

# UTILISATION DE L'ANALYSE FACTORIELLE DANS L'ÉLABORATION DES INSTRUMENTS DE MESURES: UTILITÉS ET ERREURS COURANTES

François Lasnier

Professeur et chercheur - Cégep de Sainte-Foy

Cet article vise à présenter les principaux problèmes soulevés par l'utilisation de l'analyse factorielle lors de l'élaboration d'un instrument de mesure. Il présente quelques principes de base relatifs à la conceptualisation de l'analyse factorielle. On y présente sommairement la méthode des composantes principales pour extraire les facteurs. On y retrouve aussi des exemples relatifs à différentes techniques de rotation des axes. Le principal but de l'article vise à faire ressortir les objectifs de chaque technique. Finalement, l'article vise à situer l'utilisation de l'analyse factorielle dans l'ensemble du processus d'élaboration d'un instrument de mesure.

## 1. PROBLÉMATIQUE

Depuis une décennie l'analyse factorielle est devenue la stratégie la plus utilisée pour élaborer des tests unidimensionnels (mesure d'un seul et même concept). Cependant, l'analyse de plusieurs rapports de recherche montre qu'on doit questionner certaines stratégies reliées à l'analyse factorielle utilisée lors de la validation des tests. Particulièrement, lorsqu'on utilise l'analyse factorielle pour sélectionner des items d'un test, on obtient des résultats différents de ceux obtenus par la théorie classique des items ou la théorie de la généralisabilité ou la théorie de réponse aux items (Allen et Yen, 1979; Crocker et Algina, 1986; Hamblen, Swaminatan et Rogers, 1991). En résumé l'utilisation de l'analyse factorielle présente des dangers:

- réduire le concept mesuré;

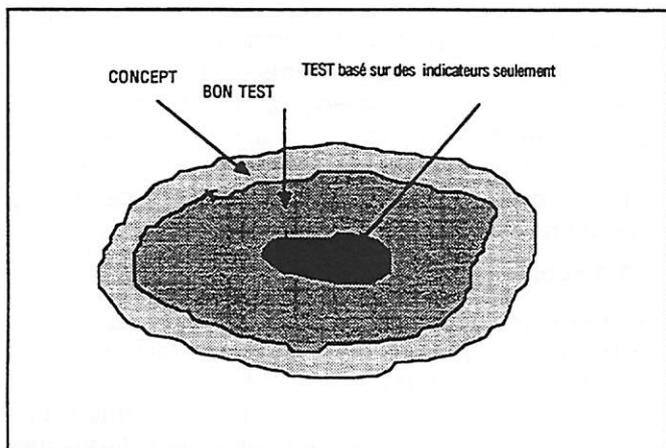


Figure 1. Conceptualisation de la mesure d'un concept

- éliminer une partie du concept en bloc;
- utiliser le mauvais type d'analyse factorielle;
- conduire souvent à une mesure erronée.

La figure 1 présente la conceptualisation de la mesure d'un concept. Cette figure illustre qu'un bon test vise à mesurer le plus complètement possible un concept, mais qu'on ne peut jamais prétendre mesurer parfaitement ce même concept. La première erreur possible consiste à baser la mesure seulement sur des «indicateurs», c'est-à-dire les manifestations observables. On risquerait alors de mesurer une toute petite partie du concept. On doit donc ajouter à la notion «indicateur», les déterminants ou les facteurs qui induisent le phénomène et ce, afin de mesurer le plus exhaustivement le concept analysé.

La figure 2 illustre la conceptualisation de la mesure en se basant sur l'analyse factorielle. En utilisant certaines techniques d'analyse factorielle, on risque de séparer un ensemble d'items et de composer des tests dont on ne sait pas exactement ce qu'ils mesurent.

## 2. MÉTHODOLOGIE

Afin de faire ressortir les erreurs possibles et les objectifs de quelques techniques d'analyses factorielles fréquemment utilisées, on présentera une série de résultats obtenus à partir du test ÉAS (État d'anxiété somatique) développé par Lasnier et Lessard (1994). Ce test comprend 14 items. Il vise à mesurer l'anxiété somatique en situation de compétition sportive. Cha-

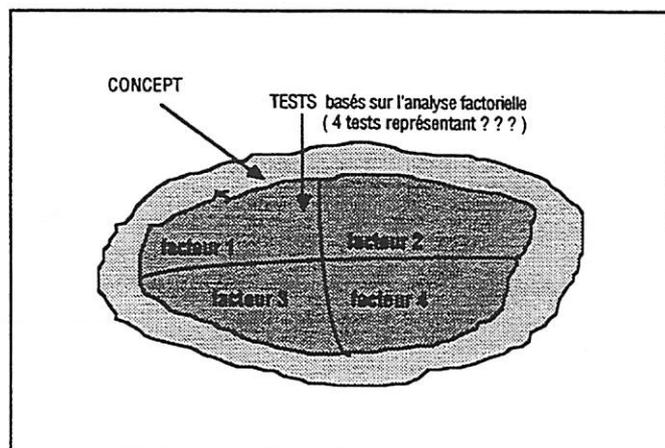


Figure 2. Conceptualisation de la mesure en se basant sur l'analyse factorielle

que item est évalué à l'aide d'une échelle à six cotes, s'échelonnant de totalement en accord à totalement en désaccord. Les sujets ayant participé à cette expérimentation sont 159 athlètes, garçons et filles, faisant tous partie d'équipes qui sont membres de la Fédération québécoise du sport étudiant. Idéalement, il serait préférable d'avoir un nombre plus grand de sujets. Généralement, on s'assure du nombre minimal de sujets équivalent à au moins 10 fois le nombre d'items (Harman, 1976).

Les techniques d'analyses factorielles utilisées ont été:

- . l'extraction des facteurs en composantes principales;
- . l'analyse factorielle sans rotation;
- . la rotation orthogonale varimax;
- . la rotation orthogonale equamax;
- . la rotation orthogonale equamax, suivie d'une rotation oblique orthotran.

### 3. RÉSULTATS

Le lecteur doit analyser ces résultats en se rappelant que les données analysées portent toutes sur les mêmes sujets et sur le même test (ÉAS); seule la technique d'analyse change.

#### 3.1. Rotation orthogonale varimax

On a d'abord extrait les facteurs en composantes principales, puis on a procédé à une rotation orthogonale varimax. Cette technique d'analyse factorielle est la plus utilisée par les chercheurs pour élaborer et valider leurs instruments de mesures. L'objectif de cette technique

ITEMS	F2	F3	F4
S1	.80		
S2	.55		
S3		.71	
S4	.68		
S5	.59		
S6	.43		
S7		.61	
S8		.80	
S9	.78		
S10			.86
S11	.80		
S12		.59	
S13	.64		
S15	.72		

Tableau 1

Coefficients de saturation du test ÉAS  
(composantes principales, rotation orthogonale varimax)

ITEMS	MOYENNE	ÉCART TYPE	r i-t (N)
S1	3,34	1,48	,60
S2	2,43	1,36	,66
S3	2,30	1,37	,59
S4	3,58	1,37	,51
S5	2,83	1,30	,44
S6	2,41	1,52	,43
S7	2,46	1,24	,53
S8	1,97	1,21	,58
S9	2,28	1,25	,43
S10	1,90	1,12	,39
S11	2,79	1,31	,45
S12	1,76	0,91	,49
S13	2,91	1,65	,44
S15	3,36	1,35	,75
Moyenne	2,59	1,32	,52
Écart type	0,56	0,18	,10
n			159
ALPHA			,86

Tableau 2  
Moyenne, écart type et r i-t (-i)  
pour chaque item du test ÉAS

est de séparer un ensemble d'items en différents facteurs non corrélés, donc n'ayant pas de liens théoriques entre eux. On l'utilise généralement pour montrer que les facteurs extraits représentent des concepts différents.

Le tableau 1 présente les coefficients de saturation obtenus à la suite de la rotation varimax. Ces coefficients peuvent s'interpréter comme une corrélation entre l'item et le facteur (ici, pour faciliter la lecture, pour chaque item, on a reproduit seulement le coefficient qui indiquait le lien le plus élevé parmi les quatre facteurs). On note qu'on obtient quatre facteurs qui regroupent un nombre inégal d'items. Si on se réfère à l'objectif poursuivi par une rotation orthogonale, on conclut qu'il y a quatre concepts différents dans cet ensemble d'items. *Je ne recommande pas cette technique*, car on risque de briser un concept unidimensionnel si on a des items réellement corrélés entre eux. Ce qui est le cas dans la présente expérimentation. Le test est unidimensionnel, tous les items sont corrélés positivement entre eux, il possède un coefficient de consistance interne élevé ( $\alpha = 0,86$ ), et tous les items contribuent à augmenter le coefficient alpha. Le tableau 2 présente une synthèse de l'analyse classique des items du test ÉAS.

#### 3.2 Rotation orthogonale equamax

Dans un deuxième temps, on a procédé à une rotation orthogonale equamax. Le but de cette technique est de séparer les différents concepts à l'intérieur de l'ensemble des items, mais cette fois, on utilise une rotation equamax, qui a comme caractéristique d'attribuer à chaque facteur une variance sensiblement égale ou une importance égale (par opposition à varimax et quartimax).

ITEMS	F1	F2	F3	F4
S1	,79			
S2	,52			
S3			,70	
S4		,69		
S5				,63
S6	,43			
S7			,60	
S8			,79	
S9		,80		
S10				,88
S11		,81		
S12			,56	
S13	,62			
S15	,71			

**Tableau 3**  
Coefficients de saturation du test ÉAS  
(composantes principales, rotation orthogonale *equamax*)

ITEMS	F1	F2	F3	F4
S1	,69			
S2	,74			
S3	,68			
S4	,58			
S5	,51			
S6	,51			
S7	,62			
S8	,68			
S9	,51			
S10	,47			
S11	,53			
S12	,58			
S13	,53			
S15	,81			

**Tableau 4**  
Coefficients de saturation  
(composantes principales, sans rotation)

	Eigenvalues	Prop. de variance
FACTEUR 1	5,23	37%
FACTEUR 2	1,47	11%
FACTEUR 3	1,15	8%
FACTEUR 4	1,02	7%

**Tableau 5**  
Valeur Eigen et proportion de variance  
expliquée pour chaque facteur.

Le tableau 3 présente les coefficients de saturations obtenus à la suite de la rotation *equamax*. On note qu'on obtient aussi quatre facteurs qui regroupent les items de la même manière qu'avec une rotation *varimax*, à l'exception de l'item S5. On conclut encore qu'il y a quatre concepts différents dans ce test. En utilisant l'analyse factorielle, avec rotation orthogonale *equamax*, on obtient théoriquement quatre tests différents qui représentent des concepts différents. Mais, on risque encore grandement de séparer un concept unidimensionnel en plusieurs parties. *Je ne recommande pas cette stratégie*, mais elle plus logique que la rotation *varimax* car elle donne une importance égale à chaque facteur.

### 3.3 Analyse factorielle sans rotation

Dans un troisième temps, on a procédé à une extraction des facteurs en composantes principales, sans rotation. Le but de cette technique est de démontrer que les items sont liés à un seul et même concept. Le tableau 4 présente les coefficients de saturation. On note que tous les items sont principalement reliés au facteur 1. On conclut qu'il n'y a pas quatre concepts différents dans ce test, mais un seul concept qui regroupe tous les items. *Je recommande cette stratégie*; elle est plus logique par rapport au cadre théorique et à l'objectif poursuivi (je veux obtenir un test qui mesure un seul concept). De plus, on note l'importance du facteur 1 (tableau 5). Il explique 37% de la variance total de l'ensemble des items ou du test comparative-ment à 11%, 8% et 7% pour les autres facteurs. Cette technique constitue une confirmation des résultats obtenus par l'analyse classique des items.

ITEMS	F1	F2	F3	F4
S1	,72			
S2	,41			
S3			,62	
S4		,64		
S5				,58
S6	,36			
S7			,52	
S8			,71	
S9		,75		
S10				,85
S11		,77		
S12			,48	
S13	,57			
S15	,60			

**Tableau 6**  
Coefficients de saturation  
(composantes principales, rotation orthogonale *equamax*,  
rotation oblique *orthotran* (matrice de référence))

	F1	F2	F3	F4
F1	1			
F2	,66	1		
F3	,79	,72	1	
F4	,76	,69	,78	1

Tableau 7

Corrélations entre les facteurs issus de la rotation oblique

### 3.4 Rotation oblique

Une fois que le chercheur a démontré la fidélité (consistance interne ou unidimensionnalité) de son test, il est souvent intéressé à analyser l'instrument sous l'angle de la validité de concept; il cherche à mieux comprendre et à expliquer les différents regroupements d'items à l'intérieur de l'ensemble du test. Dans un tel cas, il peut recourir à une analyse factorielle en composantes principales, avec une rotation orthogonale equamax, suivie d'une rotation oblique. Les objectifs poursuivis par une telle procédure sont:

- extraire des facteurs ayant une variance sensiblement égale (equamax) et qui sont corrélés entre eux (rotation oblique);
- faire ressortir les sous-concepts (les parties du concept);
- faire ressortir des facteurs différents, mais reliés entre eux;
- établir le degré de relation entre les différents facteurs;
- permettre de mieux comprendre le concept mesuré.

Je recommande aussi cette stratégie; elle est complémentaire à l'analyse classique des items (je veux obtenir un test qui mesure un seul concept, mais je cherche aussi à comprendre les différents regroupements d'items qui expliquent différentes facettes du concept analysé). Lorsque le chercheur possède un cadre théorique défini, il est intéressant de comparer les résultats de l'analyse factorielle (rotation oblique) avec son cadre théorique.

Le tableau 6 présente les résultats de cette analyse. Les coefficients présentés sont issus de la matrice de référence. On conclut qu'il y a un seul concept qui regroupe tous les items, mais qu'il y a quatre facteurs (sous-concepts) qui sont constitués par différents regroupements d'items et qui expliquent des aspects différents de ce concept unidimensionnel. Dans une telle analyse, il convient de donner la matrice des corrélations (tableau 7) pour les facteurs extraits et ce, afin de permettre de mieux analyser les relations entre les différentes parties du concept mesuré. Dans le présent cas, on note que les corrélations sont premièrement

élevées, ce qui montre des liens forts entre les facteurs, et deuxièmement, ces corrélations sont sensiblement équivalentes, sauf pour la  $r$  entre les facteurs F1 et F2, qui est légèrement plus faible. On constate donc que ce type d'analyse factorielle permet de mieux comprendre le concept étudié, c'est pourquoi nous considérons que cette analyse fait partie de l'analyse de la validité de concept.

### 4. DISCUSSION

On a constaté qu'il y a plusieurs types d'analyse factorielle. On a montré que certaines analyses factorielles avec des rotations orthogonales (facteurs non corrélés) risquent de donner une mauvaise sélection des items pour mesurer un concept unidimensionnel.

On en conclut que la sélection des items devrait se faire par l'analyse des items selon la théorie classique des items ou d'autres théories des tests, telles que la théorie de la généralisabilité ou la théorie de réponses aux items. Une telle stratégie constitue une meilleure analyse de la fidélité, considérée sous l'angle de la consistance interne.

Il est recommandé d'utiliser certains types d'analyse factorielle pour analyser la validité de concept d'un test. On peut d'abord faire une extraction des facteurs en composantes principales, sans rotation, pour montrer l'unidimensionnalité d'un test et établir l'importance relative du facteur principal. On peut, ensuite, produire à partir de cette première analyse, une analyse factorielle avec une rotation orthogonale equamax (afin d'accorder des variances égales à chaque facteur, donc une importance égale), puis une rotation oblique par la méthode orthotran ou une autre méthode afin de produire des facteurs corrélés entre eux. Les coefficients de saturation analysés devraient être ceux de la matrice de référence, qui peuvent s'interpréter comme la corrélation entre chaque item et un facteur donné. Dans ce type d'analyse, il est nécessaire de produire une matrice de corrélations inter-facteurs afin de mieux comprendre les relations entre les différentes parties du concept mesuré par le test.

Enfin, on rappelle que la première sélection des items devrait se faire en référence au cadre théorique qui définit le concept que l'on veut mesurer et que l'analyse de la fidélité et de la validité ne devrait viser qu'à confirmer l'exactitude du cadre théorique et l'unidimensionnalité du test élaboré.

On rappelle aussi que la meilleure stratégie pour réaliser une sélection finale des items composant un test ou une mesure est une analyse d'items selon une des théories des tests (classique, généralisabilité, réponses aux items) et non une analyse factorielle.

À titre de synthèse, on présente un résumé des principales étapes à réaliser lors d'une analyse classique des items pour vérifier la fidélité (consistance interne).

Vous pouvez noter que l'utilisation de l'analyse factorielle se situe seulement à deux endroits précis à l'intérieur du processus (étapes 5 et 11).

#### ÉTAPES

1. Vérification des *données*.
2. *Analyses exploratoires* (données, cas extrêmes, cas déviants).
3. Analyse de la *moyenne* et de l'*écart type* de chaque item.
4. Analyse de la matrice des *corrélations inter-items* ( $r_{i-i}$ ).
5. Analyse du *facteur commun* à tous les items (analyse factorielle: composantes principales, sans rotation) (si nécessaire, c.à.d. des  $r_{i-i}$  négatives, plusieurs facteurs importants, un coefficient de consistance interne faible: utiliser analyse factorielle en composantes principales, rotation orthogonale equamax, rotation oblique orthotran ou autre).
6. Évaluation des *corrélations item-total* ( $r_{i-t}$ ).
7. Évaluation du *coefficient alpha* et de l'*influence de chaque item* sur le coefficient alpha.
8. Analyses de la *courbe de discrimination* de chaque item (ou des courbes caractéristiques -TRI).

9. Évaluation du fonctionnement différentiel (équivalence entre les groupes de sujets) ( $r_{i-t}$ , *khi-carré*, *courbes des items*).

10. Établir des *normes* (en fonctions de la nature des groupes de sujets).

11. Procéder à l'étude de la *validité* (pour la validité de concept: analyse factorielle en composantes principales, rotation orthogonale equamax, rotation oblique; stratégie hypothético-déductive, autres).

#### RÉFÉRENCES

- Allen, M. J., & Yen, W. M. (1979). *Introduction to measurement theory*. California : Brooks-Cole Publications Co.
- Crocker, L., & Algina, J. (1986). *Introduction to classical and modern test theory*. New York : H. R. W.
- Hambelton, R. K., Swaminathan, H., & Rogers, H. J. (1991). *Fundamentals of item response theory*. Newbury Park, CA: Sage Publications, Inc.
- Harman, H. H. (1976). *Modern factor analysis*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lasnier, F., & Lessard, C. (1994). *Le stress en psychologie du sport : modélisation et mesures*. Québec : Collège de Sainte-Foy. ❖