- number of occasions : 84 (ou moins)
- number of variables : 8
- number of lags : 0, 1, 2 ou 3
- number of cases : 1
- number of factors : 2
- pattern : 1,1,1,1,2,2,2,2
- observed variables names : dyn, det, ent, vol, per, cra, anx, ang
- factor names : PA, NA

4) Estimer les paramètres avec LISREL

Les analyses factorielles dynamiques

RESULTATS pour le SUJET 5

	PA0	NA0	PA1	NA1	PA2	NA2
dyn0	0.89	-	0.24	-	0.34	-
det0	0.63	-	0.29	-	0.15	-
ent0	0.73	-	0.23	-	0.18	-
ene0	0.85	-	0.25	-	0.34	-
per0	-	0.38	-	0.09	-	0.38
cra0	-	0.27	-	-0.05	-	0.13
anx0	-	0.95	-	0.19	-	0.37
ang0	-	0.87	-	0.14	-	0.40

	PA0	NA0	PA1	NA1	PA2	NA2
PA0	1.00	-	-	-	-	-
NA0	-0.13	1.00	-	-	-	-
PA1	-	-	1.00	-	-	-
NA1	-	-	-0.13	1.00	-	-
PA2	-	-	-	-	1.00	-
NA2	-	-	-	-	-0.13	1.00
etc...						

Les analyses factorielles dynamiques

Quid de l'analyse factorielle "standard" d'une matrice Block-Toeplitz ?

AFC, 6 facteurs, rotation oblimin, matrice de structure (logiciel : SPSS)

	NA2	PA2	NA1	NA0	PA0	PA1
dyn0	-0.07	0.26	0.05	-0.23	0.98	-0.31
det0	-0.03	0.11	0.04	-0.13	0.72	-0.32
ent0	0.04	0.07	0.01	-0.11	0.78	-0.25
ene0	-0.04	0.28	0.03	-0.18	0.95	-0.32
per0	0.19	0.05	-0.16	0.58	-0.20	0.10
cra0	0.11	-0.13	-0.02	0.46	-0.29	0.15
anx0	0.21	0.13	-0.11	0.98	-0.05	-0.20
ang0	0.21	0.11	-0.12	0.97	-0.04	-0.18
dyn1	-0.06	0.30	0.22	-0.03	0.35	-0.98
det1	-0.06	0.32	0.13	0.06	0.27	-0.72
ent1	-0.04	0.26	0.11	0.11	0.26	-0.78
ene1	-0.04	0.31	0.18	0.01	0.36	-0.95
per1	0.16	-0.11	-0.55	0.13	-0.05	0.19
cra1	0.03	-0.15	-0.48	-0.17	-0.13	0.32
anx1	0.10	0.20	-0.98	0.19	0.00	0.05
ang1	0.10	0.18	-0.97	0.18	0.04	0.04
dyn2	-0.25	0.99	0.03	-0.01	0.23	-0.34
det2	-0.15	0.71	-0.05	0.09	0.16	-0.28
ent2	-0.14	0.78	-0.10	0.08	0.15	-0.26
ene2	-0.21	0.95	-0.01	0.03	0.19	-0.36
per2	0.54	-0.19	-0.13	0.19	-0.05	0.06
cra2	0.49	-0.32	0.16	-0.03	-0.01	0.15
anx2	0.98	-0.06	-0.19	0.29	-0.01	0.00
ang2	0.96	-0.05	-0.18	0.24	0.00	-0.04

	NA2	PA2	NA1	NA0	PA0	PA1
dyn0	-0.07	0.26	0.05	-0.23	0.98	-0.31
det0	-0.03	0.11	0.04	-0.13	0.72	-0.32
ent0	0.04	0.07	0.01	-0.11	0.78	-0.25
ene0	-0.04	0.28	0.03	-0.18	0.95	-0.32
per0	0.19	0.05	-0.16	0.58	-0.20	0.10
cra0	0.11	-0.13	-0.02	0.48	-0.29	0.15
anx0	0.21	0.13	-0.11	0.98	-0.05	-0.30
ang0	0.21	0.11	-0.12	0.97	-0.04	-0.18

	PA0	NA0	PA1	NA1	PA2	NA2
dyn0	0.98	-	0.24	-	0.34	-
det0	0.63	-	0.29	-	0.15	-
ent0	0.73	-	0.23	-	0.18	-
ene0	0.85	-	0.25	-	0.34	-
per0	-	0.38	-	0.09	-	0.38
cra0	-	0.27	-	-0.05	-	0.13
anx0	-	0.95	-	0.19	-	0.37
ang0	-	0.87	-	0.14	-	0.40

Matrice de corrélation factorielle						
Facteur	NA2	PA2	NA1	NA0	PA0	PA1
NA2	1.000	-.211	-.104	.212	-.018	.067
PA2	-.211	1.000	-.059	.070	.197	-.355
NA1	-.104	-.059	1.000	-.121	.042	-.169
NA0	.212	.070	-.121	1.000	-.178	-.064
PA0	-.018	.197	.042	-.178	1.000	-.356
PA1	.067	-.355	-.169	-.064	-.356	1.000

	PA0	NA0	PA1	NA1	PA2	NA2
PA0	1.00					
NA0	-.013	1.00				
PA1	-	-	1.00			
NA1	-	-	-.013	1.00		
PA2	-	-	-	-	1.00	
NA2	-	-	-	-	-.013	1.00
etc...						

Les analyses factorielles dynamiques

Quelques difficultés (supplémentaires) non résolues

- 1) La corrélation entre les facteurs change de manière substantielle selon le nombre de décalages pris en compte

Exemple sujet 1 (r entre scores bruts = -0.28)

	WNFS	AF standard
0 lag	-0.32	-0.29
1 lag	-0.13	-0.27
2 lag	0.34	-0.25

Les analyses factorielles dynamiques

Quelques difficultés (supplémentaires) non résolues

- 2) Les modèles WNFS (et surtout DAFS) conduisent souvent à des problèmes d'estimation (solutions non admissibles)

Exemple : sur 29 analyses (avec deux décalages)

	WNFS	DAFS
solutions non admissibles	2/29	10/29

Les analyses factorielles dynamiques

Quelques difficultés (supplémentaires) non résolues

- 3) Les AFD produisent souvent des estimations peu réalistes

Exemple : comparaisons de trois méthodes (W = WNFS ; D = DAFS ; B = corrélations entre scores bruts) (n = 29)

	B vs W	B vs D	W vs D
$PA_t \leftrightarrow NA_t$	.82	.97	.86
$PA_t \rightarrow PA_{t+1}$	.83	.87	.66
$PA_t \rightarrow PA_{t+2}$	.78	.88	.81
$NA_t \rightarrow NA_{t+1}$	.57	.79	.68
$NA_t \rightarrow NA_{t+2}$	.35	.79	.23

Les analyses factorielles dynamiques

Alternatives techniques (à tester) :

- modèles ARMA (sans variables latentes)
- DyFA (Browne & Zhang, 2005) : <http://quantrm2.psy.ohio-state.edu/browne/>
- MKFM (Hamaker, Dolan & Molenaar, 2005) : <http://users.fmg.uva.nl/cdolan/>
- macros SAS (Wood & Browne, 1994 : *Psychological Bulletin*)