

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT **Genie civil**

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

ACP

Appliquee aux

betons bitumineux

Proposé par : **LT PC**

Etudié par :
Belkacemi
et **Mohdeb**

Dirigé par :
Ait Abdeslam
et
Zeghlache

PROMOTION **JANV 86**

A.C.P

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

appliquée aux
Bétons bitumineux

sujet proposé par le
L.N.T.P.B

Remerciements.

De prime abord nous tenons particulièrement à remercier deux personnes rayonnantes d'humanisme et de générosité. Deux personnes sans l'aide desquelles ce travail n'aurait pu voir le jour. Il s'agit de Monsieur BENTERZI ainsi que Monsieur BENOAMER RABAH

Le premier, Monsieur Benterzi, consacra à notre seul profit, de véritables "séances de cours" pour la compréhension de l'analyse en composantes principales. Il fut le premier à nous mettre sur la voie. Il éprouva un plaisir à nous aider. C'est une joie de le connaître, nous ne l'oublierons pas de sitôt.

Le deuxième, Monsieur Benouamer Rabah, est sans doute ^{celui} qui se dépensa le plus pour nous. Sachant être très patient (et il le fut tout le temps avec nous), sachant écouter, venant toujours à notre rescousse, il fut d'une aide désintéressée, franche, précieuse et combien humaine. Nous le comptons parmi nos amis. Nous le remercions du fond du cœur.

Ce travail est un hommage, rendu à juste titre d'ailleurs, à ces deux hommes qui ont dit à notre reconnaissance pour leur contribution magistrale.

Nous remercions monsieur Ait. Abdelham qui nous a proposé le sujet et qui fait notre encadreur ainsi que monsieur Zeghlach qui accepta d'être notre promoteur.

Nous n'oublions pas non plus monsieur BENDALI pour sa gentillesse, sa compréhension et parfois ses avis, ses conseils et ses encouragements. Qu'il trouve ici notre gratitude à son égard. Nous éprouvons une immense joie de l'avoir connu.

Ce travail ne aurait été fait sans l'apport tout à fait personnel de monsieur TÉREA qui a gracieusement mis à notre disposition les différents documents dont nous avions besoin. Qu'il soit remercié.

Que monsieur BENO sache que je ne l'ai pas oublié pour l'aide qu'il nous procura en nous remettant sans contrepartie un livre sur le TRS 80 : ce livre nous fut d'un grand secours au moment où nous en avions réellement besoin.

Dédicaces

A la mémoire de mon cousin et ami Djelloul ainsi qu'à celles de mes grand-parents.

A ma mère qui n'a jamais rechigné à se lever pour me réveiller à des heures très matinales et ce durant toutes mes études universitaires.

A mon père qui m'a appris à être honnête envers moi-même et qui fut et mon égal d'une compréhension toute filiale.

A mes frères et sœurs, eux, qui sont toujours dans mon esprit.

A mes cousins et amis Houssa et Abbès.

A mes amis Madouni, Melakhi, Hadid, Sahnoune, Yousfi, Berlakehal, Yamouni, Temam.

A mon ami Ait Ziane Mustapha auquel je souhaite le plein succès.

A tous les opprimés du monde. Je dedis enfin ce modeste travail aux intellectuels qui ont encore un idéal.

BELKAËNI Abdelmadjid.

je dedie ce modeste travail à :

Ma mère et mon père en leur souhaitant longue vie

Mes frères et Sœurs qui m'ont beaucoup aidé par

leur soutien moral et matériel, en leur souhaitant

bonheur et prospérité et réussite

toute la famille grands et petits

tous mes amis

tous mes professeurs de l'E.N.P.A.

Mohdeb. Loufik.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Sommaire

Introduction	1
Notions sur la théorie matricielle	2
Présentation de l'ACP	
fondaments et formulation	7
Détermination des composantes principales	9
Application de l'ACP aux enrobés bitumineux	
Les liants hydrocarbonés	14
Les enrobés bitumineux	17
Données de l'ACP	22
Résultats de l'analyse	
matrice de corrélations	28
cercles de corrélations	34
Plans factoriels	41
Interprétation	
Constatactions premières	51
Interprétation des cercles de corrélations	55
Interprétation sur les échantillons	58
Conclusions de l'analyse	
Echantillons retenus	63
Etude comparative des échantillons retenus	64
Conclusion	65
Annexe : programmes de l'ACP	72

Introduction

Il peut paraître paradoxal de vouloir introduire les méthodes statistiques dans les sciences de l'ingénieur et plus précisément dans la M.S., qui en tant que branche de la mécanique rationnelle, suppose un déterminisme rigoureux.

Cependant, l'évolution de la pensée scientifique nous oblige à chercher des théories générales, développées de manière rigoureuse par le biais des solutions les plus synthétiques, les plus élaborées et les plus confirmées. Ces théories fournissent ainsi des outils nécessaires pour aborder un grand nombre de problèmes posés quotidiennement par des applications.

La pensée scientifique mise plus que jamais aujourd'hui sur un pragmatisme efficace qui se démarque de plus en plus du déterminisme stérile et fastidieux.

On peut affirmer sans l'ombre d'un doute que les statistiques jouent un rôle considérable dans toutes les sciences. Elles sont, oserons-nous l'avancer, à l'avant-garde de tout progrès scientifiques.

Dans la mécanique des sols, des corrélations entre différents caractéristiques physiques ou mécaniques ont pu être établies, souvent expérimentalement parfois par analogie à des sciences plus élaborées que la M.S. (comme la RdM par exemple). Chercher une théorie générale des sols c'est déterminer avec certitude toutes les corrélations qui peuvent exister entre les différents caractéristiques du sol.

Dans le génie civil toute réalisation débute en principe par la reconnaissance des sols. Dans cette opération on effectue des sondages, c'est à dire des prélèvements d'échantillons de sol. Ces échantillons sont alors soumis à des essais permettant de connaître leurs caractéristiques physiques ou mécaniques. Une fois ces essais terminés, l'ingénieur doit analyser tous les paramètres pour tirer le maximum de renseignements concernant les caractéristiques du sol en question.

De par l'importance du volume de l'information recueillie il est devenu impératif de faire appel à des méthodes qui résument l'information tout en sauvegardant l'essentiel de l'ensemble des paramètres recueillis: l'accès à cette information recherchée devient alors aisé et on pourra au besoin en faire un usage efficace.

Les méthodes les plus connues et les plus utilisées sont:

- Analyse Factorielle des correspondances notée AFC
- Analyse d'un tableau de distance notée ATD
- Analyse factorielle discriminante notée AFD
- Analyse de composants principaux notée ACP

On a choisi cette dernière parcequ'elle répond à des critères qu'on a adoptés au préalable. Ces critères satisfont à la notion de proximité, de ressemblance c'est à dire de distance.

NOTIONS SUR LA THEORIE MATRICIELLE

1. Quelques définitions

Matrice : Une matrice A , $m \times n$, est un tableau rectangulaire contenant des nombres réels ou non. Elle est présentée sous forme :

$$(1) \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & & a_{mn} \end{pmatrix}$$

qui peut être abrégée par la notation (a_{ij}) , $i = 1, 2, \dots, m$ et $j = 1, 2, \dots, n$

Vecteur : C'est une matrice qui a une seule ligne (ou une seule colonne)

Matrice carré : Une matrice carrée est une matrice qui a $m = n$.

Matrice symétrique : Symétrique par rapport aux éléments diagonaux.

Matrice nulle : dont tous les éléments sont nuls

2. Opérations générales

La somme de deux matrices A et B ayant un même nombre de colonnes et de lignes est définie par : $A+B = (a_{ij}) + (b_{ij}) = (a_{ij} + b_{ij})$ (2)

Le produit d'une matrice par un nombre réel est défini par :

$$\lambda A = A\lambda = (\lambda a_{ij}) \quad (3)$$

On démontre que ces opérations ont des propriétés algébriques connues :

$$\text{Ainsi} \quad A+B = B+A \quad (4)$$

$$(A+B)+C = A+(B+C) \quad (5)$$

$$A+(-1)A = (0) \quad (6)$$

$$(\lambda + \mu)A = \lambda A + \mu A \quad (7)$$

$$(\lambda)(A+B) = \lambda A + \lambda B \quad (8)$$

$$\lambda(\mu A) = (\lambda\mu)A \quad (9)$$

Si A a autant de colonnes que B en a de lignes, en d'autres termes si $A = (a_{ij})$ où $i = 1, 2, \dots, l$ et $j = 1, 2, \dots, m$ et si $B = (b_{jk})$ où $j = 1, 2, \dots, m$ et $k = 1, 2, \dots, n$ alors la multiplication de A par B se fait suivant la règle suivante :

$$(10) \quad AB = (a_{ij}) \cdot (b_{jk}) = \left(\sum_{j=1}^m a_{ij} b_{jk} \right) \quad i=1, \dots, l \text{ et } k=1, 2, \dots, n$$

Pour l'élément de la i ème ligne et de la k ème colonne de la matrice produit est

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} b_{jk}$$

Le produit des matrices a les propriétés suivantes :

$$(AB)C = A(BC) \quad (11)$$

$$A(B+C) = AB+AC \quad (12)$$

$$(A+B)C = AC+BC \quad (13)$$

La matrice transposée d'une matrice $l \times m$, $A = (a_{ij})$ est définie comme étant la matrice notée A' dont l'élément se trouvant à la croisée de la j ème ligne et de la i ème colonne est l'élément de A qui se trouve à la i ème ligne et à la j ème colonne. Cette opération de transposition a les propriétés importantes que voici:

$$(A')' = A \quad (15)$$

$$(A+B)' = A' + B' \quad (16)$$

$$(AB)' = B' \cdot A' \quad (17)$$

Deux matrices A et $B = A'$ sont différentes. Si A est symétrique alors $A = A'$. Une matrice particulière d'un intérêt considérable est la matrice identité-

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & & \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & 0 & & 1 \end{pmatrix} = (\delta_{ij}) \quad (18)$$

où δ_{ij} , le facteur de Kronecker, est défini par

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i = j \\ 0 & \text{si } i \neq j \end{cases} \quad (19)$$

Cette matrice satisfait à la relation

$$IA = AI = A \quad (20)$$

Le déterminant d'une matrice carrée A est le nombre noté $|A|$ défini par

$$(21) \quad |A| = \sum_{i=1}^n a_{ij} A_{ij} \quad \text{pour tout } j$$

On montre par ailleurs que :

$$|AB| = |A| \cdot |B| \quad (22)$$

$$|A| = |A'| \quad (23)$$

Le mineur est le déterminant d'une sous-matrice carrée d'une matrice A . Le mineur de l'élément a_{ij} est le déterminant d'une sous-matrice de A obtenue en éliminant la i ème ligne et la j ème colonne.

Le cofacteur de a_{ij} , noté A_{ij} est $(-1)^{i+j}$ fois le mineur de a_{ij} . On peut démontrer la relation (21) autrement: En effet

$$|A| = \sum_{i=1}^n a_{ij} A_{ij} = \sum_{j=1}^m a_{ij} A_{ij} \quad (24)$$

où $A_{ij} = (-1)^{i+j} |a_{lk}|$ où $l = 1, \dots, i-1, i+1, \dots, n$ et $k = 1, \dots, j-1, j+1, \dots, m$.

L'inverse d'une matrice: si $|A| \neq 0$ existe une matrice B unique telle que $AB = I$. B est dite alors l'inverse de A et est notée A^{-1} . Les éléments a^{hk} de A^{-1} sont alors définis par: $a^{hk} = \frac{A_{kn}}{|A|}$ (25)

On montre que $(AC)^{-1} = C^{-1}A^{-1}$ (26)

Une matrice dont le déterminant est différent de zéro est dite ^{non} singulière. Pour une telle matrice l'équation $A \cdot z = 0$ (27)

admet la solution triviale $z = 0$

Si par contre $|A| = 0$, il y a alors au moins une solution non triviale c'est à dire $z \neq 0$

(A est dite dans ce cas précis matrice singulière)

La trace d'une matrice carrée est définie par : $\text{tr } A = \sum_{i=1}^p a_{ii}$
 on montre que :

$$\text{tr}(A+B) = \text{tr } A + \text{tr } B \quad (28)$$

$$\text{tr}(AB) = \text{tr } BA \quad (29)$$

- Une matrice A est dite diagonale si $a_{ij} = 0, i \neq j$. De ce fait $|A| = \prod_{i=1}^p a_{ii}$
 - Une matrice A est dite triangulaire si $a_{ij} = 0$ pour $i > j$
 - Une matrice C est dite orthogonale si $C'C = I$. Il s'ensuit que $CC' = I$
- Soient z_1, z_2, \dots, z_r un ensemble de vecteurs. Les vecteurs sont dits linéairement indépendants s'il existe une suite de scalaires c_1, c_2, \dots, c_r non tous nuls, tels que $\sum c_i z_i = 0$

Une matrice $q \times p, D$, est dite de rang r si le nombre maximal de colonnes linéairement indépendants est r .

Considérons maintenant la forme quadratique $x'Ax = \sum_{i,j=1}^p a_{ij} x_i x_j \quad (30)$

où $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ et $A = (a_{ij})$ symétrique.

La matrice A et la forme quadratique sont dites semi-définies positives si $x'Ax \geq 0, \forall x$.

Si $x'Ax > 0, \forall x \neq 0$ on dit alors qu'elles sont définies positives.

Théorème 1: Si C , matrice carrée à p lignes, est définie positive, et si B , matrice à p lignes et q colonnes, $q \leq p$, est de rang q , alors la matrice produit $B'CB$ est définie positive.

Corollaire 1: Si C est positive définie et B non singulière alors $B'CB$ est positive définie.

Corollaire 2: Si C est définie positive alors C^{-1} définie positive.

Corollaire 3: Soit une sous-matrice D ($q \times q$) formée en éliminant $(p-q)$ lignes ainsi que les $(p-q)$ colonnes correspondant d'une matrice C , définie positive. On peut affirmer que D est définie positive.

3. Equation caractéristique et vecteurs propres.

Les racines caractéristiques ou valeurs propres d'une matrice carrée B donnée sont définies comme étant les racines de l'équation caractéristique :

$$|B - \lambda I| = 0 \quad (31)$$

Le degré d'une telle équation est l'ordre (ou rang) de la matrice B .

Théorème 2: Etant donné une matrice B symétrique quelconque, il existe une matrice orthogonale C telle que :

$$C'BC = D = \begin{pmatrix} d_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_2 & & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & & d_p \end{pmatrix}$$

Si en plus B est définie positive les d_i sont alors positifs.

(Théorème très important comme on va le voir pour l'application)

Corollaire 4: Si B est définie positive il existe une matrice non singulière E telle que $E'BE = I$

on peut faire $E = CD^{-\frac{1}{2}}$ où $D^{-\frac{1}{2}} = \begin{pmatrix} \sqrt{d_1} & & & \\ & \sqrt{d_2} & & \\ & & \ddots & \\ & & & \sqrt{d_p} \end{pmatrix}$

Corollaire 5: Si B est définie positive alors chaque mineur principal est positif.

Corollaire 6: Si B est définie positive alors $|B| > 0$

Théorème 3: Étant donné une matrice B semi-définie positive et A définie positive il existe une matrice non singulière F telle que :

$$F'BF = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & \lambda_p \end{pmatrix}$$

et $F'AF = I$ où $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p (\geq 0)$ sont les racines de l'équation caractéristique $|B - \lambda I| = 0$. Si B est définie positive alors les $\lambda_i > 0$

théorème d'une importance vitale comme nous le verrons

Presentation de la méthode dite ACP

Tout d'abord nous tenons à dire que l'ACP se présente sous forme de deux variantes : Quoique le principe qui préside au cheminement comme à l'interprétation reste le même, la première diffère de la deuxième. Cette différence réside dans le fait que dans la première on utilise la matrice de covariance pour extraire les composants principales tandis que la seconde, elle, utilise la matrice de corrélations. Nous reviendrons, au bon moment pour argumenter le choix entre ces deux variantes.

L'analyse en composantes principales (souvent notée ACP) consiste à décrire un ensemble d'individus et un ensemble de caractères quantitatifs. Les individus statistiques constituent un échantillon d'une population donnée (ou population complète). Le but d'une telle analyse est non seulement de décrire mais aussi de résumer la masse d'information interdépendante, d'expliquer les comportements observés et enfin de représenter les individus dans un espace de dimensions $k < p$, donc de réduire le nombre de variables initiales qui était p .

Basée sur l'étude de la covariance ou de la corrélation entre les variables, l'ACP peut donc être utilisée lorsqu'on est en présence d'un tableau de données multidimensionnelles du type individus \times caractères quantitatifs. Nous faisons remarquer que la notion multidimensionnelle se réfère au nombre important de variables observées et non au nombre d'individus concernés.

Les résultats de l'analyse sont donnés sous forme de représentation graphique. Deux individus ou deux variables se ressemblent d'autant plus qu'ils sont proches l'un de l'autre dans ces représentations : c'est là la notion de distance, importante dans l'analyse que nous nous proposons d'utiliser comme outil de travail. Cette notion, qui distingue l'ACP des autres analyses factorielles comme l'AFC par exemple qui, elle, est basée sur une décomposition de la loi du χ^2 (χ^2), cette notion donc émane d'un critère d'ajustement qui est à la base de cette analyse ; la proximité entre individus c'est à dire similitude et affinité. C'est ce critère qui va nous permettre d'établir un classement des individus en groupe, en sous-groupe. Les individus d'un même groupe partageront ainsi une même propriété ; ceux d'un même sous-groupe seront ceux qui ont une même propriété fondamentale avec en plus des nuances claires et apparentes.

FONDEMENT ET FORMULATION DU PROBLÈME

On prend comme information de départ les diverses analyses du sol comme les caractéristiques granulométriques, les limites d'atterberg, l'essai proctor, Duriez ... etc. Ces variables montrent des corrélations plus ou moins manifestes.

Soient p variables quantitatives $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ observées sur un ensemble de N individus. Les observations peuvent être présentées comme matrice des données $N \times p$.

$$\text{soit } X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & & & & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & & & & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & & x_{ij} & & x_{ip} \\ \vdots & \vdots & & & & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & & & & x_{Np} \end{bmatrix}$$

Les p colonnes sont respectivement les observations des variables X_1, X_2, \dots, X_p

$$\text{c'est à dire } X_j = \begin{bmatrix} x_{1j} \\ x_{2j} \\ \vdots \\ x_{Nj} \end{bmatrix} \quad \text{vecteur colonne où } j=1, 2, \dots, p$$

La i ème ligne de la matrice X n'est que les observations des p caractères pour la i ème individu ($i=1, 2, \dots, N$)
L'observation x_{ij} est la valeur prise par la variable X_j pour l'individu i .

On pourra écrire $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$

On a donc une matrice de données $N \times p$. Soit Σ la matrice de covariance-variance. Le rang de Σ est $r \leq p$.

Une telle matrice est dite définie positive. Il est permis alors d'admettre que les q premières valeurs propres de Σ dans l'ordre décroissant sont toutes distinctes et positives: $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_q$.

Du fait que les variables semblent n'obéir à aucune loi de distribution on travaillera avec la matrice S qui est une estimation de Σ .

Les informations dont nous avons besoin pour notre ACP seront contenues en fait dans cette matrice S .

Un problème de choix se pose cependant, et il est nécessaire de se fixer sur la variante avec laquelle on travaillera avant d'entamer la recherche des composantes principales. Le choix se fait entre deux matrices, soit celle de variance-covariance S , soit celle de corrélation R .

On peut affirmer, quant à ce choix, que lorsqu'on a toutes les variables expérimentées dans les mêmes unités, l'utilisation de la matrice de covariance se justifie pleinement.

Cependant quand une modification des valeurs relatives des variances qui peut découler notamment d'un simple changement d'unité, il est recommandé de travailler plutôt avec la matrice de corrélation.

De ce fait donc tout semble privilégier la deuxième alternative du fait que nos variables sont mesurées dans des unités différentes.

Il est à noter d'ailleurs que les résultats donnés par l'ACP corrélation sont différents de ceux qu'on retrouve avec l'ACP-covariance.

DETERMINATION DES COMPOSANTES PRINCIPALES

L'ACP permet de remplacer les p variables observées X_j par p variables non corrélées Y_j de variances progressivement décroissantes. Les premières de ces nouvelles variables, expliquant un taux de variance appréciable, donc pouvant être l'objet d'une interprétation particulière seront retenues. Les dernières pouvant être généralement négligées.

Première Composante Principale

Elle peut s'écrire comme une combinaison linéaire.

$$(1) \quad Y_1 = a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + a_{31}X_3 + \dots + a_{p1}X_p$$

Si on représente $a_1 = (a_{11}, a_{21}, \dots, a_{p1})$ comme vecteur ligne

et $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$ comme vecteur ligne

On pourra alors écrire l'équation (1) sous forme

$$(2) \quad Y_1 = a_1' X$$

Où a_1' est le vecteur transposé de a_1 soit $a_1' = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ \vdots \\ a_{p1} \end{bmatrix}$

Cette première composante principale doit satisfaire à:

$$* \text{Var}(Y_1) \text{ max}$$

$$* a_1' \cdot a_1 = 1 \text{ soit } \|a_1\|^2 = 1$$

Calculons $\text{Var}(Y_1) = \text{Var}(a_1' \cdot X)$

$$\begin{aligned} \text{Var}(a_1' \cdot X) &= E[(a_1' X - E a_1' X)(a_1' X - E a_1' X)] = E[a_1' (X - EX)(a_1' (X - EX))'] \\ &= E[a_1' (X - EX)(X - EX) a_1] = a_1' \{ E(X - EX)(X - EX)' \} a_1 \\ &= a_1' (\text{Var}(X)) \cdot a_1 = a_1' \Sigma a_1 \end{aligned}$$

En remplaçant Σ par son estimateur S , on aura l'estimateur de $\text{Var}(Y_1)$: $s_{Y_1}^2$

$$\text{soit donc } s_{Y_1}^2 = a_1' \cdot S \cdot a_1$$

Résultat très important et qu'on utilisera par la suite.

Le calcul apparemment fastidieux ne doit pas nous détourner de notre but premier : la recherche des a_{1i} c'est à dire le vecteur a_1 . Pour déterminer les coefficients de cette première composante on introduit les multiplicateurs de Lagrange. Le Lagrangien est alors :

$$\phi = a_1' S a_1 + \lambda_1 (1 - a_1' a_1)$$

En dérivant ϕ par rapport à a_1 on obtient

$$\frac{\partial}{\partial a_1} (a_1' S a_1 + \lambda_1 (1 - a_1' a_1)) = 2 S a_1 - 2 \lambda_1 a_1$$

$$\text{Soit } (S - \lambda_1 I) a_1 = 0 \quad \forall a_1 \quad (3)$$

Etant entendu que la solution de ces équations est autre que la solution triviale (vecteur nul) il faut donc qu'on ait :

$$(4) \quad |S - \lambda_1 I| = 0$$

On peut déterminer la valeur de λ_1 qui satisfait (4). En effet de (3) on tire $S a_1 = \lambda_1 a_1 \Leftrightarrow a_1' S a_1 = a_1' \lambda_1 a_1 = \lambda_1 a_1' a_1 = \lambda_1 \times 1$. Il s'ensuit donc que $\lambda_1 = a_1' S a_1 = s_{y_1}^2 = \text{Var}(Y_1)$. (5)

Les coefficients de la première composante principale étant choisis de telle façon à maximiser cette variance, λ_1 doit donc être la plus grande de toutes les valeurs propres de la matrice S .

Une fois λ_1 déterminé, a_1 devient facile à déterminer. En effet il n'est autre que le vecteur propre associé à la valeur propre λ_1 .

Deuxième Composante Principale.

De même que pour la première c'est une combinaison linéaire :

$$(6) \quad Y_2 = a_{12} X_1 + a_{22} X_2 + \dots + a_{p2} X_p$$

soit en écriture matricielle

$$(7) \quad Y_2 = a_2' X$$

Les conditions à satisfaire par (7) sont maintenant au nombre de trois :

* $\text{Var}(Y_2)$ max

* $a_2' a_2 = 1$ soit $\|a_2\|^2 = 1$

* $a_1' a_2 = 0$

La deuxième condition assure l'unicité des coefficients tandis que la troisième

impose aux vecteurs a_1 et a_2 à être orthogonaux.
Le Lagrangien dans ce cas s'exprime comme suit :

$$\phi = a_2' S a_2 + \lambda_2 (1 - a_2' a_2) + \mu a_1' a_2$$

De même en dérivant par rapport à a_2 on obtient :

$$\frac{\partial \phi}{\partial a_2} = 2(S - \lambda_2 I) a_2 + \mu a_1$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial a_2} = 0 \Leftrightarrow 2(S - \lambda_2 I) a_2 + \mu a_1 = 0 \quad (8)$$

En multipliant à droite par a_1' on aura

$$2(S - \lambda_2 I) a_2 a_1' + \mu a_1 a_1' = 0$$

Soit, compte tenu des conditions imposées, $2 a_1' S a_2 + \mu = 0$

$$2 S a_2 a_1' a_2 + \mu a_2 = 0 \Leftrightarrow 2 S a_2 \cdot 0 + \mu a_2 = 0 \quad (8)'$$

L'équation (8)' permet d'écrire : $\begin{cases} \mu = 0 \\ a_1' S a_2 = 0 \end{cases}$

Revenons alors à l'équation (8). Du fait que $\mu = 0$ celle-ci devient

$$(S - \lambda_2 I) a_2 = 0$$

Equation analogue à la première. Un même raisonnement que lors du calcul de la première composante principale nous permet de déduire que λ_2 est la plus grande valeur propre de S après λ_1 . De même les coefficients de la deuxième composante principale sont les composantes du vecteur propre correspondant à la valeur propre λ_2 .

La j ème composante principale.

Comme pour les autres, elle est une combinaison linéaire, soit

$$Y_j = a_{1j} X_1 + a_{2j} X_2 + \dots + a_{pj} X_p \quad (9)$$

soit en écriture matricielle $Y_j = a_j' \cdot X \quad (10)$

Avec $a_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj})$ et a_j' le vecteur transposé, qui est donc un vecteur colonne.

et $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$ vecteur ligne.

De même cette composante doit satisfaire les conditions suivantes :

- * $\text{Var}(Y_j) \text{ max}$
- * $a'_{jj} a_j = 1$ soit $\|a_j\|^2 = 1$
- * $a'_k a_j = 0 \quad \forall k = 1, 2, \dots, p \quad k \neq j$

Un calcul analogue aux deux premiers nous permet d'écrire que les coefficients de la combinaison linéaire (9) sont déterminés à partir de l'équation :

$$(S - \lambda_j I) a_j = 0$$

laquelle équation est résolue si on a $|S - \lambda_j I| = 0$ (11)

L'équation (11) nous donne alors la $j^{\text{ème}}$ valeur propre dans l'ordre décroissant de la matrice S . A cette valeur propre correspond un vecteur propre a_j dont les composantes seront les coefficients de la $j^{\text{ème}}$ composante principale.

pour $i \neq j$ on a $\lambda_i \neq \lambda_j$; les composantes du $i^{\text{ème}}$ et du $j^{\text{ème}}$ facteur principale (ou composante principale) sont alors orthogonales.

L'ordre d'importance de la $j^{\text{ème}}$ composante principale dans la description du système (donc dans la capacité d'avoir un taux d'information élevé) est mesuré par :

$$\frac{\lambda_j}{\text{tr} S}$$

$$\text{ou } \text{tr} S = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p$$

De même le signe et la mesure algébrique de a_{ij} indiquent la direction et l'importance de la contribution du $i^{\text{ème}}$ coefficient à la $j^{\text{ème}}$ composante principale.

finalement on aura

$$Y_1 = a_{11} X_1 + a_{21} X_2 + \dots + a_{p1} X_p$$

$$Y_2 = a_{12} X_1 + a_{22} X_2 + \dots + a_{p2} X_p$$

$$Y_3 = a_{13} X_1 + a_{23} X_2 + \dots + a_{p3} X_p$$

⋮

$$Y_p = a_{1p} X_1 + a_{2p} X_2 + \dots + a_{pp} X_p$$

Soit en écriture matricielle :

$$Y = A X \quad (12)$$

écriture qui facilite l'écriture et la compréhension

Dans l'équation (12) Y et X sont des vecteurs multidimensionnels et A une matrice carrée.

$$\text{soit } A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{p1} \\ a_{12} & a_{22} & & a_{p2} \\ a_{13} & a_{23} & & a_{p3} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{1p} & a_{2p} & \dots & a_{pp} \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_p \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_p \end{bmatrix}$$

Quelques particularités:

Si, comme dans notre cas, les composantes sont extraites à partir de la matrice de corrélation, il va de soi que $\text{tr } R = p$, et que donc la proportion de la variance totale expliquée attribuée à la i -ème composante sera λ_i/p .

Formulation pratique de la méthode

Le calcul matriciel devient dans cette méthode un outil de travail très apprécié pour ce qu'il fournit de facilités et d'efficacité. En effet la recherche des composantes principales devient chose aisée.

Ainsi l'exploitation d'un théorème nous permet d'affirmer que du fait que S (ou R) est une matrice réelle symétrique alors il existe une matrice orthogonale P telle que:

$$(13) \quad P' S P = D \quad (S = P D(\lambda_i) P')$$

où D est une matrice diagonale dont les éléments ne sont autres que les valeurs propres de S . Les vecteurs propres normés de S peuvent être pris pour les colonnes de P .

Il s'ensuit que $S = P D(\sqrt{\lambda_i}) D(\sqrt{\lambda_i}) P'$ soit $L = P D(\sqrt{\lambda_i})$

On voit que les colonnes de L reproduisent S par la relation

$$(14) \quad S = \lambda_1 a_1 a_1' + \lambda_2 a_2 a_2' + \dots + \lambda_r a_r a_r' = L \cdot L' \quad (\text{produit matriciel})$$

Le rang r de S peut être inférieur à p . Étant donné que les composantes successives sont extraites de S , les matrices $\lambda_i a_i a_i'$ peuvent être déterminées.

La sommation successive de ces matrices formera une matrice, qui, comparée à S nous apprend comment la matrice S peut être régénérée par un petit nombre de composantes principales. Par la relation (14) l'ACP est équivalente à une factorisation de S en un produit de deux matrices L et sa transposée. De même si on utilisait R on aura $B' R B = I \Rightarrow R = B \cdot B'$

Application de l'ACP

Notre travail, en réalité, ne consiste pas en l'étude de tous les sols, mais uniquement les envrés employés dans le façonnage des bétons hydrocarbonés.

Comme leur nom indique, ce sont des bétons. Mais des bétons particuliers. Ils diffèrent en effet des bétons courants par la nature des liants. Dans les bétons bitumineux, puisque c'est surtout eux dont il s'agit dans notre étude, on utilise le bitume comme liant. En tout cas il ne s'agit que d'un liant hydrocarboné.

A. LES LIANTS HYDROCARBONÉS.

Les liants hydrocarbonés diffèrent essentiellement des liants hydrauliques: Ce sont des liquides fortement visqueux qui peuvent se présenter sous forme de solides demi-mous.

1. Propriétés générales des liants hydrocarbonés

À l'état naturel, les liants hydrocarbonés sont trop visqueux pour pouvoir être employés directement. Il nous faut donc diminuer cette viscosité. Pour cela, on procède de diverses façon dont la plus indiquée semble la liquéfaction par échauffement. Les divers traitements ne doivent, cependant et en aucun cas altérer leurs caractéristiques essentielles.

Ces caractéristiques sont en général les suivantes:

* **Cohésivité**: C'est la propriété de se déformer sans arrachement ni fissuration interne en donnant des films étanches et plastiques. Cette qualité est difficile à définir, mais son effet est bien connu; elle donne une résistance à la traction à un morceau de liant que l'on essaie de rompre en l'étirant. Contrairement aux liants hydrauliques, une faible déformation n'entraîne pas la rupture brutale; celle-ci n'est obtenue que par un allongement plastique très important.

* **Adhésivité**: C'est la propriété de coller aux granulats. D'une manière pratique, on pourra considérer que c'est la faculté, pour un liant ayant mouillé un minéral, de résister au déplacement par l'eau. C'est à dire que dans son "cours" l'eau ne le détache pas, ne l'arrache pas du minéral.

* **Viscosité**: Elle est définie comme la résistance opposée au sein d'une masse liquide à une déformation telle que la vitesse de déplacement de différents points soient variables;

$$\text{soit } \eta = \frac{R}{S} \cdot \frac{1}{\frac{dv}{dz}}$$

η : viscosité

R: résistance totale

S: Section de cisaillement et $\frac{dv}{dz}$ le gradient vitesse.

La viscosité diminue considérablement avec la température (liquide moins visqueux quand il chauffe)

* **Yusceptibilité** : C'est la caractéristique marquant l'aptitude d'un liant à varier plus ou moins de consistance pour une variation de la température. Elle est définie comme la variation de la viscosité avec la température :

$$s = \frac{d\eta}{dt}$$

* **Viellissement** : C'est pour le liant, la perte de certaines qualités dans le temps et notamment la perte de cohésivité. Il ya ce phénomène d'essuage (le liant laisse échapper très lentement des huiles) par lequel le liant devient de plus en plus dur. L'allongement plastique qui précède la rupture diminue progressivement.

* **Ductilité** : C'est la caractéristique qui permet au liant de s'allonger en un fil très mince, mais sans se rompre. Cette qualité est évidemment une conséquence de la cohésivité. La ductilité est variable avec la vitesse de déformation ou l'allongement du fil.

2. Emploi des liants.

L'emploi des liants dépend de tous les propriétés sus-citées. Ainsi en est-il de la viscosité, qui intervient dans les circonstances très différentes : la viscosité à l'emploi qui doit être faible, et la viscosité en œuvre qui elle, caractérise le comportement du liant une fois la chaussée constituée. La vitesse de prise ou de séchage est la rapidité avec laquelle la viscosité passe de son état à l'emploi à son état en œuvre. Cette vitesse de prise a toute son importance. En effet le temps pendant lequel on peut déplacer le liant pour sa mise en place en dépend.

Le vieillissement intervient en donnant une idée du temps plus ou moins long au bout duquel le liant aura perdu sa plasticité et sa cohésivité et sera devenu cassant aux basses températures d'hiver.

L'adhésivité est sans doute la plus importante de toute. En effet ^{c'est} elle qui dépend essentiellement le choix du liant ainsi que la nature du matériau. Elle est la plus importante du fait aussi qu'elle s'oppose à l'action de l'eau qui est un facteur destructeur pour une chaussée.

Pour éviter le ressuage du liant par temps chaud, il est nécessaire de limiter la susceptibilité.

3. Le dopage.

L'adhésivité d'un liant peut être faible. Ceci est très nuisible pour les chaussées. Pour pallier à cela, donc pour augmenter cette adhésivité, on utilise des dopes. Ces dopes se portent sur les interfaces du liant et du minéral et augmentent ainsi l'affinité du liant pour le minéral. De ce fait le déplacement par l'eau n'aura pas lieu.

Toutefois, l'eau se trouvant en contact de liants adhérents, aux granulats menacerait de former des émulsions sous l'action des triturations dues à la circulation des véhicules sur la chaussée.

L'excès de doses peut alors favoriser la pénétration de l'eau dans le liant, et par conséquent la formation de ces émulsions inverses qui peuvent être désastreuses pour la chaussée.

En pratique on procède de deux façons. Soit qu'on mélange la dose avec le liant. Soit pulvériser la dose sur les gravillons. Cette dernière semble la plus indiquée car la dose se trouverait d'emblée à l'interface ou son action est efficace.

Les doses qu'on utilise le plus souvent sont la chaux vive ou le ciment Portland. On prépare ainsi les gravillons à raison de 2% à 3% de leur poids en dose.

Les principaux liants sont les goudrons, les bitumes, les bitumes fluidifiés et flués, les émulsions, l'asphalte ... etc.

Pour ce qui nous concerne le liant utilisé est le bitume.

Les bitumes routiers sont tirés du pétrole asphaltique (brai de pétrole) par distillation sous vide. La distillation se fait rapidement et le résidu constitue le bitume.

On les répartit en cinq catégories en fonction de leur pénétration :

180/220 ; 80/100 ; 60/70 ; 40/50 ; 20/30.

Pour la confection des émulsions et des enrobés fins on utilise les bitumes 180/220.

Pour des enrobés denses on utilise les bitumes 80/100 et 60/70. Ces bitumes servent aux climats méditerranéens.

Les bitumes 40/50 et 20/30 sont des bitumes durs et sont surtout utilisés dans des régions au climat chaud.

Pour le contrôle du bitume on effectue deux essais :

a/ Mesure de pénétration : on mesure l'enfoncement ou l'enfouissement d'une aiguille standardisée chargée de 100 grammes durant 5 s à 25°C.

Pour les bitumes 80/100 la pénétration doit être comprise entre 80 et 100.

Pour les bitumes 40/50 la pénétration doit être comprise entre 40 et 50.

b/ Point de ramollissement : fait surtout pour le cas de bitumes durs. Le point de ramollissement est une température où le bitume atteint un stade de ramollissement déterminé conventionnellement : c'est la température à laquelle une bille de 9.35 mm de diamètre traverse un disque de bitume de 15.9 mm de diamètre et de 6.4 mm d'épaisseur. Ce disque est placé dans un vase standard contenant de l'eau bouillie qu'on chauffe à raison de 5°C par mn.

Le point de ramollissement pour les bitumes 80/100 et 40/50 se trouvent respectivement dans les fourchettes 41 à 51 et 47 à 60.

On l'appelle les fris point de ramollissement bille et anneau.

B. LES ENROBES.

1. Définition

On désigne par enrobés des mortiers ou bétons dans lesquels l'eau et le ciment sont substitués par un liant hydrocarboné. Dans ces bétons l'absence de ciment est palliée par un apport en filler et ce dans le but déclaré d'augmenter la compacité :

Les bétons hydrocarbonés, contrairement aux bétons hydrauliques, sont très sensibles aux variations de température.

Les dosages en liant dans ces bétons sont beaucoup plus stricts que dans les bétons ordinaires. En effet le pourcentage du liant bitumineux à utiliser doit être de l'ordre de 6%.

Physiquement on considère un enrobé bitumineux comme un système à trois phases :

- * Une phase solide constituée par les agrégats. Elle confère à l'ensemble son élasticité et sa résistance au cisaillement
- * Une phase liquide constituée par le bitume. Contribue à la cohésion du mélange
- * Une phase gazeuse constituée par les vides, qui elle influence sur les propriétés physiques et mécaniques

2. Composition

Il n'y a pas de courbe granulométrique type applicable automatiquement pour donner un béton parfaitement dosé. Le mélange granulométrique le plus convenable dépend en effet de facteurs principaux qui sont :

- Nature et dureté du granulat ainsi que de sa forme
- filler
- viscosité ou dureté du liant utilisé.

2.1 Granulat

Les granulométries continues sont souvent préférables aux granulométries discontinues parce que la compacité du mélange est moins sensible aux légers écarts de composition à l'exécution.

Les granulométries discontinues risquent en effet de passer facilement de la catégorie des ballés bitumes avec inclusion de gravillons (écart de composition vers le bas) à la catégorie des enrobés ouverts avec un mortier insuffisant. Dans ces deux cas extrêmes les stabilités sont faibles. De plus, sous le trafic, les granulométries discontinues donnent lieu à une attrition plus rapide des gravillons.

Les granulométries grenues, c'est à dire comportant peu de sable, tout en ayant une bonne compacité, sont moins sensibles à de légers écarts de teneur en liant. Pour une même granulométrie et un même dosage en liant, les mélanges dont le squelette est concassé sont plus stables que les mélanges à éléments roulés, quoique ceux-ci sont plus maniabiles et atteignent facilement des compacités élevées.

2.2 Le filler

Le filler comme le liant, et dans une certaine mesure, joue le rôle d'un mortier emplissant plus ou moins complètement les vides de l'enrobé. D'ailleurs la surface spécifique du filler et la teneur en liant sont liées par une relation donnant la teneur en liant en fonction de la surface spécifique du filler. On démontre en effet que

$$P = K \sqrt{\Sigma}$$

où P : teneur en liant ; K : module de richesse en liant
 Σ : surface spécifique

Mr. Duriez donne la formule : $100 \Sigma = 0.2G + 2S + 14s + 140f$

où G : pourcentage de gravillons 5/20 ou 5/12.5 mm
 S : pourcentage de gros sables 0.3/5 mm
 s : pourcentage de sables fins 0.08/0.3 mm
 f : pourcentage de filler inférieur à 0.08mm

2.3 Le liant

Il est établi aujourd'hui qu'on observe la valeur maximale de la résistance du mélange pour une teneur en liant qui est à l'intérieur d'une fourchette allant de 4% à 7%.

3. Essais de laboratoire.

Pour la détermination et l'identification des enrobés bitumineux on fait appel à une panoplie d'essais pratiques de façons différentes par de nombreux laboratoires.

Il y a deux types d'essais : Essais mécaniques dits classiques, car d'usage courant et essais mécaniques dits lourds car d'usage moins courant.

Dans les premiers on rencontre les essais suivants :

- Essai de compactibilité
- Essai de Compression simple (dit de Duriez)
- Essai Marshall
- Essai de traction directe
- Essai d'orniérage

auxquels on peut ajouter des essais assez simples (ces essais sont moins phoygas) comme l'essai de l'équivalent de sable, du Los Angeles, et l'essai Derval.

Les autres sont constituées par :

- l'essai de module
- l'essai de fatigue.

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés uniquement aux résultats que donnent les essais Duriez et Marshall, et les essais d'équivalent de sable, du Los Angeles et du Derval. Ces essais, simples à l'exécution, fournissent des indications sur les qualités de résistance mécanique et de stabilité pour un compactage donné.

3.1 Essai Duriez

On l'effectue sur une éprouvette compactée à 120 bars. L'écrasement, par compression simple, se fait à une vitesse conventionnelle de 1 mm/s

L'objectif avoué d'un tel essai est de déterminer les qualités de résistance mécanique et de résistance au désenrobage par l'eau des matériaux enrobés. Il est appliqué essentiellement aux matériaux denses ou semi-denses enrobés avec du bitume dont les agrégats passent en totalité au tamis de 20 mm.

Les mesures effectuées dans cet essai sont :

- * Densité apparente, qui diffère de la densité vraie (c'est à dire théorique)
- * Résistance à la compression à 18°C en Kg/m² après 8 j à sec qui est appelée aussi stabilité Duriez.
- * Résistance à la compression à 18°C en Kg/m² après 8 j dont 7 d'immersion.
- * Pourcentage d'affaissement provoqué par la charge d'écrasement après 8 j à sec. Après compression on mesure la nouvelle hauteur de l'éprouvette, le pourcentage d'affaissement est égale à : $100 \frac{(H_i - H_f)}{H_i}$
- * Pourcentage d'imbibition après 2 h d'immersion dans l'eau
- * Pourcentage d'imbibition après 2 j d'immersion dans l'eau
- * Pourcentage d'imbibition après 7 j d'immersion dans l'eau

Ce pourcentage se calcule à partir de la formule $100 \frac{P_o + P_h}{P_o}$
 où P_o est le poids de l'éprouvette avant immersion
 et P_h est le poids de l'éprouvette après immersion, hydratée donc.

- * Gonflement volumétrique à 2 j
 - * Gonflement volumétrique à 7 j
- Ce gonflement est donné par la formule $100 \frac{V_h - V_o}{V_o}$
 où V_o et V_h sont les volumes de l'éprouvette avant et après immersion.

- * Proportion de résistance restante quand la conservation se fait dans l'eau
- * Compacité
- * Pourcentage des vides comblés par le bitume

Tous les résultats sont dressés dans un procès verbal auquel on ajoutera la teneur en liant et la surface spécifique du filler. Plusieurs formulations sont examinées dans un même procès verbal. On choisit le plus approprié, c'est à dire celle qui offrira le plus de garantie quand à la résistance, la compacité, à la sécurité préconisées par les recommandations et les règles de SETRA.

3.2 Essai Marshall

C'est un essai qui est effectué dans tous les pays du monde. C'est un essai de compression exercée, cette fois, suivant la génératrice d'une éprouvette cylindrique semi-frettée, à une vitesse de 0.864 mm/s et à une température de 60°C.

Il est effectué pour une étude préliminaire recherchant la meilleure composition à adopter pour la confection d'un béton hydrocarboné.

Les résultats effectués au cours de cet essai sont :

* Densité apparente d_A de l'éprouvette. Eprouvette où le bitume intervient pour $P_b\%$ et l'agrégat pour $(100 - P_b)\%$
Elle est donnée par :

$$d_A = d_m \left(1 - \frac{P_b}{100} \right)$$

$$\text{où } d_m = \frac{100}{\frac{P_b}{D_b} + \frac{P_{a1}}{D_{a1}} + \frac{P_{a2}}{D_{a2}} + \frac{P_{a3}}{D_{a3}} + \dots} \quad \text{qui est la densité vraie de l'éprouvette.}$$

D_b : densité du bitume

D_{ai} : densité de l'agrégat i

P_{bi} : pourcentage en poids de l'agrégat i

P_b : pourcentage en poids du bitume.

* Stabilité Marshall ; qui est la charge en Kg atteinte au moment de la rupture de l'éprouvette.

* Déformation en 1/10 mm

* Compacité de l'éprouvette, qui est intéressante à connaître pour comparer à celle trouvée à l'essai Duriez.

* Pourcentage des vides comblés par le bitume, qui est donné par :

$$R_b = 100 \cdot \frac{V_b}{V_a}$$

où V_b volume des vides occupés par le bitume

V_a volume occupé par l'air et le bitume.

De même que pour l'essai Duriez, on dresse un procès verbal où figurent les résultats de plusieurs formulations. On choisira la formulation qui a une bonne stabilité, une bonne compacité... etc.

3.3 Essai d'équivalent sable.

Dans cet essai on agite les éléments d'un échantillon passant au tamis de 5mm avec des solutions flocculantes, puis après un temps déterminé la décantation se fait. Le rapport de la hauteur d'argile restée en suspension est un indice, qui, comme l'indice de plasticité, renseigne sur la proportion et la finesse de l'argile.

Si h est la hauteur du sable laisé déposé et h' la hauteur du flocculat d'argile, l'équivalent de sable est égal à

$$ES = 100 \frac{h'}{h+h'}$$

Pour réaliser un béton hydrocarboné correct il faut un $ES \geq 45$

3.4 Essai Deval

Il consiste à faire s'entrechoquer un nombre et un poids donnés de pierres pendant un certain temps dans des récipients cylindriques, et à mesurer le poids et de grains fins passant au tamis de 1,6mm qui ont été produits au cours de l'essai.

Il est exprimé en grammes, le coefficient Deval est égal à $\frac{400}{U}$.
Le Deval est d'autant plus élevé que la pierre est plus dure.
Certaines roches perdent une grande partie de leur solidité, en présence d'eau. L'essai Deval humide est analogue au précédent mais est effectué en ajoutant de l'eau aux pierres dans les récipients cylindriques.
Le Deval humide est évidemment plus faible que le Deval sec.
Du fait que l'eau est le principal facteur qui use les routes on ne s'intéresse en fait qu'à l'essai Deval humide.

3.5 Essai Los Angeles

C'est un essai qui détermine aussi la dureté des agrégats qu'on utilise pour la confection de l'enrobé bitumineux.

L'analyse porte sur cinquante six (56) échantillons composés d'agrégats prélevés dans des zones différentes.

Ces échantillons sont subdivisés en groupe de 04 formulation. Les formulations d'un même groupe sont issues d'un même mélange, c'est à dire qu'elles ont même composition granulométrique. Pour différentes formulation le liant varie par sa qualité et par son dosage.

Les échantillons sont numérotés de 1 à 56

Les échantillons ont été soumis à des essais tels que : Essai Duriez, essai Marshall, essai d'équivalent de sable, essai du Los Angeles, Essai Deval humide et essai de détermination de l'indice de plasticité (propreté). Les rapports nous ont été gracieusement fournis par le LNTP (Service "Noir").

Les paramètres pris en compte dans notre analyse sont :

1. L'équivalent de sable noté EDS
2. L'indice de plasticité noté IDP
3. Coefficient Deval humide noté DVH
4. Coefficient Los Angeles noté LOS
5. Pourcentage d'agrégats qui passent au tamis 16mm noté T16
6. Pourcentage d'agrégats qui passent au tamis 5mm noté T05
7. Pourcentage d'agrégats qui passent au tamis 0.4mm noté T04
8. Pourcentage d'agrégats qui passent au tamis 80µ noté T08
9. Densité apparente de l'éprouvette notée DAE
10. Résistance à la compression après 3 jours à sec notée RCS
11. Résistance à la compression après 3 jours dont 7 d'immersion notée RCI
12. Affaissement de l'éprouvette soumise à la compression noté AEC
13. Pourcentage d'imbibition de l'éprouvette après 2 heures noté I2H
14. Pourcentage d'imbibition après 2 jours noté I2J
15. Pourcentage d'imbibition après 7 jours noté I7J
16. Gonflement volumétrique après 2 jours noté G2J
17. Gonflement volumétrique après 7 jours noté G7J
18. Rapport de la compression immersion noté QCI
19. Compacité (Duriez) notée COM
20. Volume des vides comblé par le bitume noté VCB
21. Surface spécifique des fines notée SSP
22. Module de richesse en liant noté MDR
23. Déformation en 1/10 mm notée DEF
24. Stabilité Marshall notée STA
25. Compacité Calculée (Marshall) notée COC
26. Teneur en liant bitumineux notée LIA

En tout donc on a 26 paramètres. Tous ces paramètres ont été observés sur les cinquante échantillons mis à notre disposition. La Matrice A des données est une matrice de taille 56×26

Les tableaux suivants donnent la matrice de données A (56×26)

Matrice des données : Matrice variable x échantillon introduite dans l'ordinateur
 Les échantillons sont numérotés de 1 à 56
 Les variables vont de EDS à LIA

Matrice A (56 x 26)

Individus

Variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
EDS	25.52	25.27	25.97	25.27	57.45	57.45	57.45	57.45	35.50	35.50	35.50	35.20	67.10	67.10
IDP	5.27	5.27	5.27	5.27	5.71	5.71	5.71	5.71	04.00	04.00	04.00	04.00	06.80	06.80
DVH	4.59	04.59	04.59	04.59	04.59	04.59	04.59	04.59	04.55	04.55	04.55	04.55	04.44	04.44
LOS	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	18.40	18.40
T16	90.00	90.00	90.00	90.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
T05	51.37	51.37	51.37	51.37	52.45	52.45	52.45	52.45	52.20	52.20	52.20	52.20	45.03	45.03
T04	13.92	13.92	13.92	13.92	11.10	11.10	11.10	11.10	10.95	10.95	10.95	10.95	12.35	12.35
T08	8.13	08.13	08.13	08.13	05.04	05.04	05.04	05.04	04.77	04.77	04.77	04.77	06.11	06.11
DAE	2.23	02.24	02.25	02.25	02.22	02.22	02.24	02.24	02.20	02.20	02.21	02.22	02.12	02.13
RCS	45.33	45.00	41.67	42.00	42.67	43.33	44.67	41.67	42.00	44.00	45.00	47.00	74.00	75.50
RCI	18.33	22.00	20.67	21.00	24.00	24.33	25.83	24.67	22.00	22.00	23.00	27.00	34.00	40.33
AEC	1.05	02.15	01.56	01.43	01.28	0.83	01.73	02.00	02.04	02.04	02.52	02.64	01.72	01.74
I2H	02.83	03.00	03.12	02.92	02.84	03.20	02.78	02.94	04.12	04.23	03.99	03.68	03.48	03.51
I2J	03.59	03.50	03.62	03.49	03.74	04.07	03.55	03.10	05.64	05.61	05.10	05.04	06.07	05.64
I7J	04.62	04.40	04.37	04.29	03.71	04.01	04.17	02.95	06.22	06.15	05.67	05.67	06.41	06.31
G2J	01.79	0.92	0.98	01.09	01.34	01.52	01.33	0.69	03.61	02.89	02.62	02.87	01.35	01.36
G7J	03.11	01.82	02.19	02.13	01.77	02.21	01.76	01.51	05.36	04.27	03.78	03.62	01.71	01.77
QCI	0.40	0.49	0.49	0.50	0.56	0.55	0.58	0.59	0.52	0.50	0.51	0.57	0.46	0.53
COM	93.69	94.45	95.34	95.74	92.11	92.11	93.33	93.72	92.05	92.44	93.25	93.25	90.56	91.38
VCB	65.37	69.54	74.34	76.62	59.62	59.62	64.59	66.66	57.44	60.33	63.86	64.58	54.24	58.21
SSP	12.51	12.51	12.51	12.51	08.32	08.32	08.32	08.32	07.99	07.99	07.99	07.99	09.76	09.76
MDR	3.45	03.60	03.74	3.90	03.45	03.60	03.75	03.90	03.45	03.60	03.75	03.90	03.45	03.60
DEF	55.00	54.00	31.00	37.00	32.00	27.00	30.00	33.00	40.00	40.00	42.00	38.00	34.00	33.00
STA	269.00	346.00	366.00	274.00	390.00	421.00	452.00	374.00	386.00	482.00	529.00	529.00	977.00	974.00
CDC	94.12	94.94	95.76	96.17	92.11	92.53	93.33	94.14	92.05	92.86	93.67	94.49	91.84	92.24
LIA	05.86	06.12	06.37	06.63	05.35	05.58	05.81	06.04	05.38	05.62	05.85	06.08	05.72	05.97

Suite de la matrice des données introduite dans l'ordinateur

Matrice A (56x26)

Individus

Variables	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
EDS	67.10	67.10	67.10	67.10	67.10	67.10	26.93	26.93	26.93	26.93	54.81	54.81	54.81	54.81
IDP	06.80	06.80	06.80	06.80	06.80	06.80	05.91	05.91	05.91	05.91	04.60	04.60	04.60	04.60
DVH	04.44	04.44	04.44	04.44	04.44	04.44	02.61	02.61	02.61	02.61	05.71	05.71	05.71	05.71
LOS	18.40	18.40	18.40	18.40	18.40	18.40	22.83	22.83	22.83	22.83	23.50	23.50	23.50	23.50
T16	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
T05	45.03	45.03	46.01	46.01	46.01	46.01	37.03	37.03	37.03	37.03	46.24	46.24	46.24	46.24
T04	12.35	12.53	13.84	13.84	13.84	13.84	16.96	16.96	16.96	16.96	11.60	11.60	11.60	11.60
T08	06.11	06.11	07.11	07.11	07.11	07.11	05.10	05.10	05.10	05.10	04.49	04.49	04.49	04.49
DAE	02.13	02.12	02.13	02.14	02.14	02.15	02.20	26.93	02.22	02.22	02.24	02.26	02.26	02.27
RCS	76.33	78.66	76.00	77.20	78.00	80.15	62.67	05.91	76.00	63.66	66.67	65.33	68.00	68.00
RCI	48.66	49.00	38.50	44.70	51.20	52.60	42.33	02.61	51.00	57.00	51.38	54.33	54.67	56.00
AEC	02.24	02.15	01.80	02.01	01.91	02.04	01.65	22.83	02.20	01.78	01.91	01.85	01.13	01.58
I2H	03.58	03.82	02.65	02.50	02.52	02.46	01.67	01.97	01.85	01.48	01.05	0.89	01.13	0.94
I2J	05.70	05.55	05.02	04.78	04.80	04.72	03.58	03.65	03.53	02.09	01.57	01.42	01.67	01.50
I7J	06.23	06.05	05.36	05.01	04.98	04.95	03.58	03.65	03.56	02.79	02.19	02.17	02.47	02.37
G2J	01.14	01.31	01.22	01.09	0.98	0.94	01.41	01.34	01.26	01.26	01.02	0.69	0.63	01.01
G7J	01.63	01.76	01.55	01.57	01.48	01.41	02.04	01.78	02.04	01.76	01.26	0.92	01.07	01.32
QCI	0.64	0.62	0.51	0.57	0.66	0.66	0.67	0.67	0.67	0.89	0.77	0.83	0.80	0.82
COM	91.38	91.77	89.93	90.64	91.02	91.84	91.25	91.25	92.05	92.44	91.43	92.62	93.00	93.38
VCB	58.22	60.87	53.50	56.42	58.93	62.01	87.50	87.50	79.50	75.60	57.62	61.03	63.04	65.73
SSP	09.76	09.76	11.34	11.34	11.34	11.34	08.79	08.79	08.79	08.79	07.66	07.66	07.66	07.66
MDR	03.75	03.90	03.43	03.60	03.75	03.90	03.45	03.60	03.75	03.90	03.45	03.60	03.75	03.90
DEF	34.00	36.00	30.00	33.00	30.00	30.00	33.00	45.00	30.00	29.00	38.00	27.00	36.00	32.00
STA	977.00	931.00	980.00	990.00	1012.00	1006.00	739.00	740.00	743.00	748	783.00	798.00	828	865.00
COC	92.24	92.64	90.68	91.49	91.88	92.70	92.50	92.92	92.72	94.54	91.83	93.03	93.03	93.83
LIA	06.22	06.47	05.86	06.12	06.38	06.63	05.34	05.66	05.90	06.14	05.22	05.45	05.67	05.91

Suite de la matrice des données introduite dans l'ordinateur

Matrice A (56x26)

Individus

Variables	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
EDS	26.11	26.11	26.11	26.11	26.11	26.11	26.11	26.11	22.50	22.50	22.50	22.50	37.69	37.59
IDP	06.17	06.17	06.17	06.17	06.17	06.17	06.17	06.17	08.93	08.93	08.93	08.93	10.90	10.90
DVH	04.21	04.21	04.21	04.21	04.21	04.21	04.21	04.21	02.87	02.99	02.99	02.99	04.59	04.58
LOS	21.46	21.46	21.46	21.46	21.46	21.46	21.46	21.46	24.02	24.02	24.02	24.02	29.82	29.82
T16	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
T05	51.77	51.77	51.77	51.77	51.77	51.77	51.77	51.77	54.07	54.07	54.07	54.07	52.41	52.41
T04	13.63	13.63	13.63	13.63	13.63	13.63	13.63	13.63	15.18	15.18	15.18	15.18	12.52	12.52
T08	08.60	08.60	08.60	08.60	08.60	08.60	08.60	08.60	07.68	07.68	07.68	07.68	07.23	07.23
DAE	02.34	02.35	02.35	02.35	02.33	02.33	02.34	02.35	02.23	02.24	02.25	02.26	02.34	02.35
RCS	80.00	88.33	81.67	82.33	71.30	70.00	65.20	66.27	66.33	67.66	70.33	63.33	106.06	115.33
RCI	60.33	85.00	76.00	68.33	53.72	58.25	59.10	54.30	19.00	22.67	30.00	28.00	65.33	78.67
AEC	02.14	0.99	01.74	01.65	02.01	02.09	01.92	02.11	02.86	03.24	02.62	02.45	01.44	01.39
I2H	01.79	01.33	02.50	01.19	02.50	02.41	02.20	01.84	03.37	03.06	02.95	02.64	02.13	01.94
I2J	02.50	01.70	02.93	01.70	02.94	02.95	02.81	02.63	05.10	04.80	04.24	03.71	02.79	02.45
I7J	02.40	01.70	03.07	01.70	03.04	03.01	03.00	02.84	06.30	05.97	05.61	04.78	03.18	02.85
G2J	0.36	0.42	0.39	0.19	0.48	0.40	0.42	0.27	03.55	03.54	02.72	02.75	0.65	0.49
G7J	01.35	01.12	0.75	0.68	01.00	0.88	0.82	0.70	06.14	05.66	04.84	04.69	0.76	0.68
QCI	0.75	0.96	0.93	0.83	0.75	0.83	0.91	0.82	0.28	0.33	0.43	0.44	0.62	0.68
COM	96.30	97.11	97.51	97.51	95.47	96.28	97.08	97.08	92.01	92.33	94.06	94.49	92.37	92.76
VCB	76.83	81.46	84.41	84.41	73.41	77.67	82.53	83.13	59.64	63.73	69.35	70.98	60.99	62.32
SSP	13.11	13.11	13.11	13.11	13.11	13.11	13.11	13.11	12.11	12.11	12.11	12.11	10.62	10.62
ADR	03.45	03.60	03.75	03.90	03.45	03.60	03.75	03.90	03.45	03.60	03.75	03.90	03.45	03.60
DEF	33.00	33.00	35.00	35.00	35.00	36.00	33.00	35.00	36.75	39.50	52.75	36.00	32.00	35.33
STA	930.00	950.00	870.00	860.00	710.00	700.00	677.00	604.00	769.00	945.00	1052.00	1165.00	897.00	893.00
COC	95.88	96.69	97.08	97.91	96.29	96.69	97.51	98.33	95.80	96.20	97.03	97.46	95.58	95.98
LIA	05.78	06.04	06.02	06.54	05.78	06.04	06.20	06.54	05.85	06.09	06.34	06.59	05.45	05.68

Suite de la matrice des données introduite dans l'ordinateur

Matrice A (56x26)

Individus

Variables	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
EDS	37.59	37.59	37.53	37.53	37.53	37.53	37.53	37.53	37.53	37.53	37.53	37.53	37.53	37.53
IDP	10.90	10.90	05.11	05.11	05.11	05.11	05.11	05.11	05.11	05.11	05.11	05.11	05.11	05.11
DVH	04.59	04.59	04.30	04.30	04.30	04.30	03.90	03.90	03.90	03.90	03.90	03.90	03.90	03.90
LOS	29.82	29.82	25.10	25.10	25.10	25.10	24.72	24.72	24.72	24.72	24.86	24.86	24.86	24.86
T16	100.00	100.00	99.69	99.69	99.69	99.69	97.11	97.11	97.11	97.11	100.00	100.00	100.00	100.00
T05	52.41	52.41	54.00	54.00	54.00	54.00	43.20	43.20	43.20	43.20	55.92	55.92	55.92	55.92
T04	012.52	12.52	15.36	15.36	15.36	15.36	15.38	15.38	15.38	15.38	17.92	17.92	17.92	17.92
T08	07.23	07.23	05.92	05.92	05.92	05.92	05.95	05.95	05.95	05.95	06.90	06.90	06.90	06.90
DAE	02.35	02.37	02.28	02.28	02.29	02.29	02.29	02.31	02.31	02.31	02.30	02.31	02.31	02.32
RCS	112.00	107.67	92.00	88.00	92.00	100.00	88.33	99.33	102.33	98.33	82.67	97.00	91.00	109.67
RCE	86.33	84.62	61.00	55.00	60.00	61.00	53.00	60.66	59.03	66.33	56.22	74.00	77.33	94.33
AEC	01.79	01.59	02.13	02.01	01.49	02.06	01.38	01.40	01.98	01.31	01.23	01.08	01.51	01.35
I2H	01.73	01.68	02.45	02.47	02.85	02.50	02.48	02.15	02.15	01.76	02.29	02.10	01.57	01.60
I2J	02.13	02.08	03.39	03.40	03.72	03.34	02.71	02.38	02.31	01.93	02.55	02.30	01.77	01.90
I7J	02.40	02.35	03.95	03.80	04.02	03.70	03.03	02.78	02.69	02.39	03.28	03.13	02.41	02.57
G2J	0.57	0.44	01.03	0.85	0.70	0.31	0.46	0.80	0.56	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
G7J	0.69	0.47	01.46	01.03	0.88	0.31	0.88	0.89	0.82	0.87	0.91	0.57	0.73	0.45
RCI	0.77	0.79	0.66	0.63	0.65	0.61	0.60	0.61	0.58	0.66	0.63	0.76	0.85	0.86
COM	93.55	94.33	94.58	94.98	95.79	95.38	91.87	93.06	93.85	94.65	93.38	94.26	94.43	95.06
VCB	66.39	70.45	68.67	70.98	75.66	74.43	58.41	63.09	67.29	70.96	63.38	68.84	69.76	73.18
SSP	10.62	10.62	09.83	09.83	09.83	09.83	09.64	09.64	09.64	09.64	11.28	11.28	11.28	11.28
HDR	03.75	03.90	03.45	03.60	03.75	03.90	03.45	03.60	03.75	03.90	03.45	03.60	03.75	03.90
DEF	33.00	28.25	39.00	37.00	37.00	42.00	38.00	44.00	41.00	53.00	45.00	45.00	45.00	45.00
STA	991.00	974.00	832.00	832.00	942.00	892.00	934.00	931.00	1049.00	914.00	854.00	857.00	834.00	838.00
COC	96.37	97.57	95.43	96.23	96.64	97.93	94.31	95.54	95.90	95.88	94.28	95.08	95.08	95.88
LIA	05.92	06.16	05.55	05.80	06.04	06.28	05.41	05.64	05.88	06.12	05.56	05.81	6.05	06.29

Résultats de l'analyse:

	MOYENNES	Ecart-types	Variances
EDS	39.95072	14.903	222.114
IDP	6.17053	1.704	2.904
DVH	4.21928	0.718	0.516
LOS	22.68411	2.882	8.308
TA6	99.05713	2.619	6.859
TO5	48.71214	7.684	59.050
TO4	13.88464	2.029	4.117
TO8	6.54643	1.360	1.850
DAE	2.25696	6.933 $\cdot 10^{-2}$	4.806 $\cdot 10^{-3}$
RCS	73.95806	20.527	421.349
RCI	49.28036	20.007	400.278
AEC	1.81875	0.469	0.220
I2H	2.44250	0.814	0.663
I2J	3.39821	1.288	1.659
I7J	3.86000	1.368	1.874
G2J	1.11632	0.910	0.830
G7J	1.77892	1.378	1.901
QCI	0.64732	0.520	2.310 $\cdot 10^{-2}$
COM	93.56233	1.901	3.616
VCB	68.12213	8.806	77.551
SSP	10.43428	1.798	3.234
MDR	3.67464	0.168	2.830 $\cdot 10^{-2}$
DEF	36.93893	6.612	43.724
STA	778.64290	224.364	50339.320
COC	94.71143	1.967	3.869
LIA	5.94607	0.352	0.124

Les valeurs propres trouvées sont :

8.359 ; 4.437 ; 2.844 ; 2.295 ; 1.753 ; 1.664 ; 1.336 ; 0.846
 0.680 ; 0.547 ; 0.332 ; 0.267 ; 0.223 ; 0.180 ; 0.084 ; 0.059
 0.032 ; 0.027 ; 0.012 ; $8.722 \cdot 10^{-3}$; $5.669 \cdot 10^{-3}$; $3.443 \cdot 10^{-3}$; $1.843 \cdot 10^{-3}$
 $1.256 \cdot 10^{-3}$; $8.902 \cdot 10^{-4}$; $7.684 \cdot 10^{-5}$

Valeurs qui sont solutions des 26 équations à 26 inconnues représentées par le calcul matriciel comme suit

$$|R - \lambda I| = 0 \quad \text{où } R \text{ est la matrice Corrélation}$$

Matrice de corrélation obtenue

	EDS	IDP	DVH	LOS	TAG	TOS	T04	TOB	DAE	RCS	RCI	AEC	IRH	I2J	I7J	G2J	G7J	QCI	COM	VCB	SSP	MDR	DEF	STA	COC	LIA	
EDS	1.00																										
IDP	-0.06	1.00																									
DVH	0.52	-0.24	1.00																								
LOS	-0.40	0.41	-0.10	1.00																							
TAG	0.28	0.20	-0.11	0.10	1.00																						
TOS	-0.06	0.08	0.15	0.21	-0.04	1.00																					
T04	-0.43	-0.01	-0.71	0.28	-0.07	-0.06	1.00																				
TOB	-0.44	0.43	-0.18	-0.00	-0.28	0.10	0.24	1.00																			
DAE	-0.62	0.15	0.01	0.70	-0.00	0.17	0.21	0.41	1.00																		
RCS	-0.00	0.40	-0.12	0.61	0.31	0.01	0.44	0.20	0.45	1.00																	
RCI	-0.06	0.20	0.03	0.52	0.35	-0.02	0.36	0.21	0.61	0.86	1.00																
AEC	-0.17	0.19	-0.31	-0.17	0.21	-0.02	-0.06	0.05	-0.26	-0.20	-0.37	1.00															
IRH	0.13	-0.06	-0.06	-0.45	-0.15	0.13	-0.31	-0.06	-0.54	-0.47	-0.68	0.38	1.00														
I2J	0.31	0.05	-0.14	-0.58	0.03	0.01	-0.28	-0.11	-0.79	-0.40	-0.65	0.47	0.88	1.00													
I7J	0.25	0.06	-0.14	-0.51	-0.05	0.08	-0.21	-0.10	-0.77	-0.42	-0.69	0.51	0.88	0.97	1.00												
G2J	-0.10	0.06	-0.25	-0.22	0.03	0.09	-0.27	-0.24	-0.50	-0.54	-0.73	0.60	0.63	0.67	0.75	1.00											
G7J	-0.23	0.08	-0.33	-0.21	-0.05	0.15	-0.15	-0.09	-0.41	-0.56	-0.73	0.59	0.60	0.60	0.70	0.97	1.00										
QCI	-0.05	-0.12	0.19	0.19	0.34	-0.13	0.11	0.09	0.52	0.39	0.80	-0.38	-0.71	-0.69	-0.76	-0.71	-0.71	1.00									
COM	-0.61	-0.10	0.02	0.20	-0.18	0.23	0.15	0.58	0.77	0.12	0.35	-0.09	-0.26	-0.50	-0.50	-0.39	-0.27	0.44	1.00								
VCB	-0.68	-0.07	-0.42	0.14	-0.08	-0.09	0.43	0.37	0.53	0.09	0.55	-0.04	-0.40	-0.45	-0.48	-0.33	-0.25	0.49	0.70	1.00							
SSP	-0.46	0.36	-0.24	-0.05	-0.28	0.09	0.34	0.99	0.37	0.18	0.19	0.07	-0.06	-0.10	-0.09	-0.24	-0.07	0.08	0.58	0.40	1.00						
MDR	-0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.14	0.00	-0.00	0.11	0.06	0.19	0.10	-0.12	-0.16	-0.14	-0.14	-0.14	0.26	0.34	0.32	-0.00	1.00					
DEF	-0.38	-0.24	-0.20	0.16	-0.39	0.16	0.39	0.11	0.14	0.07	-0.06	0.02	0.13	-0.05	0.07	0.10	0.18	-0.26	0.17	0.07	0.15	-0.06	1.00				
STA	0.18	0.44	-0.21	0.28	0.50	-0.09	0.33	0.14	0.07	0.76	0.57	0.12	-0.33	-0.11	-0.10	-0.22	-0.23	0.21	-0.11	-0.08	0.15	0.07	-0.10	1.00			
COC	-0.73	0.27	-0.24	0.52	-0.11	0.23	0.31	0.60	0.82	0.36	0.39	0.09	-0.26	-0.47	-0.43	-0.25	-0.14	0.25	0.85	0.62	0.58	0.36	0.21	0.13	1.00		
LIA	-0.11	0.19	-0.16	-0.25	-0.19	0.15	0.15	0.52	-0.00	0.03	0.06	0.25	0.08	0.10	0.12	-0.08	0.00	0.05	0.42	0.33	0.54	0.77	0.01	0.15	0.44	1.00	

Variables prises en compte

Première colonne : coordonnées des variables sur les nouveaux axes
 Deuxième colonne : cosinus carré

Variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
EDS	0.4160	0.1731	0.7140	0.5098	0.1618	0.0262
IDP	-0.1521	0.0231	-0.2145	0.0460	0.6711	0.4504
DVH	0.0534	0.0029	0.5349	0.2861	-0.4410	0.1945
LOS	-0.5746	0.3301	0.0354	0.0013	0.2516	0.0633
T16	-0.0517	0.0027	0.3712	0.1378	0.5760	0.3317
T05	-0.0250	0.0006	-0.2152	0.0463	-0.0722	0.0052
T04	-0.4343	0.1886	-0.3008	0.0905	0.2894	0.0837
T08	-0.4249	0.1805	-0.6367	0.4054	0.0788	0.0062
DAE	-0.8574	0.7357	-0.1647	0.0271	-0.1457	0.0212
RCS	-0.6534	0.4269	0.1961	0.0384	0.6062	0.3674
RCI	-0.8457	0.7152	0.3035	0.0921	0.3054	0.0932
AEC	0.3836	0.1471	-0.4776	0.2281	0.3671	0.1348
I2H	0.7719	0.5958	-0.3556	0.1265	-0.0111	0.0001
I2J	0.8557	0.7321	-0.2337	0.0546	0.2410	0.0581
I7J	0.8688	0.7547	-0.3063	0.0938	0.2378	0.0566
G2J	0.7709	0.5944	-0.3770	0.1421	0.1403	0.0197
G7J	0.6912	0.4777	-0.5209	0.2713	0.1059	0.0112
QCI	-0.7494	0.5617	0.3814	0.1454	-0.1081	0.0117
COM	-0.6809	0.4636	-0.4689	0.2199	-0.3813	0.1454
VCB	-0.6251	0.3907	-0.4252	0.1724	-0.2190	0.0480
SSB	-0.4148	0.1721	-0.6645	0.4416	0.0788	0.0062
MDR	-0.2805	0.0626	-0.1669	0.0279	-0.0398	0.0036
DEF	-0.0451	0.0020	-0.3932	0.1546	-0.1534	0.0235
STA	-0.3234	0.1046	0.1497	0.0229	0.8232	0.6777
COC	-0.6999	0.4898	-0.5946	0.3535	-0.0059	0.0000
LIA	-0.1763	0.0311	-0.5494	0.3018	0.0673	0.0045

Individus pris en compte

Première colonne : Coordonnée des individus sur les nouveaux axes.

Deuxième colonne : Cosinus carré

Individu	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6						
1	2.0505	0.0976	-2.6770	0.1663	-3.6875	0.3155	-1.6979	0.0669	0.4607	0.0049	3.4450	0.2754
2	1.1710	0.0405	-3.2017	0.3030	-3.3457	0.3309	-0.4218	0.0053	0.0818	0.0002	2.3651	0.1654
3	0.7544	0.0184	-2.9919	0.2891	-3.4922	0.3938	1.2134	0.0476	0.1944	0.0012	1.3404	0.0580
4	0.3545	0.0034	-3.4810	0.3313	-3.9285	0.4220	1.5585	0.0664	0.0099	0.0000	1.0008	0.0274
5	3.0771	0.3846	2.4962	0.2531	-1.8581	0.1402	-0.8312	0.0281	0.9035	0.0332	0.2359	0.0023
6	3.1712	0.3853	2.3079	0.2041	-1.8172	0.1265	-0.0217	0.0000	0.9733	0.0363	-0.0814	0.0003
7	2.3855	0.3754	1.4516	0.1390	-1.6750	0.1851	0.6518	0.0280	0.7376	0.0359	-1.2349	0.1006
8	1.6636	0.1529	1.0576	0.0622	-2.1575	0.2589	1.2153	0.0822	0.5653	0.0178	-1.7926	0.1787
9	6.1295	0.7487	-0.1634	0.0005	-1.2947	0.0334	-2.0292	0.0821	1.0042	0.0201	-1.0523	0.0221
10	5.3701	0.7852	-0.2983	0.0024	-1.2642	0.0435	-1.0871	0.0322	0.7663	0.0160	-1.2245	0.0408
11	4.5233	0.6809	-0.8046	0.0215	-1.2633	0.0531	-0.4349	0.0063	0.5690	0.0108	-2.0306	0.1372
12	4.0361	0.5540	-0.9774	0.0325	-1.1276	0.0432	0.3557	0.0048	0.5068	0.0087	-2.8564	0.2775
13	4.5552	0.6339	1.6830	0.0865	1.6948	0.0878	0.9726	0.0289	-0.1844	0.0010	1.9826	0.1201
14	3.8273	0.5950	1.3561	0.0747	1.5382	0.0961	1.7309	0.1217	-0.3508	0.0050	1.2362	0.0621
15	3.4561	0.4738	1.0834	0.0466	1.7744	0.1249	2.5862	0.2651	-0.6128	0.0149	0.4865	0.0094
16	3.2758	0.4017	0.5514	0.0114	1.5798	0.0934	3.0780	0.3547	-0.7537	0.0213	0.0662	0.0002
17	3.4398	0.4153	1.8217	0.1165	1.9023	0.1270	1.2685	0.0565	-0.5643	0.0112	2.4551	0.2116
18	2.6307	0.3431	1.3229	0.0868	1.8118	0.1628	1.9305	0.1848	-0.7505	0.0279	1.6896	0.1416
19	2.0191	0.2022	1.2361	0.0758	1.7891	0.1588	2.8937	0.4154	-0.9688	0.0466	1.0911	0.0591
20	1.5049	0.1079	0.6848	0.0223	1.7082	0.1390	3.5924	0.6147	-1.0466	0.0522	0.4180	0.0083
21	0.4708	0.0081	0.7139	0.0185	0.5013	0.0091	-2.8433	0.2936	-3.3536	0.4085	-0.5674	0.0117
22	0.0621	0.0002	-0.0135	0.0000	0.7744	0.0261	-2.5441	0.2813	-3.4729	0.5242	-0.6663	0.0193
23	-0.0325	0.0001	-0.0120	0.0000	1.0914	0.0661	-1.2187	0.0825	-3.0551	0.5182	-1.6857	0.1578
24	-1.3225	0.0747	0.4789	0.0098	0.4245	0.0077	-0.4872	0.0101	-3.1664	0.4281	-2.2813	0.2222
25	0.4721	0.0072	4.5185	0.6637	-1.0923	0.0388	-1.5407	0.0772	0.6966	0.0158	-0.2864	0.0027
26	-0.4843	0.0082	4.4709	0.7062	-1.2448	0.0547	-0.2512	0.0022	0.6734	0.0160	-1.2115	0.0519
27	-0.7085	0.0211	4.1121	0.7118	-1.5985	0.1075	-0.0471	0.0001	0.5207	0.0124	-0.8461	0.0301

Suite du tableau donnant les coordonnées des individus dans les nouveaux axes.

	Axe 1		Axe 2		Axe 3		Axe 4		Axe 5		Axe 6	
2 8	-0.9856	0.0211	3.5190	0.5185	-1.3353	0.0747	0.7255	0.0220	0.4767	0.0095	-2.0156	0.1701
2 9	-2.8455	0.0407	-0.9149	0.0462	-0.1181	0.0008	0.1304	0.0009	0.3265	0.0059	0.5497	0.0167
3 0	-4.9345	0.4467	-0.2252	0.0015	-0.6482	0.0125	0.8509	0.0216	0.0145	0.0000	0.4156	0.0051
3 1	-3.8132	0.7248	-1.5812	0.1004	-0.5440	0.0119	1.6865	0.1142	-0.0538	0.0001	-0.2786	0.0031
3 2	-4.8787	0.5839	-1.5769	0.0736	-2.9063	0.0243	2.0602	0.1256	-0.1627	0.0008	-0.8034	0.0191
3 3	-1.8593	0.7043	-0.5586	0.0071	-0.3532	0.0028	-0.0195	0.0000	-2.2647	0.1160	1.1780	0.0314
3 4	-2.5284	0.0782	-1.5705	0.1625	-0.7996	0.0421	0.8927	0.0535	0.1707	0.0019	0.1576	0.0016
3 5	-3.2300	0.4211	-1.7893	0.1460	-1.2085	0.0666	1.6291	0.1210	-0.0070	0.0000	-0.6024	0.0165
3 6	-3.4863	0.4415	-2.4039	0.2099	-1.3621	0.0674	2.1700	0.1711	-0.0388	0.0001	-1.0977	0.0438
3 7	3.9199	0.3028	-4.3017	0.3647	2.8173	0.1564	-2.0875	0.0859	1.2269	0.0297	-0.1575	0.0005
3 8	3.0420	0.1998	-4.6627	0.4694	3.0687	0.2033	-1.3527	0.0395	0.9860	0.0210	-0.9182	0.0182
3 9	1.2714	0.0448	-4.7468	0.6251	2.4352	0.1645	-0.9923	0.0273	0.5282	0.0077	-0.6119	0.0104
4 0	+0.5854	0.0183	-4.3897	0.5787	2.4603	0.1812	0.3515	0.0037	0.5210	0.0081	-1.6496	0.0814
4 1	-1.9880	0.1428	1.3700	0.0678	2.1145	0.1615	-1.4544	0.0764	3.1867	0.3669	1.2077	0.0524
4 2	-2.9472	0.3293	1.3204	0.0661	1.9310	0.1414	-0.9669	0.0354	2.8845	0.3148	0.7961	0.0240
4 3	-3.7105	0.4501	0.9377	0.0287	2.2937	0.1720	-0.0377	0.0000	2.7467	0.2466	-0.2707	0.0024
4 4	-4.3721	0.5254	0.6149	0.0104	1.9132	0.1006	0.8592	0.0203	2.7038	0.2009	-0.9514	0.0249
4 5	-0.6988	0.0620	0.3589	0.0164	0.4483	0.0255	-1.6447	0.3434	0.4097	0.0213	0.1011	0.0013
4 6	-1.0193	0.1916	0.0300	0.002	0.1726	0.0055	-0.8426	0.1310	0.3052	0.0172	-0.3335	0.0205
4 7	-1.6230	0.2887	-0.1970	0.0043	0.1291	0.0018	-0.0309	0.0001	0.1469	0.0024	-0.4542	0.0226
4 8	-2.1650	0.3211	-0.6371	0.0310	0.3082	0.0065	0.4007	0.0110	0.0771	0.0004	-0.9370	0.0601
4 9	-0.5519	0.0232	1.6511	0.2086	0.2717	0.0056	-2.1965	0.3692	-0.3208	0.0079	1.6411	0.2061
5 0	-1.5621	0.2135	0.9591	0.0805	0.1782	0.0028	-1.9289	0.3256	-0.3708	0.0120	1.0211	0.0912
5 1	-1.8901	0.3237	0.3561	0.0115	0.5926	0.0318	-0.9990	0.0904	-0.5578	0.0282	0.0962	0.0008
5 2	-2.8145	0.3954	0.1417	0.0010	-0.4351	0.0095	-0.9506	0.0451	-0.9246	0.0427	0.1309	0.0009
5 3	-1.6182	0.1618	0.5900	0.0215	0.1726	0.0018	-2.0753	0.2662	-0.2456	0.0037	1.9782	0.2419
5 4	-3.0178	0.4944	0.5424	0.0160	0.2070	0.0023	-1.2616	0.0864	-0.5074	0.0140	1.3153	0.1042
5 5	-3.6091	0.6531	0.3461	0.0060	0.0840	0.0004	-0.6257	0.0196	-0.7866	0.0310	0.3708	0.0069
5 6	-4.5231	0.6898	0.1351	0.0006	0.3692	0.0046	0.0994	0.0003	-0.8513	0.0244	0.0610	0.0001

On s'est fixé comme objectif d'avoir un taux d'information de l'ordre de 80%. Cette limite est atteinte avec les six (06) premiers axes. On voit que la réduction est considérable, sinon immense. On avait vingt six (26) variables. Maintenant on n'a que 6 nouvelles variables. Ces six nouvelles variables, comme il a été dit précédemment, sont des combinaisons linéaires des 26 anciennes variables. Les coefficients de ces combinaisons ne sont autres que les vecteurs propres associés aux valeurs propres (composantes de ces vecteurs) soit le tableau suivant

Inertie totale : 26

Valeurs propres	Contribution à l'inertie	Taux d'information expliquée (Cumulée)
8.359	32.150	32.150
4.437	17.064	49.214
2.844	10.939	60.153
2.295	8.828	68.982
1.753	6.742	75.724
1.664	6.401	82.125

On voit que le premier axe explique à lui seul 32.15% de l'information totale.

Les trois premiers axes expliquent 60.15% de la variance totale.

Les six premiers axes expliquent 82.12% de la variance totale. On estime que c'est un taux assez confortable, on considère que ces six axes suffisent à expliquer l'information totale qui se trouve dans la matrice des données A.

Donc les six premiers axes donnent un taux d'information satisfaisant pour la présente analyse. On peut se fier aux résultats qu'elle donne, qui restent néanmoins des résultats théoriques que seule l'expérience pourra réellement confirmer ou infirmer.

Avec six facteurs, on prend donc en compte 82.12% de l'inertie totale du nuage; cela paraît un bon résultat, puisque passant de R^{26} à R^6 , on ne perd que 18% de l'information.

Les nouvelles variables $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6$ sont donc des combinaisons linéaires des anciennes variables $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{26}$ (EDS, IDP, ..., LIA)

On peut les écrire

$$Y_1 = a_{11} X_1 + a_{21} X_2 + \dots + a_{p1} X_p$$

$$Y_i = a_{1i} X_1 + a_{2i} X_2 + \dots + a_{pi} X_p$$

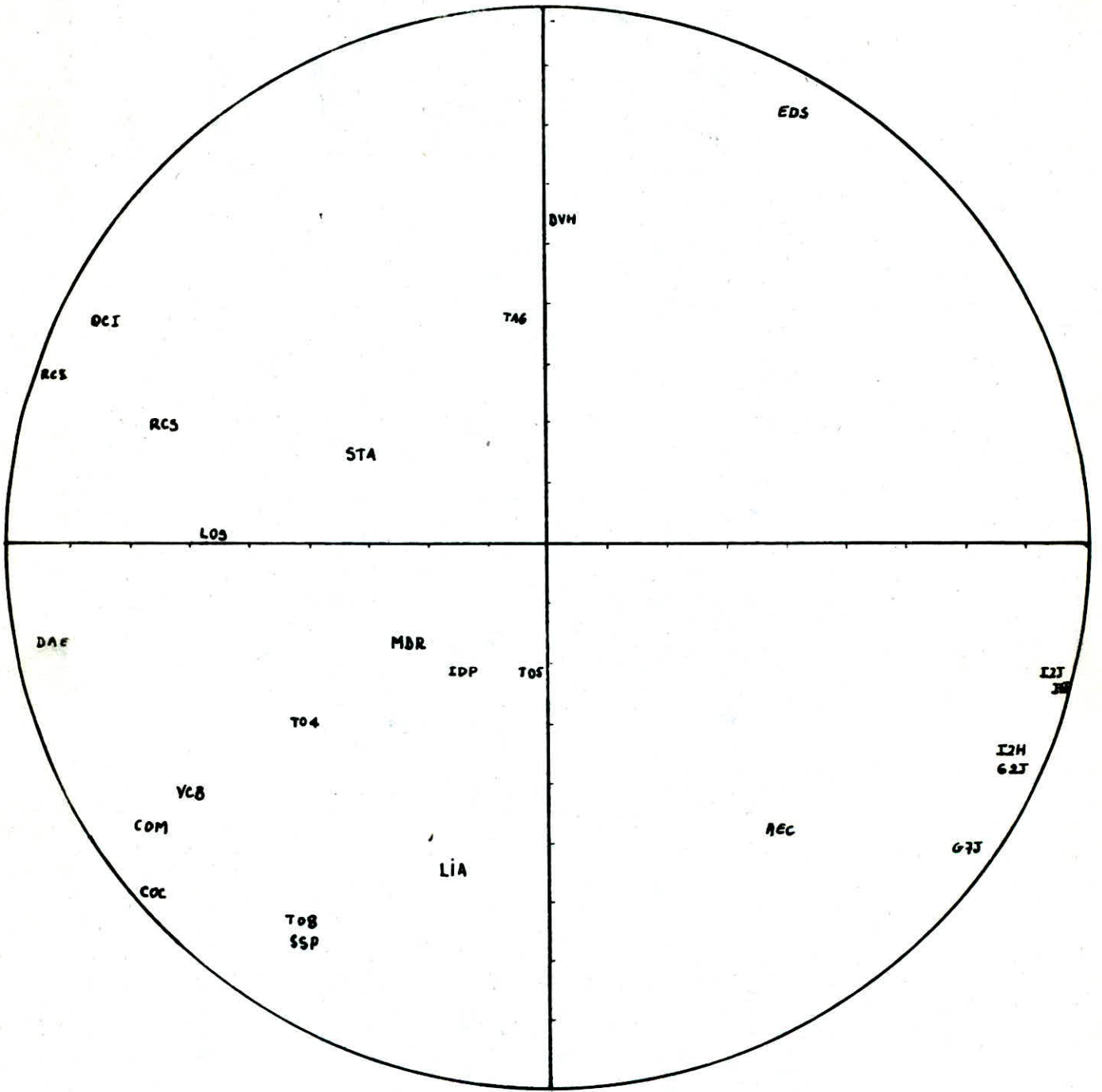
les coefficients a_{ij} sont les composantes du vecteur propre d'ordre i , c'est à dire les composantes du $i^{\text{ème}}$ vecteur propre.

On a trouvé six axes; les a_{ij} , coefficients de charge, pour ces six nouvelles variables sont:

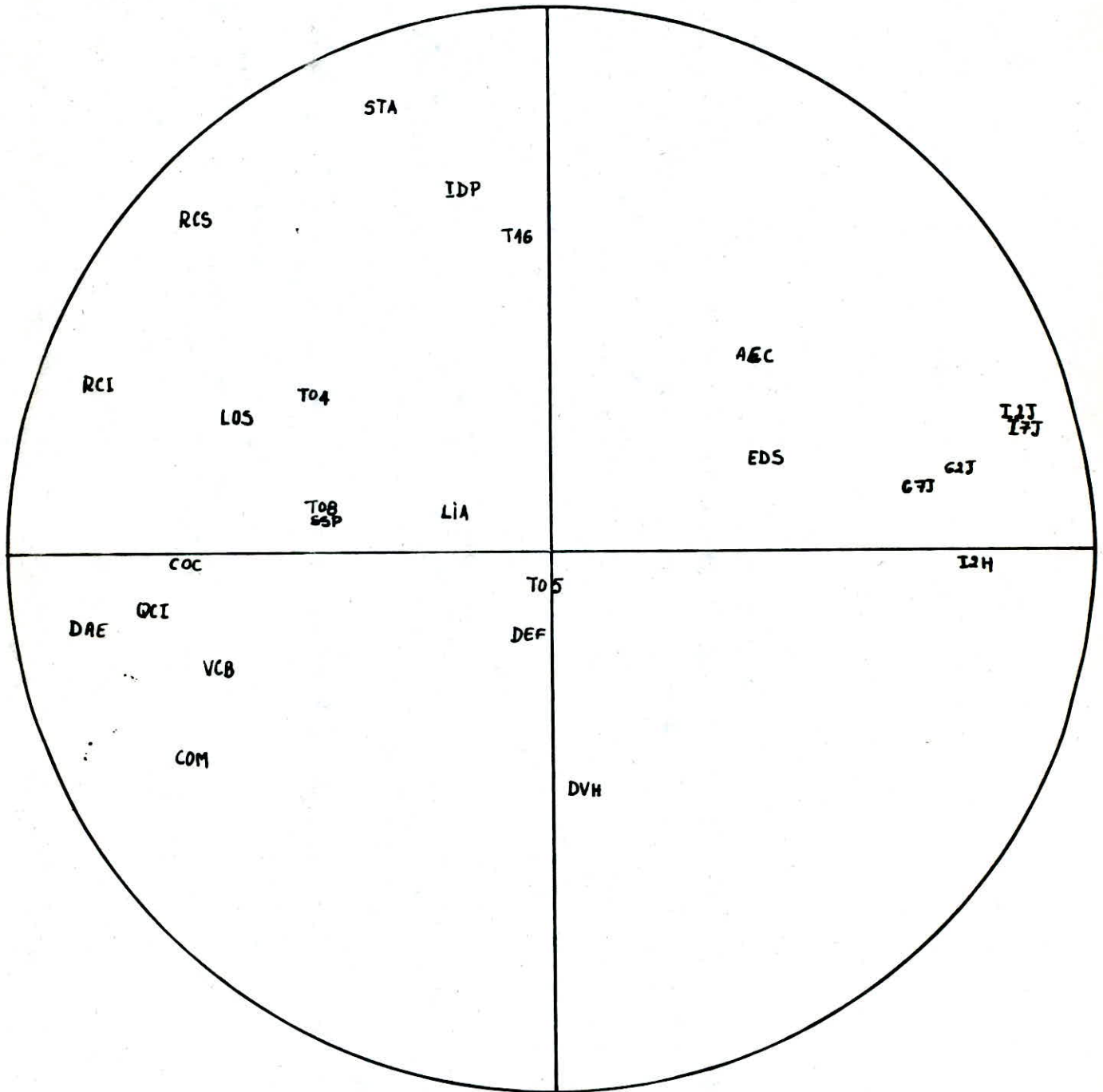
Coefficients de charge des nouvelles variables (ou Axes nouveaux).

variable 1	variable 2	variable 3	variable 4	variable 5	variable 6
Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
0.144	0.339	0.096	0.296	0.033	0.125
-0.053	-0.102	0.398	0.071	0.317	0.076
0.018	0.254	-0.262	0.226	0.389	0.085
-0.199	0.017	0.149	-0.354	0.327	-0.111
-0.018	0.176	0.342	0.035	-0.006	-0.366
-0.009	-0.102	-0.043	0.020	0.456	-0.055
-0.150	-0.143	0.172	-0.225	-0.413	0.155
-0.147	-0.302	0.047	0.210	0.087	0.350
-0.297	-0.078	-0.086	-0.147	0.241	-0.082
-0.226	0.093	0.359	-0.038	0.059	0.142
-0.293	0.144	0.181	0.048	-0.011	0.016
0.133	-0.227	0.218	0.047	-0.015	-0.311
0.267	-0.169	-0.007	0.066	0.097	0.070
0.296	-0.111	0.143	0.133	-0.041	0.073
0.300	-0.145	0.141	0.086	0.004	0.074
0.267	-0.179	0.083	-0.158	0.094	-0.238
0.239	-0.247	0.063	-0.168	0.087	-0.188
-0.259	0.181	-0.064	0.150	-0.134	-0.168
-0.236	-0.223	-0.226	0.117	0.095	-0.106
-0.216	-0.197	-0.130	0.001	-0.299	-0.213
-0.143	-0.315	0.047	0.197	0.013	0.351
-0.087	-0.079	-0.035	0.362	-0.054	-0.412
-0.016	-0.187	-0.091	-0.295	-0.054	0.198
-0.112	0.071	0.488	0.087	-0.041	0.043
-0.242	-0.282	-0.003	-0.001	0.179	-0.137
-0.061	-0.261	0.040	0.475	-0.091	-0.076

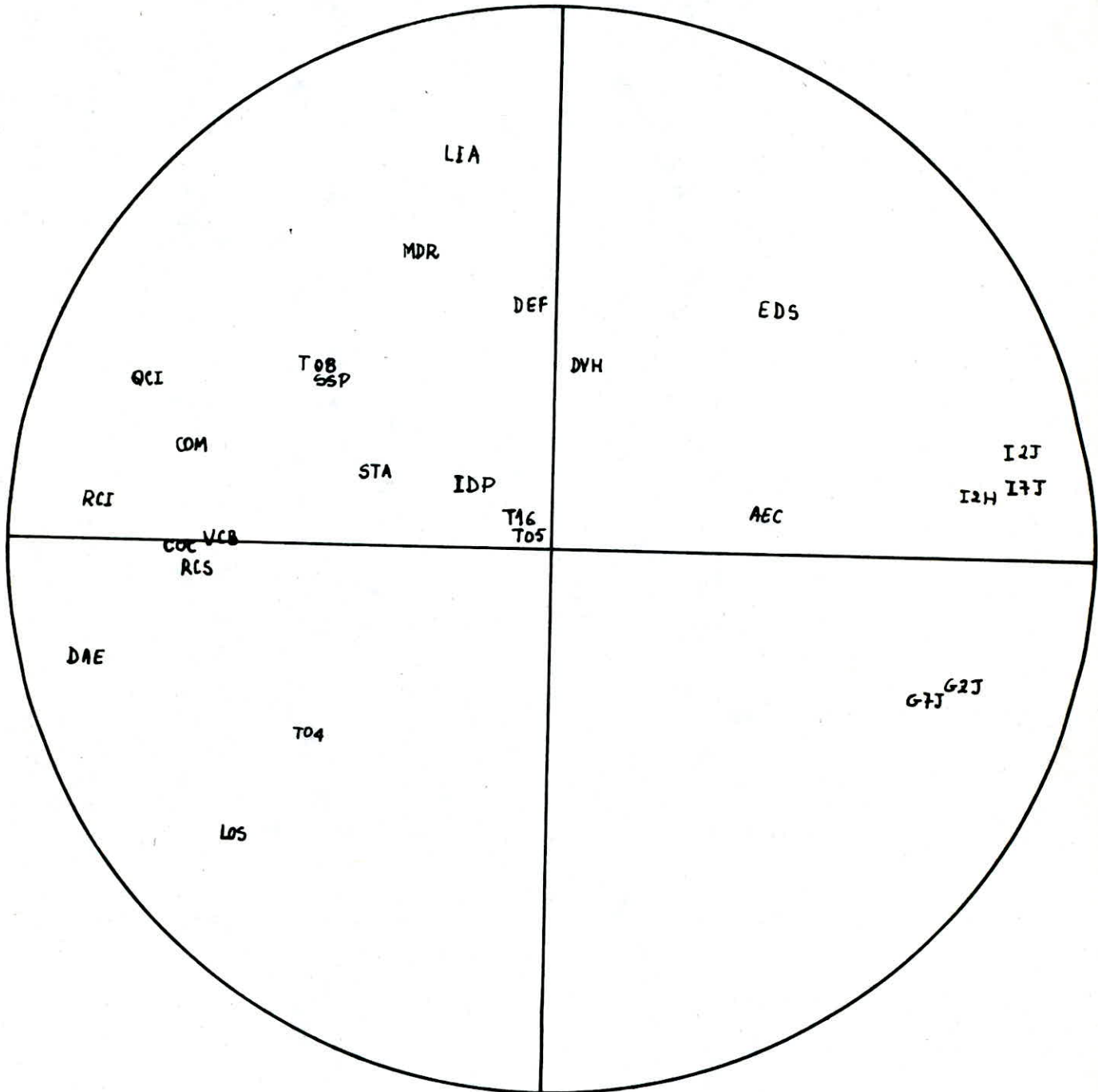
Plan 1x2 Aze 1 horizontale.



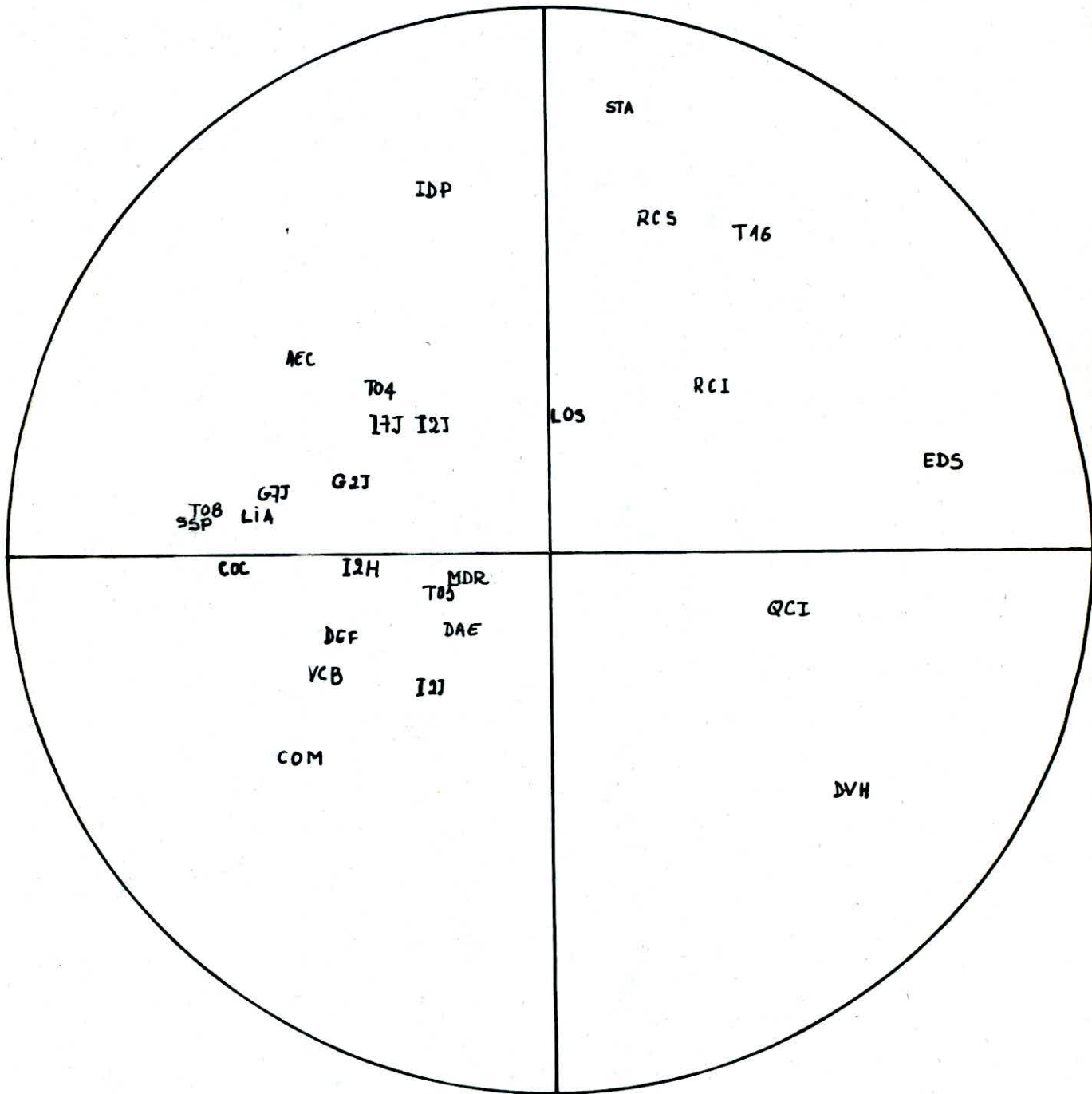
Plan 1x3 Axe 1 horizontale



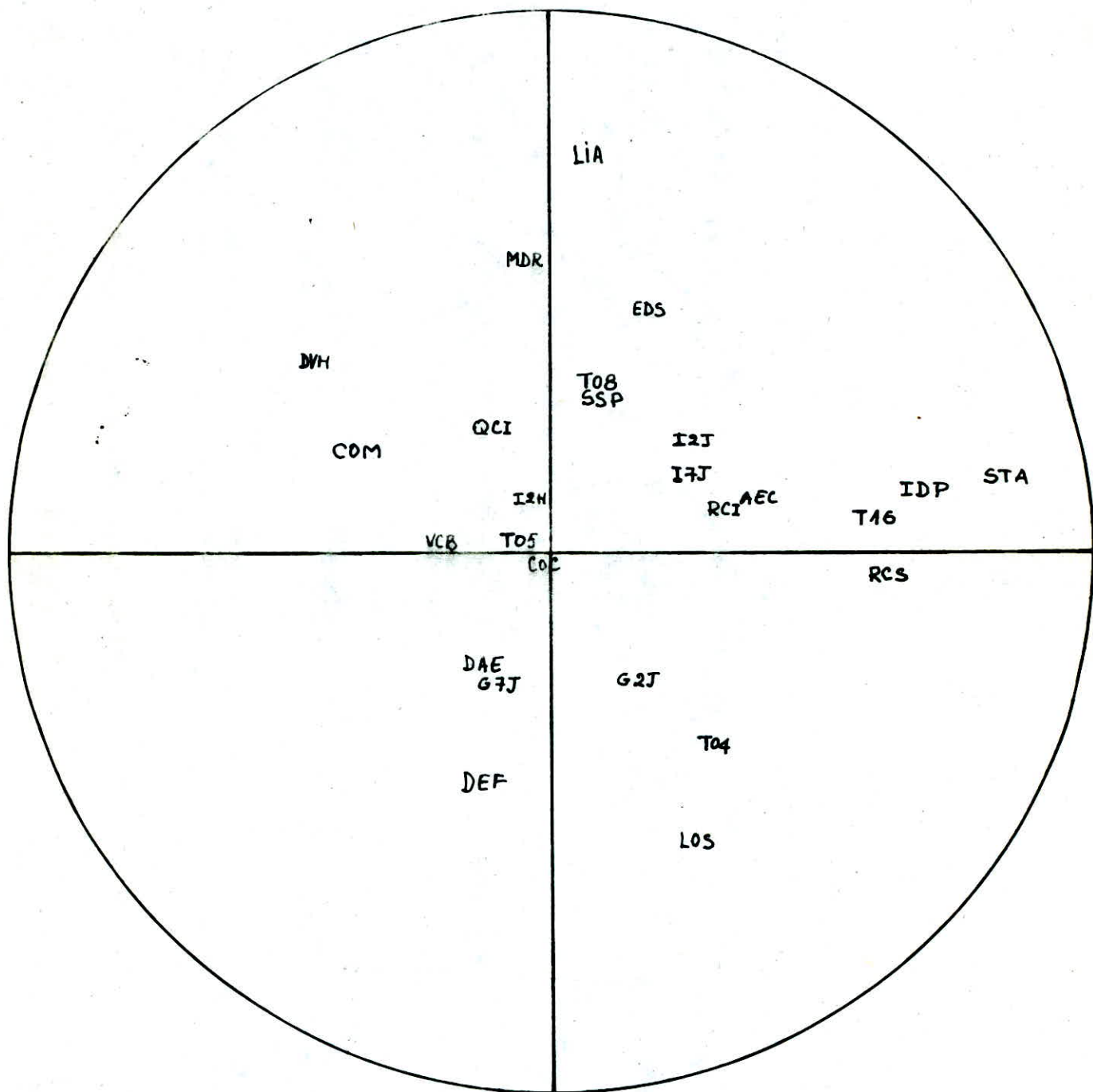
Plan 1x4 Axe 1 en horizontale.



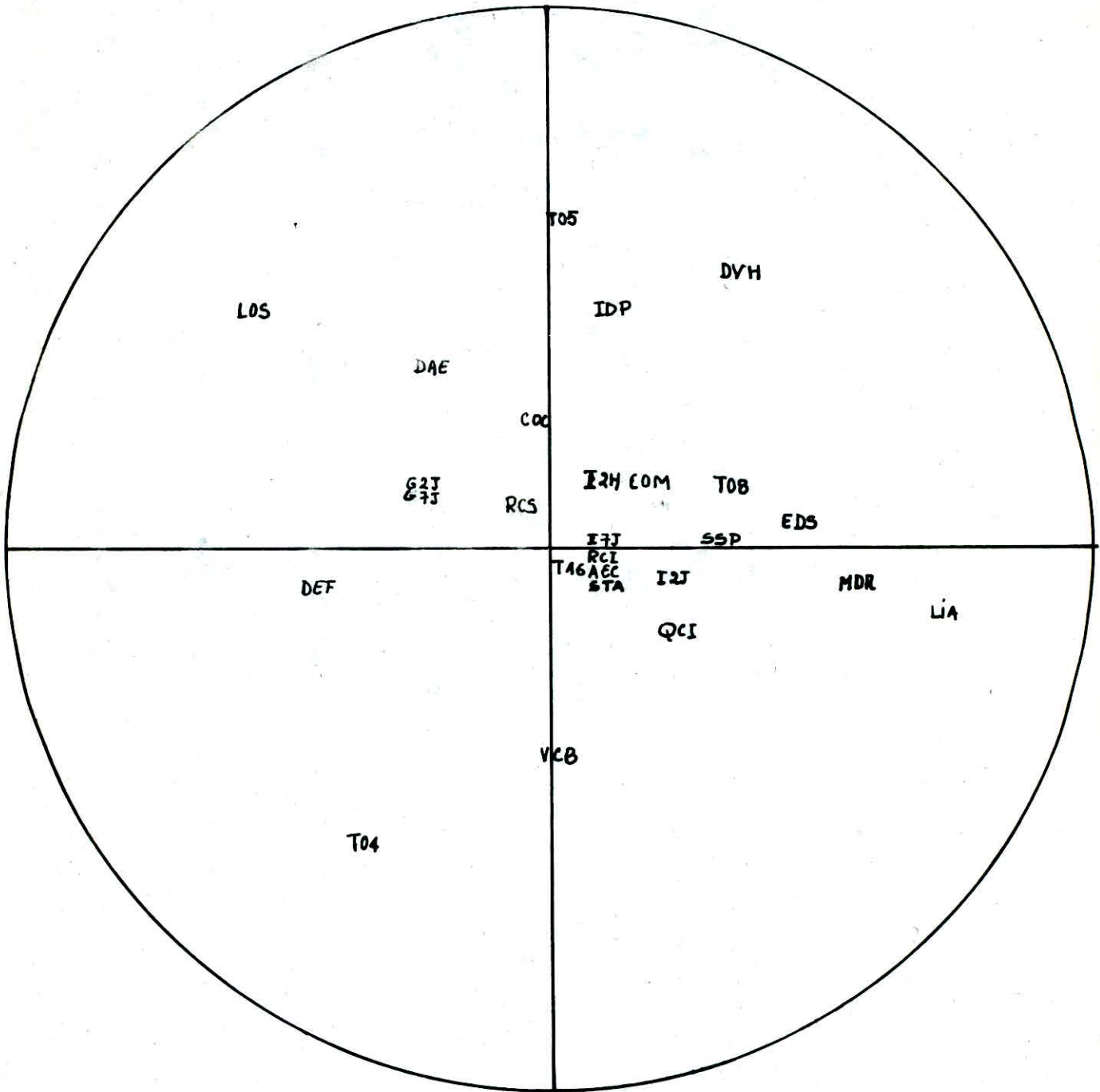
Plan 2x3 Axe 2 horizontale



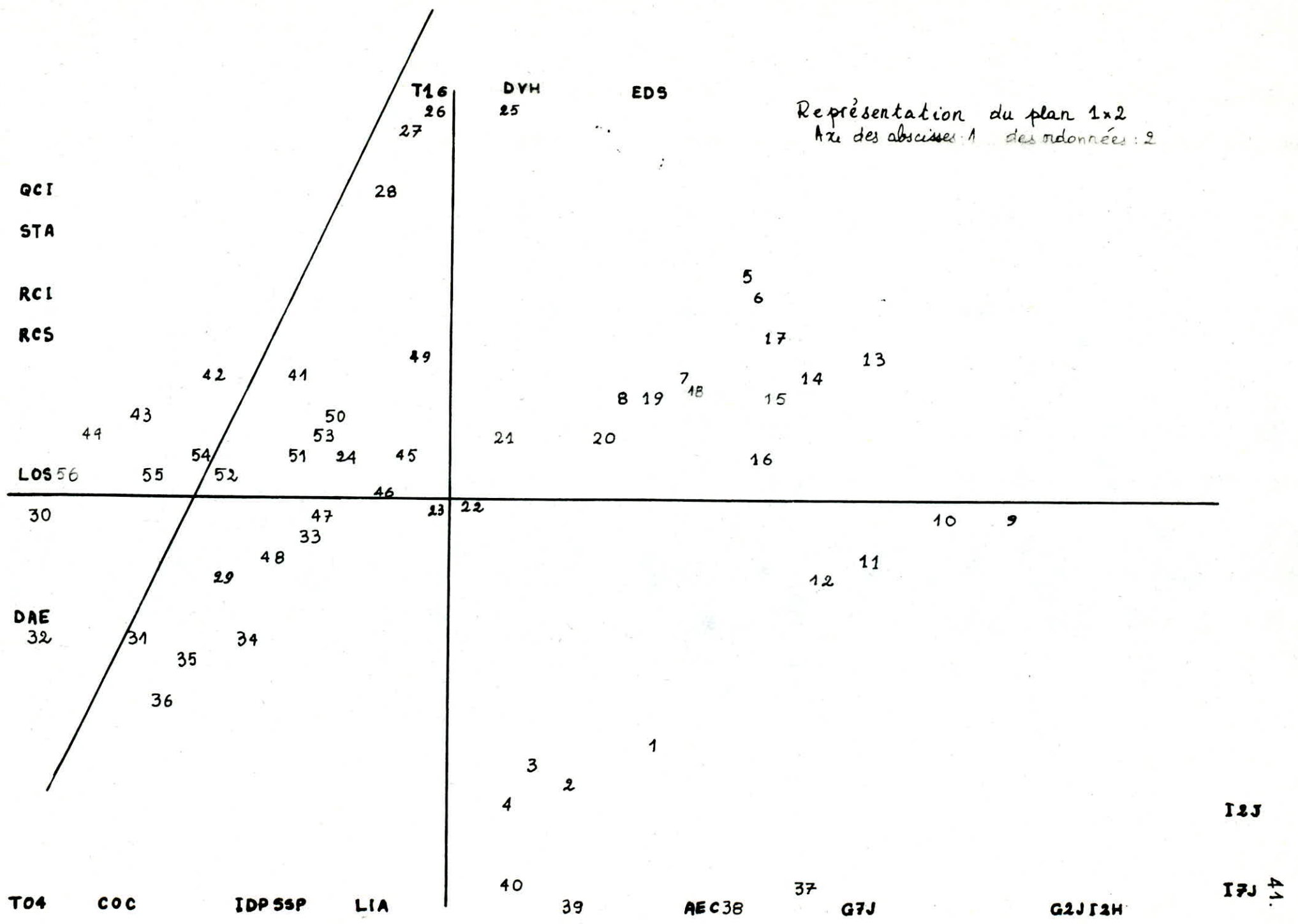
Plan 3x4 Aze 3 horizontale

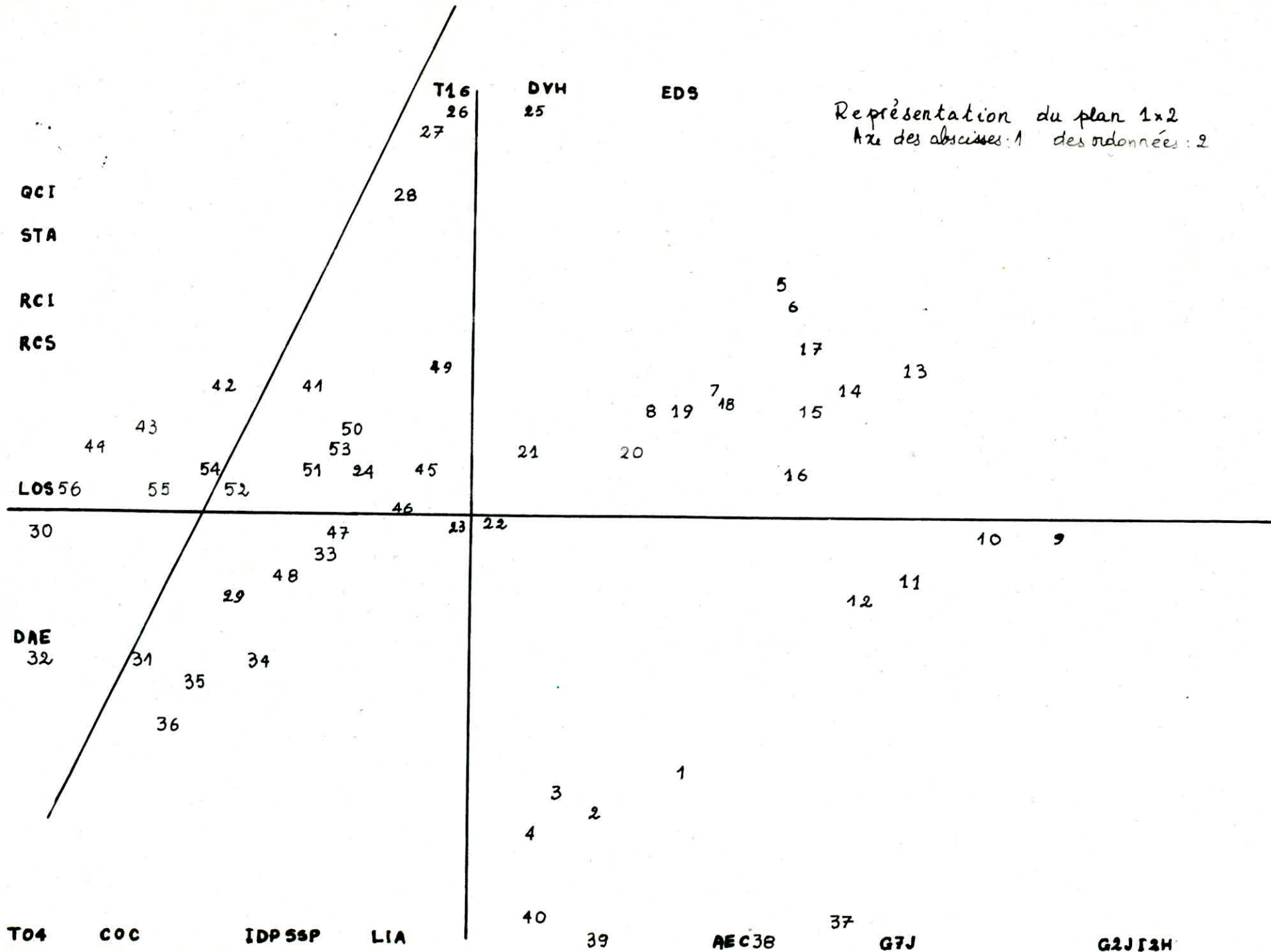


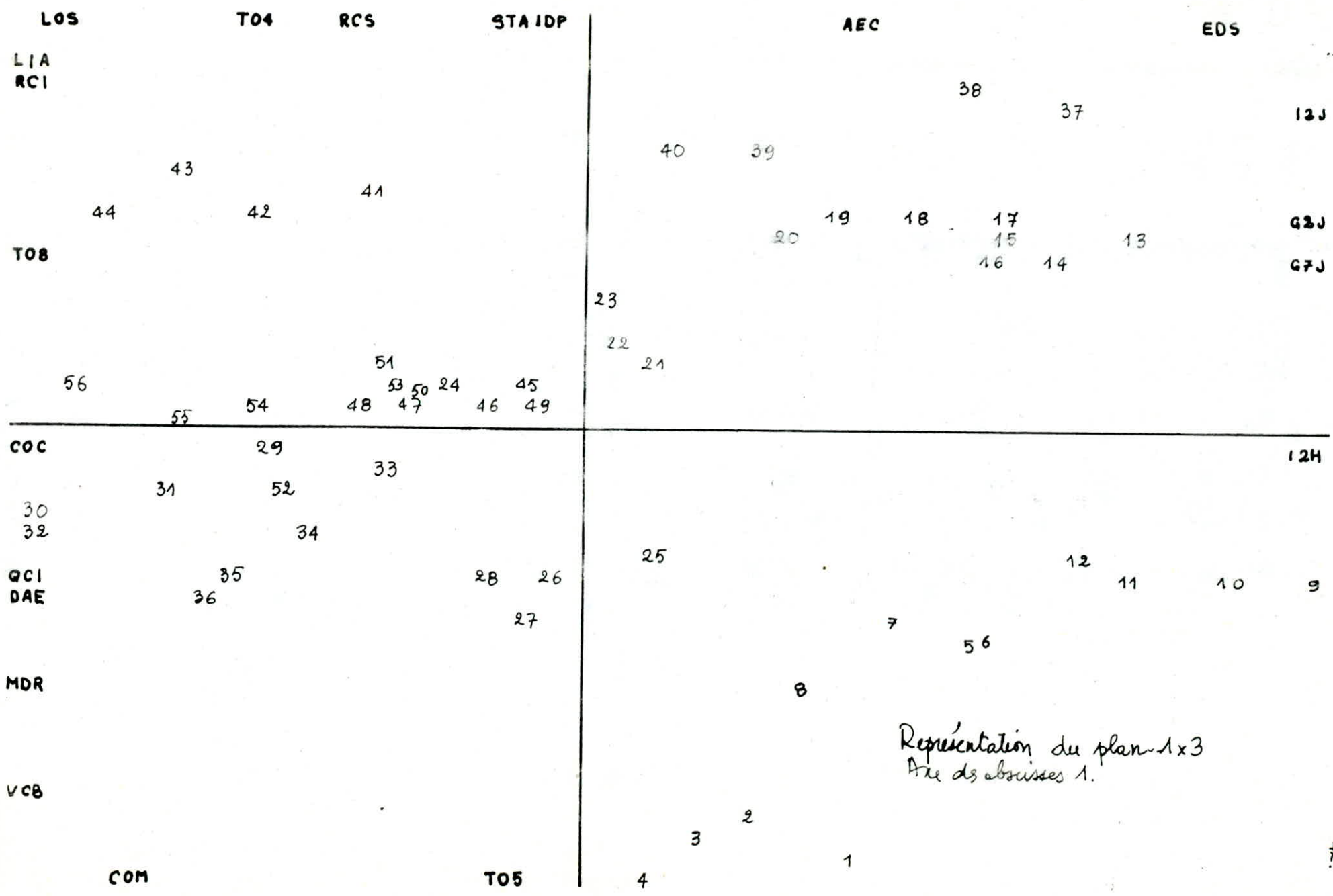
Plan 4x5 Axe 4 horizontale



Représentation du plan 1x2
 Axe des abscisses: 1 des ordonnées: 2

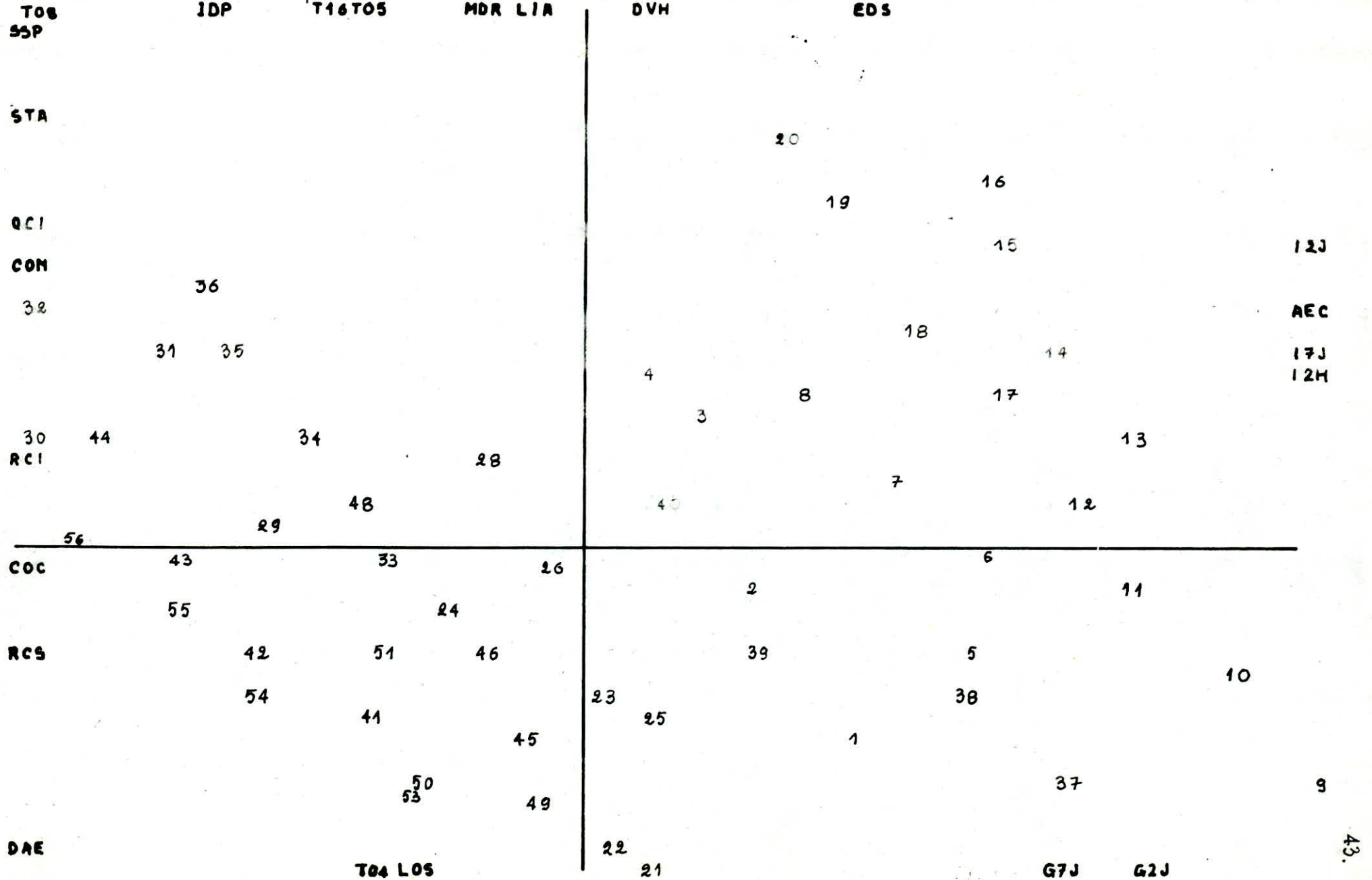




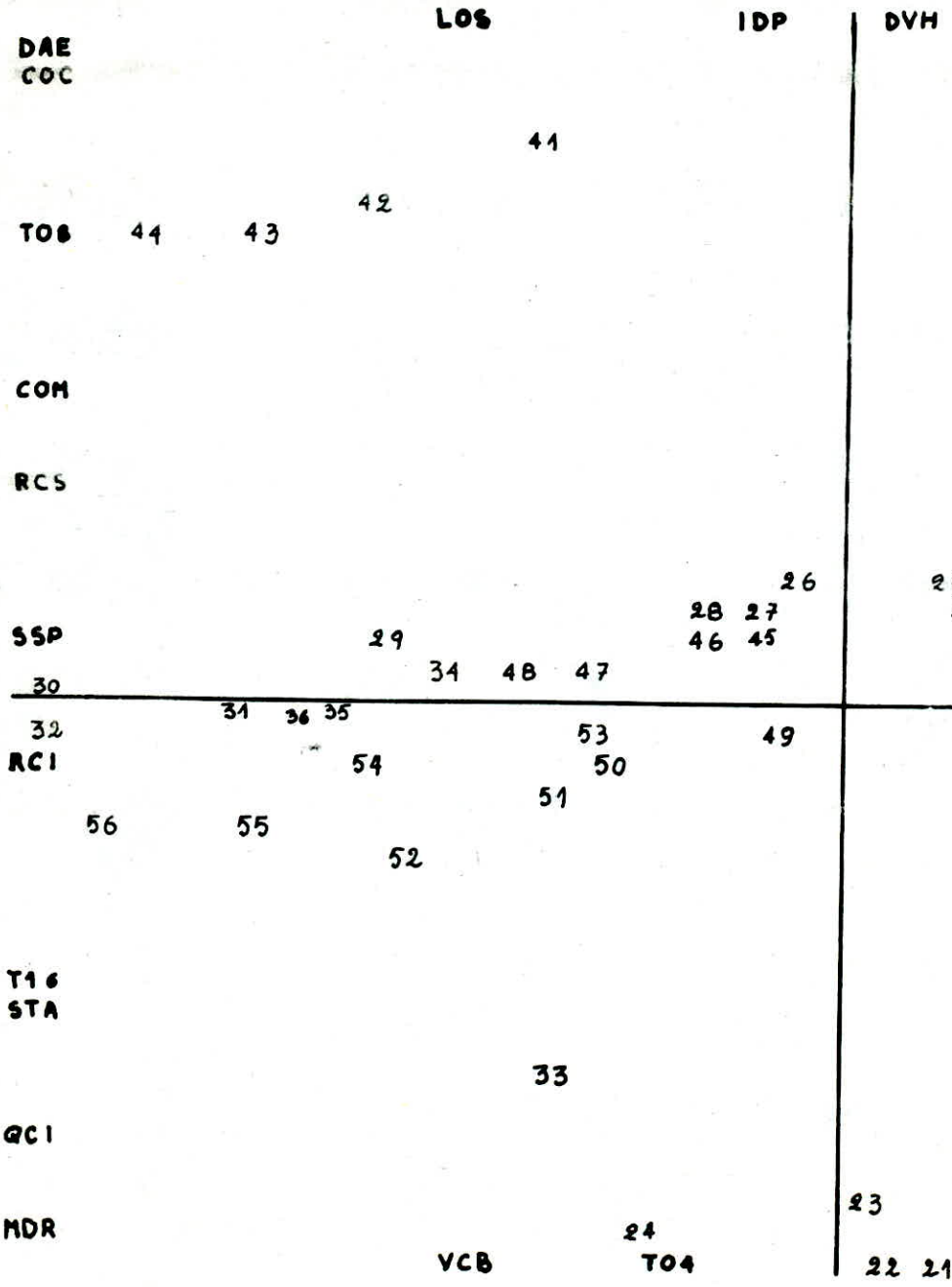


Représentation du plan 1x3
 Axe des abscisses 1.

Représentation du plan 1x4 Axe des abscisses: 1



43.

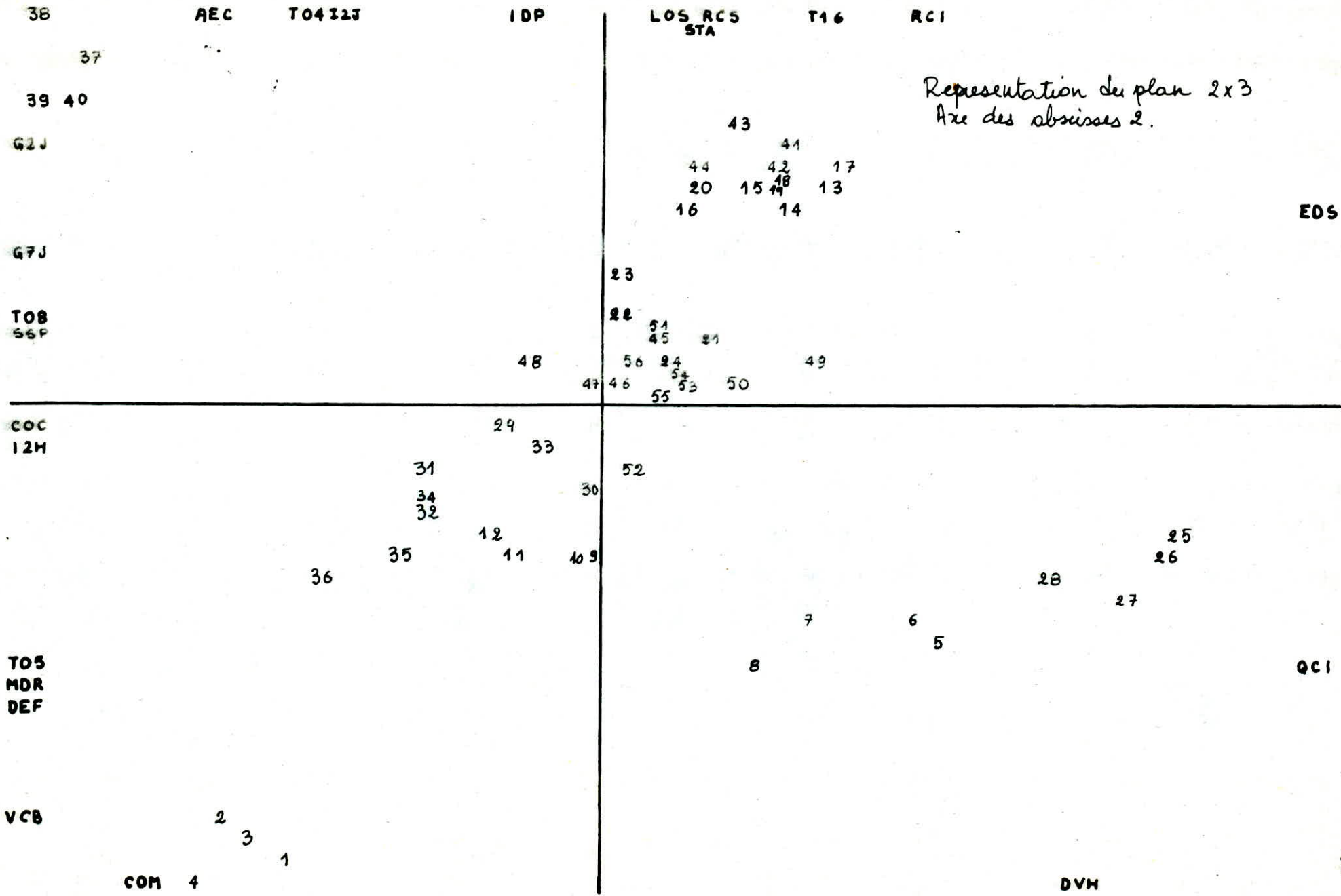


Representation du plan 1x5
 Axe des abscisses: 1

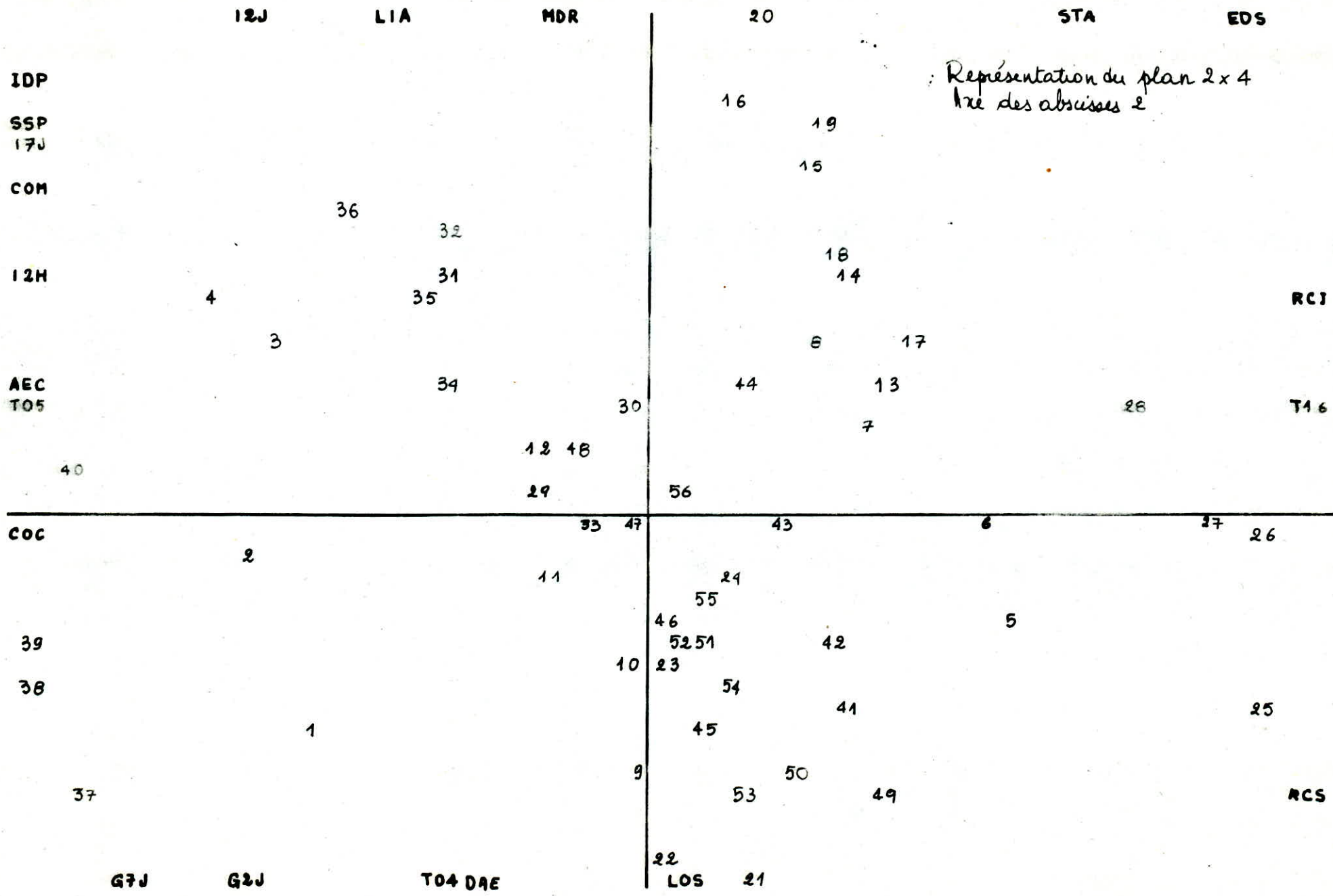
12H
 G2J

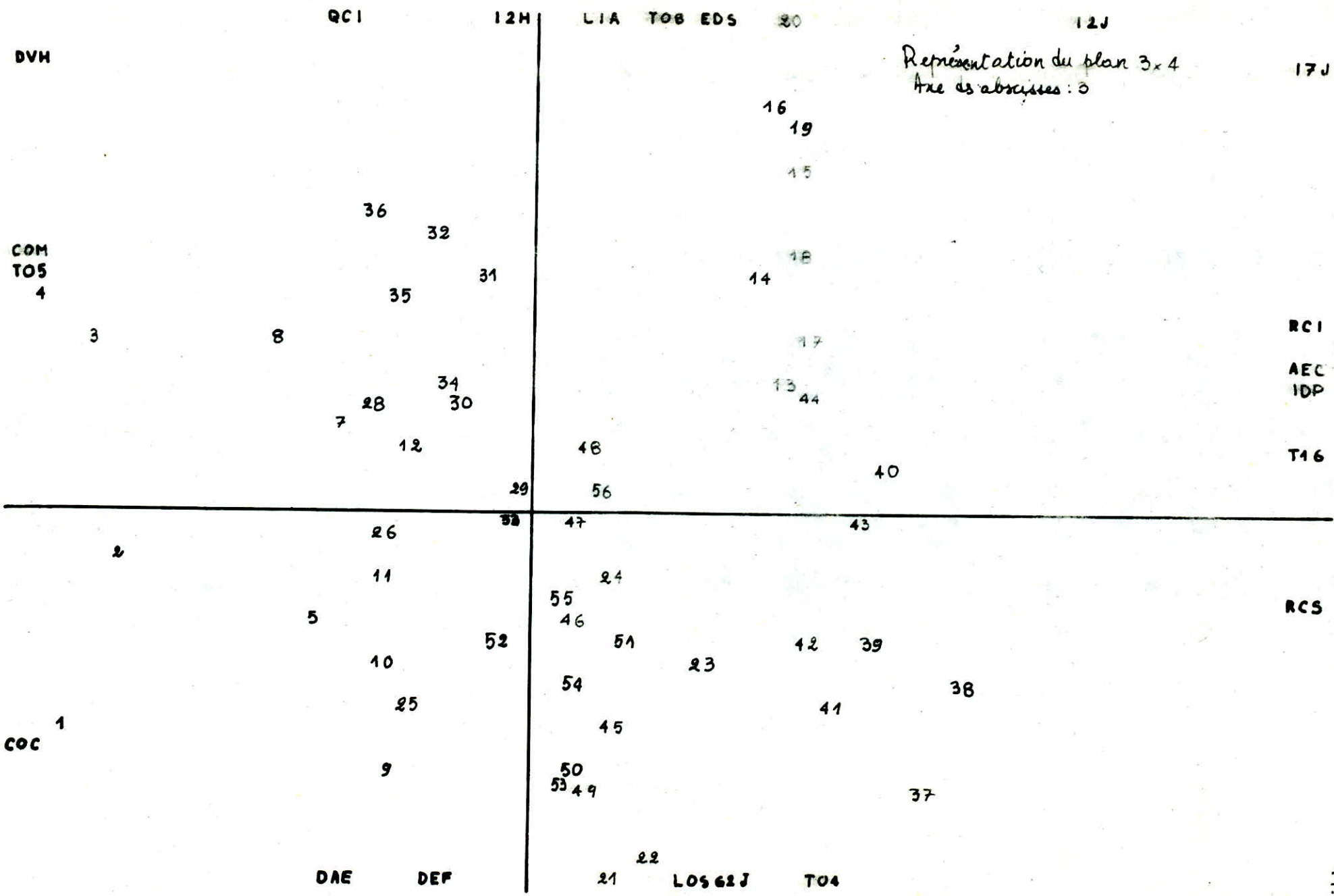
EDS
 9

AEC
 12J

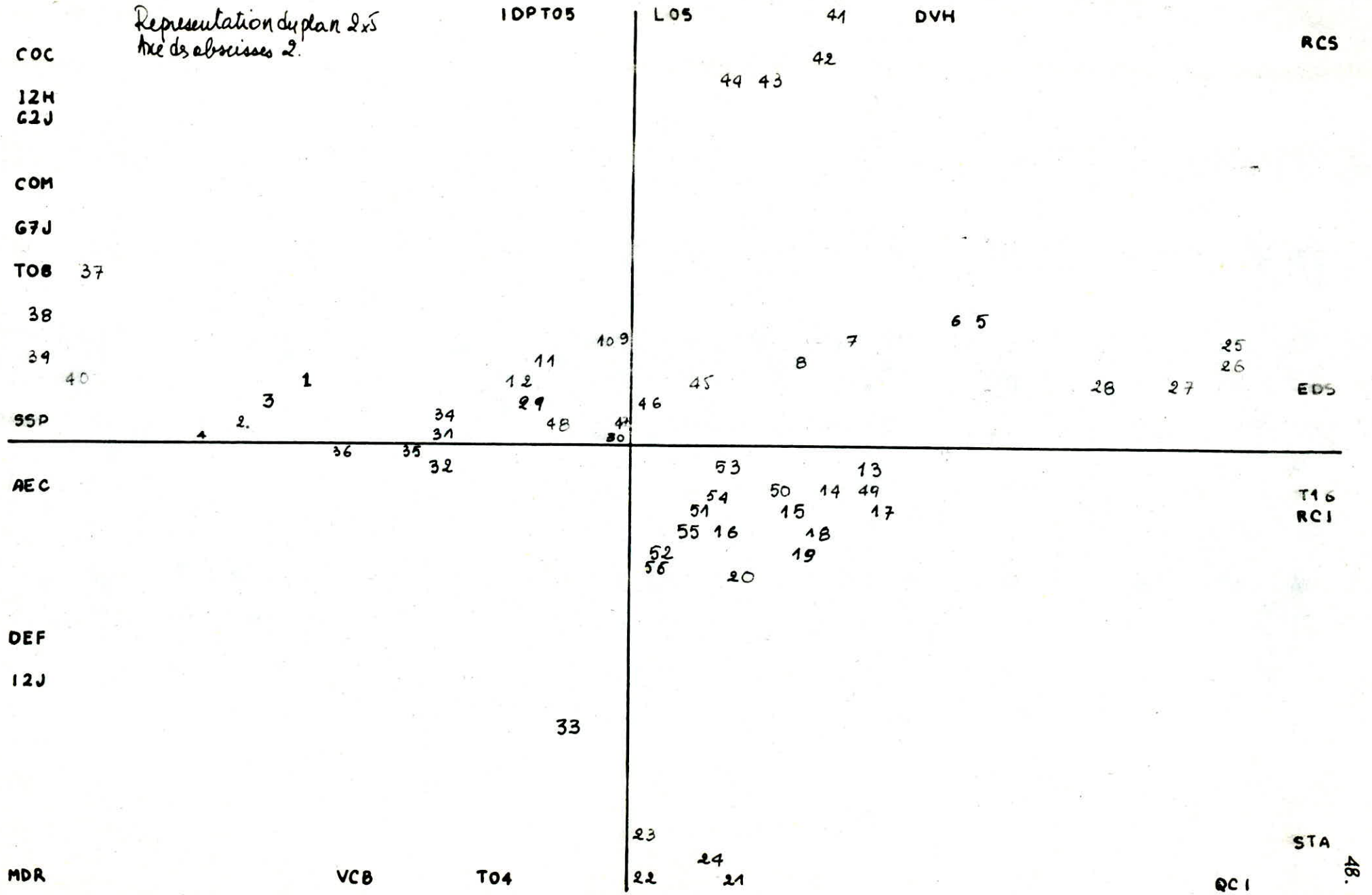


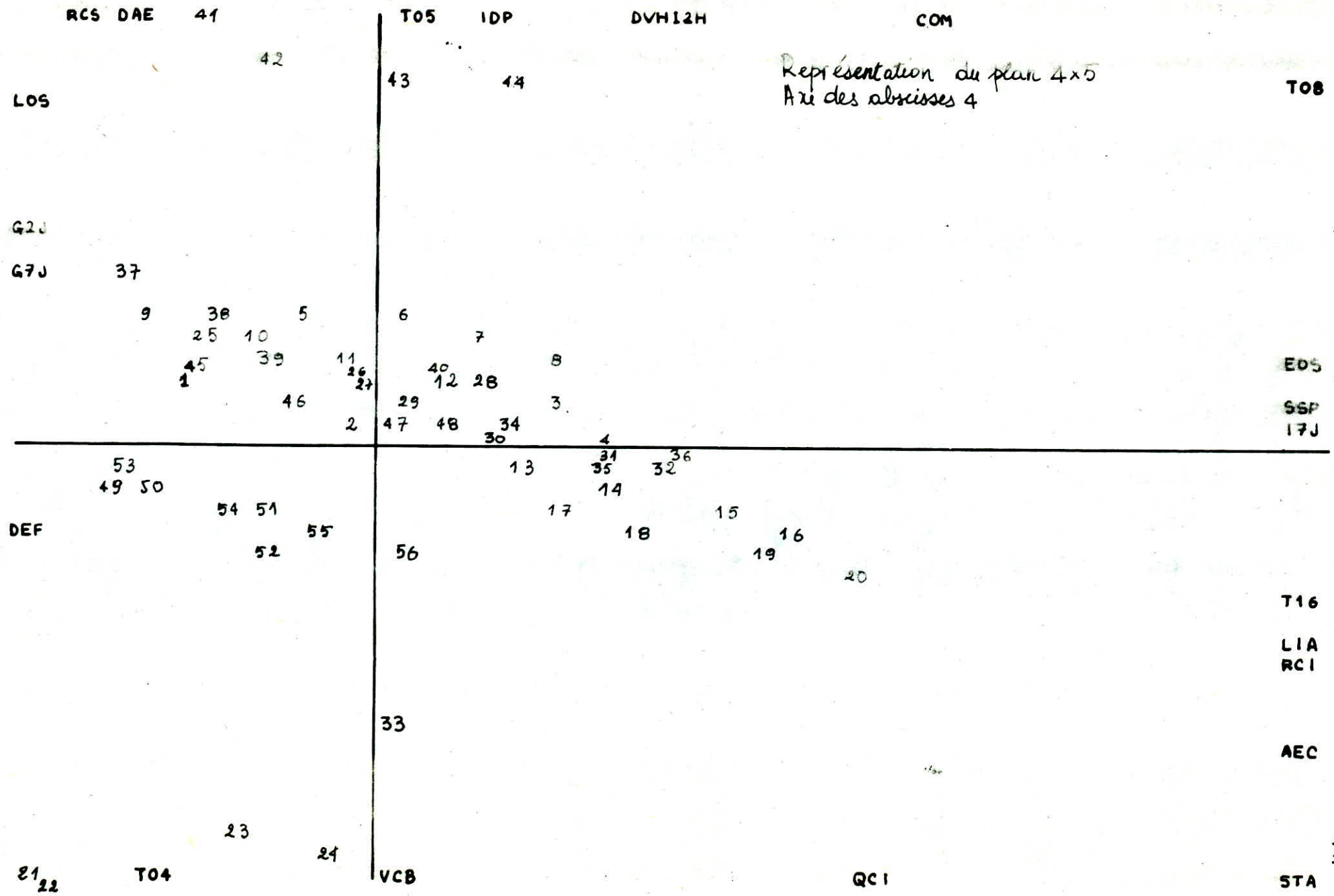
Representation du plan 2x3
Axe des abscisses 2.





Représentation du plan 2x5
axe des abscisses 2.





STA

RCI 12J

DEF

6SP
17J
T08 1 EDS RCS

12H

Representation du plan 5x6
Axe des abscisses 5

T04

33

19

54

14

50

4

3

41

42

IDP
DVH

17

2

53 43

18 49

54

14

50

3

41

42

15

29

20 55

30

34

5

52 56 51

45

5

6 37

31 46 25

43

47

35 39

21

22

32

48 27 38

44

36

9

26 10

7

23

40

28 8

11

T05

DAE
LOS

24

VCB

AEC
T16
MDR

11A

ACI

42

EDS

COM

CDC

50.

Constatations premières:

En examinant la matrice de corrélations on remarque les associations suivantes

* l'équivalent de sable ne semble être corrélié qu'avec la compacité Marshall ($r = -0.73$) et avec le vide comblé par le bitume ($r = -0.68$) ainsi qu'avec la compacité Duriez ($r = -0.61$) et la densité apparente ($r = -0.62$)

* l'indice de plasticité n'est corrélié avec aucune autre caractéristique

* Le Deval humide a une forte corrélation avec le tamisat passant au tamis 0.4 mm ($r = -0.71$) et partiellement avec l'équivalent de sable ($r = 0.52$)

* Le coefficient du Los Angeles est plus fortement corrélié avec la densité apparente ($r = 0.70$) qu'avec la résistance à la compression à sec ($r = 0.61$). Il est par contre partiellement corrélié avec le pourcentage d'imbibition à 2 jours ($r = -0.58$) et à 7 jours ($r = -0.51$) ainsi qu'avec la résistance à la compression immersion ($r = 0.52$) et la compacité Marshall ($r = 0.52$)

* Le tamisat passant par le tamis 16 mm n'est corrélié avec aucune autre caractéristique sauf avec la stabilité. Corrélation très partielle d'ailleurs ($r = 0.50$)

* Le tamisat passant par le tamis 5 mm n'est corrélié avec aucune autre corrélation.

* Le tamisat passant par le tamis 0.4 mm n'est corrélié avec aucune autre caractéristique

* Le tamisat passant par le tamis 0.08 mm a de forte corrélation avec la surface spécifique ($r = 0.99$), la compacité Marshall ($r = 0.80$), la compacité Duriez ($r = 0.58$) et une corrélation moindre avec la teneur en liant ($r = 0.52$)

* La densité apparente a de forte corrélation avec la compacité Marshall ($r = 0.82$), avec le pourcentage d'imbibition à 2 jours ($r = -0.79$), à 7 jours ($r = -0.77$), la compacité Duriez ($r = 0.77$) et plus ou moins avec la résistance à la compression immersion ($r = 0.61$) avec le pourcentage d'imbibition à 2 heures ($r = -0.54$), le rapport compression immersion ($r = 0.52$) et le vide comblé avec le bitume ($r = +0.53$) ainsi qu'avec l'équivalent de sable ($r = -0.62$) et le coefficient du Los Angeles ($r = 0.70$)

* La résistance à la compression à sec a de forte corrélation avec la résistance à la compression-immersion ($r = 0.86$), la stabilité Marshall ($r = 0.76$) et plus ou moins avec le gonflement à 2 jours ($r = -0.54$), à 7 jours ($r = -0.56$) ainsi qu'avec le coefficient Los Angeles ($r = 0.61$)

* La résistance à la compression-immersion a de fortes corrélations avec la résistance à la compression à sec ($r = 0.86$), le rapport compression-immersion ($r = 0.80$), avec le gonflement à 2 jours ($r = -0.73$) et 7 jours ($r = -0.73$), avec le pourcentage d'imbibition à 7 jours ($r = -0.69$), à 2 jours ($r = -0.65$) et à 2 heures ($r = -0.68$) et partiellement avec la stabilité ($r = 0.57$) et la densité ($r = 0.61$)

* L'affaissement de l'éprouvette à la compression est corrélé avec le gonflement à 2 jours ($r = 0.60$) ainsi qu'avec le gonflement à 7 jours ($r = 0.59$) et le pourcentage d'imbibition à 7 jours ($r = 0.51$)

* Le pourcentage d'imbibition à 2 heures a des corrélations très prononcées avec le pourcentage d'imbibition à 2 jours ($r = 0.88$) et à 7 jours ($r = 0.88$) ainsi qu'avec le rapport compression immersion ($r = -0.71$) et la résistance à la compression immersion ($r = -0.68$). Il est aussi bien corrélé avec le gonflement à 2 jours ($r = 0.63$), avec le gonflement à 7 jours ($r = 0.60$) et plus ou moins avec la densité apparente ($r = -0.54$)

* Le pourcentage d'imbibition à 2 jours a de très fortes corrélations avec le pourcentage d'imbibition à 7 jours ($r = 0.97$) et à 2 heures ($r = 0.88$), ainsi qu'avec la densité apparente ($r = -0.73$), avec la compression immersion (rapport) ($r = -0.69$). Il est aussi corrélé avec le gonflement à 2 jours ($r = 0.67$), avec la résistance à la compression immersion ($r = -0.65$) et avec le gonflement à 7 jours ($r = 0.60$). Il est partiellement corrélé avec le coefficient du Los Angeles ($r = -0.58$) et la compacité Duriez ($r = -0.50$)

* Le pourcentage d'imbibition à 7 jours est très bien corrélé avec le pourcentage d'imbibition à 2 jours ($r = 0.97$), à 2 heures ($r = 0.88$) ainsi qu'avec la densité apparente ($r = -0.77$) et le rapport compression immersion ($r = -0.76$), le gonflement à 2 jours ($r = 0.75$), à 7 jours ($r = 0.70$). Il est partiellement corrélé avec la résistance à la compression immersion ($r = -0.69$) ainsi qu'avec le coefficient du Los Angeles ($r = 0.52$), l'affaissement ($r = 0.51$) et avec la compacité Duriez ($r = -0.50$)

* Le gonflement à 7 jours a des corrélations avec le gonflement à 2 jours ($r = 0.97$), avec la résistance à la compression immersion ($r = -0.73$), avec le rapport compression-immersion ($r = -0.77$), avec le pourcentage d'imbibition à 7 jours ($r = 0.70$), le pourcentage d'imbibition à 2 jours ($r = 0.60$), avec le pourcentage d'imbibition à deux heures ($r = 0.60$). Il est partiellement corrélé avec la résistance à la compression à sec ($r = -0.56$) ainsi qu'avec l'affaissement de l'éprouvette ($r = 0.59$)

* Le gonflement à 2 jours a de fortes corrélations avec le gonflement à 7 jours ($r = 0.97$), avec le pourcentage d'imbibition à 7 jours ($r = 0.75$), avec la résistance à la compression-immersion ($r = -0.73$), avec le rapport compression-immersion ($r = -0.71$), avec le pourcentage d'imbibition à 2 jours ($r = 0.67$) et à 2 heures ($r = 0.65$). Il est partiellement corrélé avec l'affaissement de l'éprouvette ($r = 0.60$) ainsi qu'avec la résistance à la compression à sec ($r = -0.54$) et enfin avec la densité apparente ($r = -0.50$)

* Le rapport compression immersion a une forte corrélation avec la résistance à la compression immersion ($r = 0.80$), avec le pourcentage d'imbibition à 7 jours ($r = -0.76$), avec le pourcentage d'imbibition à 2 heures ($r = -0.71$), le gonflement à 2 jours ($r = -0.71$) ainsi qu'avec le gonflement à 7 jours ($r = -0.71$) et le pourcentage d'imbibition à 2 jours ($r = 0.60$). Il est partiellement corrélé avec la densité apparente de l'éprouvette ($r = 0.52$)

* Le module de richesse en liant n'est corrélé qu'avec la teneur en bitume ($r = 0.77$)

* La compacité Duriez est corrélée avec la densité apparente de l'éprouvette ($\rho = 0.77$), avec la compacité Marshall ($\rho = 0.87$), avec le pourcentage des vides comblés par le bitume ($\rho = 0.7$), avec le tamisat qui passe par le tamis 0.08 mm ($\rho = 0.58$), avec l'équivalent de sable ($\rho = -0.61$), avec la surface spécifique ($\rho = 0.58$). Elle est partiellement corrélée avec le pourcentage à 2 jours ($\rho = 0.50$) et avec le pourcentage d'imbibition à 7 jours ($\rho = -0.50$).

* Le pourcentage des vides comblés par le bitume est corrélé avec les compacités de Duriez ($\rho = 0.70$), de Marshall ($\rho = 0.60$), ainsi qu'avec l'équivalent de sable ($\rho = -0.68$). Il est partiellement corrélé avec la densité apparente de l'éprouvette ($\rho = 0.53$).

* La surface spécifique est très bien corrélée avec le tamisat passant par le tamis 0.08 mm ($\rho = 0.99$). Il est partiellement corrélé avec les compacités de Duriez ($\rho = 0.58$), de Marshall ($\rho = 0.58$) ainsi qu'avec la teneur en liant ($\rho = 0.54$).

* La teneur en liant est corrélée avec le module de richesse ($\rho = 0.77$). Elle est partiellement corrélée avec le tamisat passant par le tamis 0.08 mm ($\rho = 0.52$) ainsi qu'avec la surface spécifique ($\rho = 0.54$).

En examinant la matrice des données nous avons remarqué les faits suivants :

— L'équivalent de sable varie dans l'intervalle (6.71 ÷ 22.5) —	EDS
— L'indice de plasticité prend ses valeurs entre les valeurs 4 et 10.9 —	IDP
— Le Dens Humide est compris entre les valeurs 2.61 et 5.71 —	DVH
— Le Los Angeles est compris entre les valeurs 18.40 et 29.82 —	LOS
— Le tamisat 16 varie dans l'intervalle (90 ÷ 100) —	T16
— Le tamisat 5 varie dans l'intervalle (37.03 ÷ 55.92) —	T05
— Le tamisat 0.4 varie dans l'intervalle (10.95 ÷ 17.92) —	T04
— Le tamisat 0.08 varie dans l'intervalle (5.04 ÷ 8.61) —	T08
— La densité apparente est dans la fourchette (2.13 ÷ 2.37) —	DAE
— La Compression (Réinotana) à sec est dans la fourchette (41.67 ÷ 115.33) —	RCS
— La résistance à la compression immersion varie entre (18.33) et (94.33) —	RCI
— L'affaissement varie dans l'intervalle (0.83 ÷ 3.24) —	AEC
— Le pourcentage d'imbibition à 2h varie dans l'intervalle (0.89 ÷ 3.99) —	I2H
— Le pourcentage d'imbibition à 2j varie dans l'intervalle (1.50 ÷ 6.07) —	I2J
— Le pourcentage d'imbibition à 7j varie dans l'intervalle (1.70 ÷ 6.41) —	I7J
— Le gonflement volumétrique à 2j varie dans l'intervalle (0 ÷ 3.61) —	G2J
— Le gonflement volumétrique à 7j varie dans l'intervalle (0.45 ÷ 5.36) —	G7J
— Le rapport compression-immersion prend des valeurs entre 0.28 et 0.96 —	QCI
— La Compacité Duriez a ses valeurs comprises entre 89.93 et 97.11 —	COM
— Le pourcentage des vides comblés par le bitume reste dans l'intervalle (53.50 ÷ 87.5) —	VCB
— La surface spécifique varie les valeurs 7.66 et 13.11 —	SSP
— Le module de richesse prend les valeurs 3.45-3.60-3.75-3.90 uniquement —	MDR
— La Déformation a pour valeur 27 (min) et 55 (maximum) —	DEF
— La stabilité varie dans la plage (269 ÷ 1049) —	STA
— La compacité Marshall varie entre 90.68 et 98.33 —	COC
— La teneur en liant varie entre 5.34 et 6.63 —	LIA

Les normes de la SETRA étant ce qui suit :

- * Pour le Los Angeles : il faut qu'il soit $\leq 20\%$
- * Pour le Deval humide : il faut qu'il soit $\geq 3.5\%$
- * Pour l'indice de plasticité : il faut qu'il soit non mesurable c'est à dire < 6
- * Pour l'équivalent de sables
 - ES $> 45\%$ si la teneur en fines $< 12\%$
 - ES $> 40\%$ si la teneur en fines comprise entre 12 et 15%
 - ES $> 35\%$ si la teneur en fines $> 15\%$
- * Pour la compacité : il faut que $91\% < C < 95\%$
- * Pour la résistance à la compression il faut que $R > 70 \text{ Kg}$
- * Pour le rapport compression immersion : $R'/R > 0.75$
- * Pour la compacité Marshall il faut qu'elle soit $\leq 96\%$

On a relevé les irrégularités suivantes :

Concernant l'ES (EDS) : les échantillons de 1 à 4, de 21 à 24, de 29 à 40 ne respectent les normes. Soit 20 échantillons sur 56.

Concernant l'indice de plasticité (IDP) : les échantillons 13 à 20, de 29 à 44 ne satisfont pas les normes SETRA. Soit 24 échantillons sur 56.

Concernant le Deval humide (DVH) : les échantillons de 21 à 24 et de 37 à 40 ne satisfont pas les normes prescrites par la SETRA. Soit 8 échantillons sur 56.

Concernant le Los Angeles (LOS) : les échantillons de 1 à 12 et de 21 à 56 sont incapables de satisfaire aux règles SETRA. Néanmoins tous ces coefficients sont inférieurs à 30. Ce qui est très important. En effet le Los Angeles est inférieur à 20 pour les très bonnes pierres et inférieur à 30 pour les bonnes pierres. Donc 08 échantillons ont des granulats très durs, les 48 restants ont des granulats durs (de bons granulats comme même).

Concernant la résistance à la compression à sec R (RCS) les échantillons de 1 à 15, de 24 à 28, de 35 à 38, les échantillons 21 et 40 ne satisfont pas les normes SETRA. Soit 25 échantillons sur 56. D'ailleurs beaucoup seront rejetés par le LTPB même.

Concernant le rapport compression-immersion : les échantillons de 1 à 23, de 37 à 42, de 45 à 53 ne sont pas compatibles avec les règles et directives SETRA. Soit 39 échantillons sur 56.

Concernant la compacité Duriez les échantillons de 29 à 36, les échantillons 4, 13, 18, 47 sont tous incompatibles avec les normes SETRA. Soit 12 échantillons sur 56. Néanmoins certains restent valables parcequ'ils sont très approchant.

Concernant la compacité Marshall les échantillons de 30 à 36, de 38 à 40, de 47 à 49 et les échantillons 43 et 44 sont incompatibles avec les Normes SETRA (leurs compacités est $> 96\%$)

En outre selon la recommandation de la CORPS OF ENGINEERS la stabilité - Marshall exprimée en Kg à 60°C doit être :

$\geq 830 \text{ Kg}$ pour les pistes d'atterrissage destinées à recevoir des avions munis de pneumatiques gonflés à 11 Kg/cm^2

et $\geq 230 \text{ Kg}$ pour le cas de pneumatiques gonflés à 7 Kg/cm^2

On remarque que les échantillons de 21 à 27 et l'échantillon 37 ne remplissent pas ces conditions. On fait noter que les échantillons, comme la plus part du reste, sont des formulations d'eurobés destinés pour la construction de piste d'aérodrome.

Interprétation des résultats ; On interprète les résultats obtenus comme suit :

- Si deux points-variables sont voisins l'un de l'autre, cela signifie que ces deux variables sont corrélées, et cela d'autant plus que les points sont éloignés de l'origine (en effet, le fait que deux variables n'interviennent ni l'un ni l'autre sur les axes n'est pas un signe de corrélation). Dans ce cas on peut affirmer en outre que les deux variables varient dans le même sens.

- Si deux points-variables sont symétriques par rapport à l'origine, les deux variables correspondantes sont corrélées mais varient cette fois en sens inverse.

- L'abscisse d'un point-variable sur un des nouveaux axes n'est autre que le coefficient de corrélation de cette variable avec la nouvelle variable correspondante. Ainsi les points situés au centre du graphique, c'est à dire près de l'origine, représentent des variables non corrélées aux deux nouvelles variables utilisées.

- Si deux points échantillon sont voisins, cela signifie qu'ils ont même comportement vis à vis de la totalité des variables introduites dans l'étude.

- Si un point variables est voisin d'un point échantillon cela signifie qu'en moyenne cette variable a une valeur élevée pour l'échantillon considéré. Toutefois, il conviendra d'être prudent dans cette interprétation puisque la coordonnée d'un point-échantillon dépend de plusieurs paramètres (variables) simultanément.

On fait observer que les 56 échantillons sont divisés en 14 mélanges différents. A chaque mélange on fait correspondre 04 formulations A, B, C, D qui ont le même mélange granulométrique mais différent par la teneur en bitume. La formulation D a une teneur en bitume plus grande que C. Celle-ci a à son tour une plus grande teneur en bitume que B et ainsi de suite.

Les cercles de corrélation des nouvelles variables avec les anciennes on observe les faits :

L'axe I est caractérisé par les variables suivantes : I7J, DAE, I2J, I2H, G2J, QCI, RCI, COC, COM, RCS, VCB et G7J. Ces quatre dernières sont partiellement prises en compte. L'axe I oppose les variables DAE, RCI, QCI, COM, RCS, VCB et COC aux variables I2H, I2J, I7J, G2J, G7J.

On peut affirmer en vertu de ces remarques que le facteur eau est omniprésent dans l'axe I : il explique donc cette caractéristique essentielle la perméabilité. Plus un échantillon est perméable moins il est bon. Et plus un échantillon est imperméable et plus il est bon, de plus il est plus résistant, aussi bien après immersion qu'à sec. Il garantit aussi une bonne compacité ; ce qui est tout à fait logique. En effet la compacité augmente l'imperméabilité du mélange, d'où le signe moins (pour la compacité dans l'axe I). Il est aussi naturel que la résistance à la compression après immersion s'oppose au pourcentage d'imbibition. En effet plus le pourcentage est grand, plus il est donc perméable, moins il offre une résistance acceptable (pour le mélange bien sûr). Cet axe donc, qui explique à lui seul 32,15% de l'information total, représente donc la perméabilité.

L'axe II quand à lui est caractérisé par les variables suivantes: EDS, SSP, TOB et particulièrement par les variables COC, LIA, DVH, G7J, COM, AEC.

Il oppose les variables TOB, SSP, AEC, G7J, COM, COC, LIA aux variables EDS et DVH. Dans le cercle de corrélation on voit que TOB, COM et VCB sont voisins donc corrélés pratiquement. Ce qui est tout à fait logique. En effet les fines ont un rôle considérable dans l'obtention d'une bonne compacité. Plus il y a de fines et plus le mélange est compacte, car ces fines, de par leurs petites dimensions se frayent un chemin pour venir s'insérer dans les interstices, donc combler les vides. Ce qui donne donc une bonne compacité.

Le vide qu'il ne faut pas essayer de combler au maximum possible. On laisse une marge pour le vide qui joue un rôle dans la rupture. En effet le vide arrête la propagation de la fissure. Les vides amortissent donc les déformations. L'éprouvette passe la fissuration par le phénomène d'élasticité. On remarque aussi que EDS et TOB varie en sens inverse, ce qui est normal. En des inconvénients des produits, non dépoussiérés est le suivant: ils contiennent une proportion exagérée de fines (grains $< 0,1\text{mm}$ donc 0.08). Ces fines, qui peuvent être aiguës, sont sensibles à l'eau, ce qui a pour effet de diminuer la résistance. Les essais d'immersion compression confirment cela. Avoir un grand EDS équivaut à dire qu'il y a moins de fines de fines donc.

Enfin TOB et SSP sont aussi voisins donc corrélés, ceci est d'autant plus vrai qu'il y a une relation directe permettant de calculer SSP en fonction de TOB. En effet on donne la relation: $\Sigma = 0.2G + 2S + 14A + 140f$
 Σ : SSP et $f = \text{TOB}$

Par contre on ne voit pas comment le Dens Humide et l'équivalent de sable peuvent être corrélés. C'est peut-être un résultat aberrant. Cet axe explique le rôle des fines dans l'équivalent de sable. Il donne donc une idée sur la propriété ou la tolérance en impuretés.

L'axe III est caractérisé par les variables suivantes: STA, IDP, RCS, TAG, DVH, COM, AEC. Il oppose les variables DVH et COM aux variables STA, IDP, RCS, TAG, AEC.

En effet les granulats (TAG) confèrent au mélange son élasticité et sa résistance. La stabilité et la résistance à la compression expliquent quant à elles la capacité de résistance du mélange.

Donc l'axe III explique la résistance à la rupture du mélange. Plus un échantillon est plus résistant, donc bien situé dans cet axe, plus il est bon.

L'axe IV est, lui, caractérisé par les variables suivantes: LIA, MDR, LOS, DEF, EDS, DVH, TO4 et TOB. Il oppose les variables LOS, TO4, DEF aux variables LIA, MDR, TOB, EDS.

Cet axe prend en compte, en grande partie, la teneur en liant. Il peut donc expliquer l'enrobage, ou la qualité de l'enrobage c'est à dire l'adhérence. L'adhérence du bitume aux éléments inertes joue un rôle capital, surtout sur la résistance à la traction et la fragilité du béton.

Dans cet axe la teneur en bitume et le coefficient de Los Angeles (Dureté donc) ainsi que la déformation varient en sens inverse. Ce qui est des plus normal. Supposons en effet que, sous effet quelconque, une fissuration (Déformation) se développe dans la masse du béton. Lorsque cette fissure rencontre un élément d'agrégat, si l'adhérence agrégats-bitume est bonne, l'agrégat arrête la fissuration; sinon il se décolle, et tout se passe du point de vue de la propagation de la fissure comme s'il n'existait pas.

Quant à la dureté et la teneur en liant on l'explique de la façon suivante: Certains matériaux de concassage sont d'une très grande dureté, mais possèdent des surfaces de cassures très lisses à structure granulaire extrêmement fine. D'après ce qui précède, les enrobés obtenus à partir de tels granulats seront fragiles. Cela montre en particulier que la dureté des granulats n'entraîne pas obligatoirement des bétons bitumineux d'excellente qualité:

Donc l'axe V explique l'adhérence, c'est à dire qualité de l'enrobage. L'axe V est caractérisé par les variables $T05, T04, DVH, LOS, IDP, VCB, DAE$. Il oppose les variables $T04, VCB$ aux variables $IDP, DVH, LOS, T05, DAE$.

L'axe VI est caractérisé par les variables $T16, MDR, SSP, T08, AEC, G2J, VCB$. Il oppose $T08, SSP$ aux variables $T16, AEC, G2J, VCB, NDR$.

Il est question dans ces deux axes de granulométrie puisque les cinq variables de granulométrie sont présentes dans ces deux axes. De plus dans l'axe V les variables DVH et LOS y sont prépondérantes il explique donc une qualité intrinsèque aux granulats: leur solidité.

Interprétation sur les échantillons.

Les échantillons se regroupent naturellement par groupe de quatre (04) échantillons. Ce qui est logique si on sait que les 04 échantillons d'un même groupe donné sont des formulations d'un même mélange qui ne diffèrent que par la teneur en liant.

Nous recherchons dans cette interprétation les meilleurs bétons bitumineux que permet de tirer cette présente analyse. Pour cela on suit la politique suivante:

Dans un même groupe nous rejetons d'emblée les échantillons qui sont trop perméables à l'eau. Si tous les échantillons de ce même groupe sont tous très perméables nous rejetons le groupe, donc tous ceux situés à l'extrémité positive de l'axe I.

Dans un même groupe nous rejetons les échantillons qui manifestent une résistance à la compression immersion médiocre, donc tous ceux situés au troisième quart du plan I-II.

Dans un même groupe nous déclarons mauvais l'échantillon qui a un rapport de la compression immersion très petit, donc tous ceux qui seront trop distant de cette variable dans tous les plans.

On voit que dans cette démarche le facteur eau est omniprésent. C'était par souci de ne retenir que les bétons les moins dégradables, et l'eau est l'agent qui prime dans la dégradation des chaussées.

En su de ces trois exigences et du fait que la majorité des échantillons sont destinés pour la construction de piste d'atterrissage nous rejetons les échantillons qui sont trop distants de la variable stabilité.

C'est ainsi que le groupe (1-4), c'est à dire composé des échantillons 1, 2, 3 et 4, est bien regroupés dans le plan I-II. Le groupe est très perméable, il offre une résistance médiocre, contient beaucoup de fines (ce qui est vrai en effet puisque elle est de l'ordre de 26.50% pour un ES = 25.52% \ll 35%). Le groupe est à rejeter entièrement, car dans l'axe III déjà il est très mal représenté donc il offre la résistance la plus médiocre. Ce que les résultats techniques confirment d'ailleurs puisque $42 < R < 45$, valeurs très faibles vis à vis des normes SETEA qui exigent une $R > 70$ kg. Nous faisons remarque que dans ce groupe l'échantillon 1 est plus perméable, le 4 l'est moins.

Le groupe (5-8) présente la même chose. Cependant et à la différence du précédent ce groupe a un bon ES donc une bonne propriété (il est bien situé dans l'axe II). Comparativement au groupe 1-4 il présente une qualité d'enrobage médiocre. Nous rejetons ce groupe en entier pour les mêmes raisons que le groupe précédent.

Le groupe 9-12 est aussi mal situé dans l'axe I. Les échantillons sont donc perméables. Ils sont même les plus perméables à l'eau. De plus ils offrent une résistance très médiocre (très mal situés dans le plan I-III). Ils sont très mal situés aussi dans le plan I-II, donc la qualité d'enrobage laisse à désirer. Nous rejetons, pour toutes ces raisons, tous les échantillons de ce groupe.

Ces trois groupes sont issus d'un même dossier, et quoique le groupe 1-4 ait une bonne compacité vis à vis des normes SETRA ces trois groupes sont à rejeter car ils opposent une résistance à la compression très médiocre et sont très perméables. Cette perméabilité - qui on craint le plus pour son rôle néfaste sur une chaussée.

Les groupes 13-16 et 17-20 sont très bien regroupés dans le plan I-II. Ils sont très voisins avec le groupe 5-8, ils ont donc beaucoup d'affinité avec ce groupe. En effet ils sont très perméables aussi perméables que le groupe 5-8. Le groupe 17-20 offre une assez bonne résistance que le groupe 13-16 (mal situé dans l'axe III); ce qui, par ailleurs, est vrai puisque dans le groupe 17-20 on a $76 < R < 80.15$ et dans le groupe 13-16 on a $74 < R < 78.6$ valeurs compatibles avec les normes, mais ont des résistances à la compression immersion médiocres. Ces deux groupes sont bien situés dans l'axe V donc les granulats sont de très bonnes pierres du point de vue dureté (le coefficient du Los Angeles est en effet < 20 : $LOS = 18.40$)

Dans le plan II-III et I-IV on retient qu'ils sont proches de la variable EDS, donc ils ont une bonne propriété des sables, et proches de la variable Affaissement; ils ont donc un affaissement important (qui dépasse la moyenne sauf pour 13 et 14)

Nous rejetons donc ces deux groupes pour ces contreperformances (leur grande perméabilité à sa raison de nosse). Les deux groupes font partie aussi d'un même dossier.

Le groupe 21-24: Ces échantillons se regroupent naturellement dans tous les plans. Dans le plan I-II sont très mal représentés, ils sont près de l'origine ils ont donc de mauvaises valeurs dans les variables prises en compte par les axes I et II. Ils sont donc plus ou moins perméables, ont un degré de propreté médiocre (ce qui se confirme si on fait observer que l'essai d'équilibre de sable a donné une valeur de $ES = 25.52\%$) Dans le plan I-III ils sont aussi mal représentés ils sont donc moyennement moins résistants quoique 22 et 23 ont une résistance compatible avec la norme.

Sous leurs contreperformances proviennent en fait de deux irrégularités:

1° le rapport compression immersion est faible devant la norme qui exige un rapport 0.75 au minimum.

2° l'équilibre est très faible ($26.95\% \ll 35\%$) donc il y a beaucoup de fines et moins de granulats de gros calibre qui confère au mélange sa résistance

De plus les granulats les constituants sont fragiles comme il est montré dans l'axe V. Quant à la qualité de l'enrobage elle est aussi médiocre comme on peut le constater dans le plan III-IV

Ce groupe est constitué d'une granulométrie semi-greue qui contient beaucoup d'élément 0.4mm et moins de fines.

Ces échantillons étant destinés pour la construction de piste d'aérodrome nous constatons qu'ils ont une stabilité très insuffisante.

En résumé, ce groupe est perméable à l'eau, offre une résistance moyenne qui reste cependant médiocre et une stabilité insuffisante. Ces échantillons sont donc à rejeter.

Le groupe 25-28 : Les échantillons de ce groupe sont moins perméables à l'eau que ceux du groupe précédent; ils sont mieux situés dans le plan I-II. Ils contiennent beaucoup d'éléments de gros calibre. Ils émanent d'un mélange grenus. Ils sont cependant loin d'avoir une bonne résistance comme le montre le plan I-III; ils sont très près de l'origine. Ce groupe offre donc une stabilité non reconfortante pour des échantillons destinés aux pistes d'atterrissage. Les échantillons de ce groupe ne garantissent pas donc une sécurité suffisante. On s'en rend compte d'ailleurs facilement si on voit les résultats de l'essai Marshall. En effet la stabilité-Marshall est en deça du minimum exigé par la recommandation de la Corps Of Engineers (830 Kg). De plus ils sont très mal situés dans le plan I-V, tout près de l'origine ils sont donc fragiles (densité des granulats). Toutes ces raisons disqualifient ce groupe.

Le groupe 29-32 : Issus d'un mélange semi-grenus, ces échantillons offrent une imperméabilité parfaite avec option spéciale pour le 30 le 31 et le 32. Dans le plan I-IV ils sont très bien situés; le 30 y est proche de RCI ce qui permet de dire qu'il prend une grande résistance à la compression immersion. Il a eu en effet une très bonne valeur; c'est peut-être dû à son imperméabilité. Le 32 a manifestement une très grande capacité; ce qui est vrai. Et même une très bonne résistance.

Dans le plan I-III les échantillons 30 et 32 se regroupent mieux et forment compagnie aux autres. Il y sont très proches de la variable RCI. Les résultats confirment en effet qu'ils ont un bon rapport compression immersion. On peut même dire que c'est un rapport idéal pour le 30 (0.96): ça veut dire que chute de résistance après immersion est très faible.

Ils sont cependant loin d'avoir un équivalent de sable convenable. Du fait qu'ils ne sont pas destinés aux pistes nous retenons les deux échantillons 30 et 32 en particulier et l'échantillon 31. nous rejetons l'échantillon 29.

Le groupe 33-36 : Dans le plan I-II le groupe présente une bonne imperméabilité: il est bien représenté dans l'axe I. Dans ce plan l'échantillon 33 échappe un peu au regroupement. Le plan I-III montre quant à lui que 35 et 36 ont une plus grande rapport compression immersion dans ce groupe (ils sont proches de RCI), ils ont aussi une plus grande densité apparente (proches de DAE).

Dans le plan I-IV on constate comme toujours que les échantillons 36 et 35, c'est à dire ceux qui ont une teneur en bitume la plus grande, sont les mieux représentés. Ils sont les moins perméables dans le groupe.

Le groupe a un bon enrobage, c'est dû peut-être à l'utilisation d'un liant moins dur (80/100) qui est plus maniable. Sous l'action des frottements le liant occupe les interstices, donc les vides et entoure ainsi mieux les grains. C'est pour cela d'ailleurs que ce groupe a une bonne résistance immersion et un très bon rapport compression immersion mais une mauvaise résistance à la compression à sec.

On a remarqué que dans presque tous les plans l'échantillon 33 échappe

totalément au groupe et fait cavalier seul. Vous nous amenez demandé le pourquoi de cet état de fait. Un contrôle rigoureux et minutieux des données de l'échantillon 33, en comparaison avec celles du reste du groupe fit sortir clairement une anomalie dans une donnée. Il s'agit d'une erreur qui s'est glissée dans les données. En effet la variable T05 devait avoir comme valeur 51.77. Dans le tableau des données il y avait 5.77: la différence est de taille et explique l'écart de l'échantillon 33 on le voit nettement d'ailleurs dans le plan II-IV. Ces échantillons destinés à la construction de routes restent valables quoique leur résistance est un peu médiocre. Nous ne les retenons cependant pas dans notre analyse.

Le groupe 37-40: les échantillons ressemblent dans leur comportement global à ceux du groupe 1-4, ils sont en effet très proches les uns aux autres dans le plan I-II. Ils sont donc très perméables. De plus ils diffèrent des échantillons du groupe 5-8 par leur équivalent de sable très petit (on le vérifie aisément dans la matrice des données)

Ils sont cependant plus résistants que ceux du groupe 1-4 ou ceux du groupe 5-8, comme le montre le plan II-III (ce que confirme les essais)

Le plan I-V montre que l'échantillon 40 est le point perméable du groupe et le mieux enduré, ce qui est normal: il contient beaucoup plus de bitume que les autres (dans ce même groupe bien sûr)

Dans le plan II-IV ils sont regroupés nettement et l'échantillon 40 présente la plus grande compacité (proximité de COC). L'échantillon 37 a la plus petite compacité (ce qui est confirmé par les résultats de l'essai Duriez)

Dans le plan III-IV les échantillons sont loin d'avoir un rapport compression immersion assez bon.

Ils ont en outre un affaïssement très important comme le montre le plan I-II

Nous rejetons ce groupe pour les routes performances comme le groupe 1-4

Le groupe 41-44: Les échantillons 43 et 44 sont sans doute les mieux représentés dans presque tous les plans et dans tous les axes. C'est ainsi que le plan I-II nous renseigne que c'est un groupe très imperméable (surtout 43 et 44). Ils ont une très bonne résistance à sec et après immersion (proximité de RCS et de RCI)

Dans l'axe II ils sont mal représentés cela est dû en grande partie à un équivalent de sable peu faible ($37.59 < 40$). Par contre dans le plan I-III ils sont très bien représentés dans I et dans l'axe III. Ce dernier confirme s'il en a besoin qu'ils ont une bonne résistance à l'immersion et une bonne résistance à la compression à sec. Ils présentent une stabilité qui, sans être manifestement la plus grande, n'en est pas moins très confortable (Axe III qui dépend un peu en grande partie de STA)

Dans le plan I-IV on peut comparer les liants utilisés dans le groupe 29-32 et celui utilisés dans le groupe 41-44. Ces deux groupes utilisent un même bitume dur 40/50 mais les essais de contrôle routiniers sur ces bitumes ont révélé que le

liant utilisé dans le groupe 29-32 est moins dur que celui utilisé dans le groupe 41-44. En effet la pénétration dans le premier exprimée en $1/10$ mm est de 46 tandis que dans le deuxième elle est de 47. Ceci confirme ce qu'on a écrit pour le groupe 33-36 (dans lequel on a utilisé le bitume le moins dur), à savoir que les bitumes moins durs offrent un bon enrobage. Le groupe 41-44 a bien un enrobage de qualité inférieure que celui dans le groupe 29-32.

Le plan I-II montre que ce groupe a une bonne granulométrie étalée et montre qu'ils ont une bonne dureté au sens du Duval.

Les échantillons 43 et 44 sont à retenir pour cette analyse car ils présentent beaucoup d'atouts et de performances de stabilité et de résistance.

Le groupe 45-48 : Il est plus ou moins bien représenté dans I et mal représenté dans l'axe II. Le 48 est néanmoins bien représenté dans le plan I-II (relativement à ce groupe). Dans le plan I-III il est montré qu'en présence d'eau ils opposent une résistance médiocre. Le groupe est sensible à l'eau, à l'action de cette eau.

On rejette ce groupe car il est loin d'avoir une stabilité convenable pour des échantillons destinés à la construction de piste d'envol.

Le groupe 49-52 : Ce groupe est aussi plus ou moins bien représenté dans le plan I-II. (surtout 49 et 50). L'échantillon 50 est plus proche du groupe 41-44. Le 52 offre une plus grande stabilité ainsi qu'un bon rapport de compression à l'immersion mais relativement à ce groupe. Ce rapport est cependant loin d'être satisfaisant. Ils sont moins résistants en présence d'eau et ont un degré de propreté moyen. On rejette le groupe pour sa contreperformance en résistance à la compression à l'immersion.

Le groupe 53-56 : Le groupe est tout le temps aux côtés du groupe 41-44. Ces deux groupes ont un comportement global similaire. Les échantillons de ce groupe comme ceux du groupe 41-44 sont très imperméables à l'eau (le 53 l'est moins que les autres). Il a un degré de propreté très moyen (EDS pas très grand), quoique l'essai d'équivalent de sable nous indique qu'il est compatible avec les normes SETRA $ES = 37.53 > 25\%$. Cet échantillon offre une bonne résistance à la compression à l'immersion.

Dans le plan I-III les deux groupes 53-56 et 41-44 sont aussi très proches l'un de l'autre surtout pour l'échantillon 56, qui est donc le plus imperméable. Dans le plan I-II la ressemblance est frappante. L'échantillon 56 est proche aussi bien de RCI que de C0C. Donc cet échantillon a une très grande résistance à la compression à l'immersion et une très grande compacité et c'est en cela qu'il diffère de l'échantillon 44 qui lui a une plus grande résistance à la compression à l'immersion et une compacité moins grande.

Dans l'axe V les 2 groupes se séparent. En effet le groupe 41-44 a un los Angeles le plus grand (29.82) tandis que le groupe 53-56 a un los Angeles plus petit (24.16). Le groupe est composé de piéris dures. Son mélange est grenue et forme un béton tout à fait différent des autres. C'est le béton 0/10. Les autres ont des bétons 0/14.

On retient ce groupe sauf le 53. Le plus performant étant bien sûr l'échantillon 56.

Enfin, on a retenu les échantillons suivants :

30 ; 32 du groupe 29-32
 43 ; 44 du groupe 41-44
 54 ; 55 ; 56 du groupe 53-56.

On remarque que tous les échantillons sont au delà d'une limite qui sépare le plan I-II en deux portions. Ceux des autres échantillons qui se rapprochent de cette limite, donc de la deuxième portion du plan sont tous plus ou moins bons. Meilleurs en tout que ceux qui s'en éloignent. Ceux qui se rapprochent le plus de cette limite sont en effet les échantillons 31, 52, 41, 28, 27 et 26 on peut aussi compter parmi eux les échantillons 36, 35, 29, 51, 53, 50. Tous ces échantillons ont de très bons résultats techniques. Un seul résultat semble fausser les autres.

Prenez l'échantillon 36 par exemple : tous ses résultats sont plus ou moins bons sauf la résistance à la compression à sec ($R = 66.27 \text{ Kg} < 70 \text{ Kg}$)

Si on prend l'échantillon 31 qui se rapproche le plus de cette limite séparatrice on remarque que tous ses résultats sont bons, sauf en compacité qu'il a très grande par ailleurs. Mais la SETRA a décidé qu'une grande compacité n'était pas recommandée.

Cette limite distingue les enveloppes de bonne qualité - des enveloppes de moindre qualité.

Partant de cela on peut affirmer alors que les échantillons qui sont les plus distants envers cette limite sont les moins bons et que donc l'échantillon 9 est le moins bon de tous. Une petite vérification confirme ces dires. En effet l'échantillon 9 présente la plus faible de toutes les résistances (42 !)

On peut l'affirmer aussi pour l'échantillon 1 qui a la plus petite résistance à la compression immersion (18.33 !) ainsi que le plus petit rapport compression immersion (0.40)

Si on se réfère donc à cette limite on doit admettre l'échantillon N°42 parmi ceux qu'on doit retenir puisqu'il est au delà de cette limite. Nous préférons cependant ne pas le compter parmi ce qu'on a retenu, par des tas de considérations étudiées dans tous les autres plans.

On peut affirmer donc que cette analyse donne de bons résultats en vertu des critères de choix très rigoureux qu'on s'est imposés pour qualifier de bon un enveloppe bitumineux.

ETUDE COMPARATIVE des 07 échantillons retenus.

échantillons	30	32	43	44	54	55	56
Variables							
EDS	26.11	26.11	37.59	37.59	37.53	37.53	37.53
IDP	6.17	6.17	10.9	10.9	5.11	5.11	5.11
RCS	88.33	82.33	112.00	107.67	97	91	109.67
RCI	85	68.33	86.33	84.62	74	77.33	94.33
QCI	0.96	0.83	0.77	0.79	0.76	0.85	0.86
COM	97.11	97.51	93.77	94.33	94.26	94.43	95.06
COC	96.68	97.91	96.37	97.57	95.08	95.08	95.88
type de mélange	S.Grenu	S.Grenu	S.Grenu	S.Grenu	Grenu %	Grenu %	Grenu %
Nature du Lia	40/50	40/50	40/50	40/50	40/50	40/50	40/50
teneur en fines*	30%	30%	17.33%	17.33%	17.17%	17.17%	17.17%
STA	950	860	991	974	857	834	838
DVH	4.21	4.21	4.59	4.59	3.90	3.90	3.90

On remarque tout d'abord que tous les échantillons retenus sont marqués par les faits suivants:

- * Ils ont tous une teneur en fines supérieure à 17%
 - * Le liant utilisé est un liant dur 40/50.
 - * Le Dens humide ≈ 4 .
 - * La résistance à la compression à sec est supérieure à 80 Kg
 - * La résistance à la compression à immersion est supérieure à 65 Kg. Elle prend des valeurs supérieures à 70 pour 6 cas sur 7.
 - * Le rapport compression à immersion est supérieur à 0.75
 - * Les mélanges grenus ou semi-grenus donnent de bons résultats. Les mélanges semi-grenus donnent de grandes valeurs en résistance à la compression à sec (112) et la plus grande valeur du rapport compression à immersion (0.96), la plus grande valeur de compacité (97.91) et la plus grande valeur de la stabilité (991)
 - Les mélanges grenus donnent une plus grande valeur de résistance à la compression à immersion (94.33)
- En calculant les moyennes autour desquelles ces valeurs s'approchent on trouve:

$$\overline{RCS} = 98.36 ; \overline{QCI} = 0.83 ; \overline{EDS} = 34.43 ; \overline{RCI} = 81.42 ; \overline{COM} = 95.21 ; \overline{COC} = 96.37$$

$$\overline{STA} = 901 ; \overline{DVH} = 4.20$$

On fait remarquer sur les 07 échantillons retenus, les 3 derniers et uniquement eux respectent la norme SETRA sur la compacité:

- * La teneur en fines de la fraction 0/3 du mélange dont ces échantillons sont issus.

Conclusion

La limite théorique qui sépare les bons bétons bitumineux des moins bons est une limite qui reflète un résultat exact.

Notre ACP confirme les normes SETRA. Cependant nous gagnerions en qualité du béton comme en sécurité en préconisant ce qui suit :

Du fait que la moyenne des valeurs des résistances des échillons de bonne qualité est 98.36 on peut préconiser une résistance minimum de 80 Kg/cm^2

Du fait que la moyenne des valeurs des rapport compression immersion de ces mêmes échantillons est de 0.83 et que 5 valeurs sur 7 valent plus ou approchent la valeur 0.8 on peut proposer la valeur de 0.80

Les compacités restent inchangées puisque les moyennes sont de l'ordre de 95 pour COM et 96 pour COC. néanmoins on pourra proposer que $93\% \leq C \leq 95\%$ et pour compacité de Marshall $C \approx 97\%$

Pour le Densité humide on propose qu'elle soit ≥ 4

Pour la Stabilité on propose qu'elle soit $\geq 830 \text{ Kg}$

Donc, finalement, voici en résumé ce que nous proposons en comparaison avec les normes SETRA ainsi qu'avec la Norme de la Corps Of Engineers concernant la Stabilité

NORMES SETRA	NOS PROPOSITIONS
$RCS > 70 \text{ Kg/cm}^2$ $QCI > 0.75$ $DVH > 3.5\%$ $91\% < COM < 95\%$ $COC < 96\%$ norme de la Corps Of Engineers $STA \geq 830 \text{ Kg}$	$RCS > 80 \text{ Kg/cm}^2$ $QCI > 0.80$ $DVH \geq 4$ $93\% \leq COM \leq 95\%$ $COC \approx 97\%$ $STA \geq 830 \text{ Kg}$

De plus nous préconisons l'utilisation d'un bitume dur 40/50 et avoir un sable dans la teneur en fine approche les 17%.

Il importe peu que les mélanges soient Grenus ou Semi-Grenus. En ce qui concerne l'équivalent de sable il semble que la SETRA soit trop sévère dans sa norme. Elle exige en effet un $ES > 35\%$. Or on peut avoir des mélanges qui ont un ES inférieur à cette mais qui ont néanmoins une très bonne résistance. D'ailleurs dans notre analyse on a trouvé que l'EDS et la RCS ne sont pas corrélés.

Même chose pour l'IDP. Les normes de la SETRA concernant l'IDP semblent être trop sévères. On arrive en effet à avoir de bons résultats avec un $IDP > 6$ comme le montre les échantillons 43, 44

Complément sur la granulométrie des échantillons retenus.
 échantillons de type semi-grenu pour béton 0/14
 Tableau donnant les différents tamisats pour les échantillons 30 et 32

TAMIS En mm	Compléments à 100 des refus cumulés
20	100
16	100
12.5	97.03
10	86.44
8	74.24
6.3	62.97
5	51.77
2	24.92
1	18.31
0.400	13.63
0.200	11.33
0.100	9.58
0.080	8.61

Les échantillons 30 et 32 sont issus du mélange suivant

40% 8/15
 35% 3/8
 25% 0/3

La teneur en fine de ces échantillons est égale à 8.61%.

Ces échantillons s'insèrent en granulométrie dans les courbes de référence de la SETRA.

Tableau donnant les différents tamisats pour les échantillons 43 et 44.
échantillons de type semi-grenu pour béton 0/14

Tamis en mm	Compléments à 100 des refus cumulés
20	100
16	100
12.5	98.56
10	84.55
8	73.11
6.3	63.09
5	52.41
2	28.93
1	19.29
0.400	12.52
0.200	9.64
0.100	7.92
0.080	7.23

Les échantillons 43 et 44 sont issus du mélange suivant

35% 8/15
30% 3/8
35% 0/8

La teneur en fines de ces échantillons est égale à 7.23
Ces échantillons ont aussi une granulométrie qui s'inscrit dans les courbes de référence de la SETRA

Tableau donnant les différents tamisats pour les échantillons 54, 55 et 56.
échantillons de type grenus pour béton 0/10

Tamis en mm	Compléments à 100 des refus Cumulés
20	100
16	100
12.5	100
10	99.96
8	94.51
6.3	76.60
5	55.92
2	33.56
1	23.72
0.400	17.92
0.200	10.84
0.100	8.23
0.080	6.90

Les échantillons 54, 55, 56 sont issus du mélange du suivant
65% 3/8
35% 0/3

La teneur en fines de ces échantillons est égale à 6.90
Ces échantillons ont eux aussi une granulométrie qui s'insère dans les courbes de référence de la SETRA.

On constate donc que les normes de la SETRA vis-à-vis de la granulométrie sont convenables. En effet la présente analyse confirme ces normes et ce pour les mélanges semi-grenus comme pour les mélanges grenus

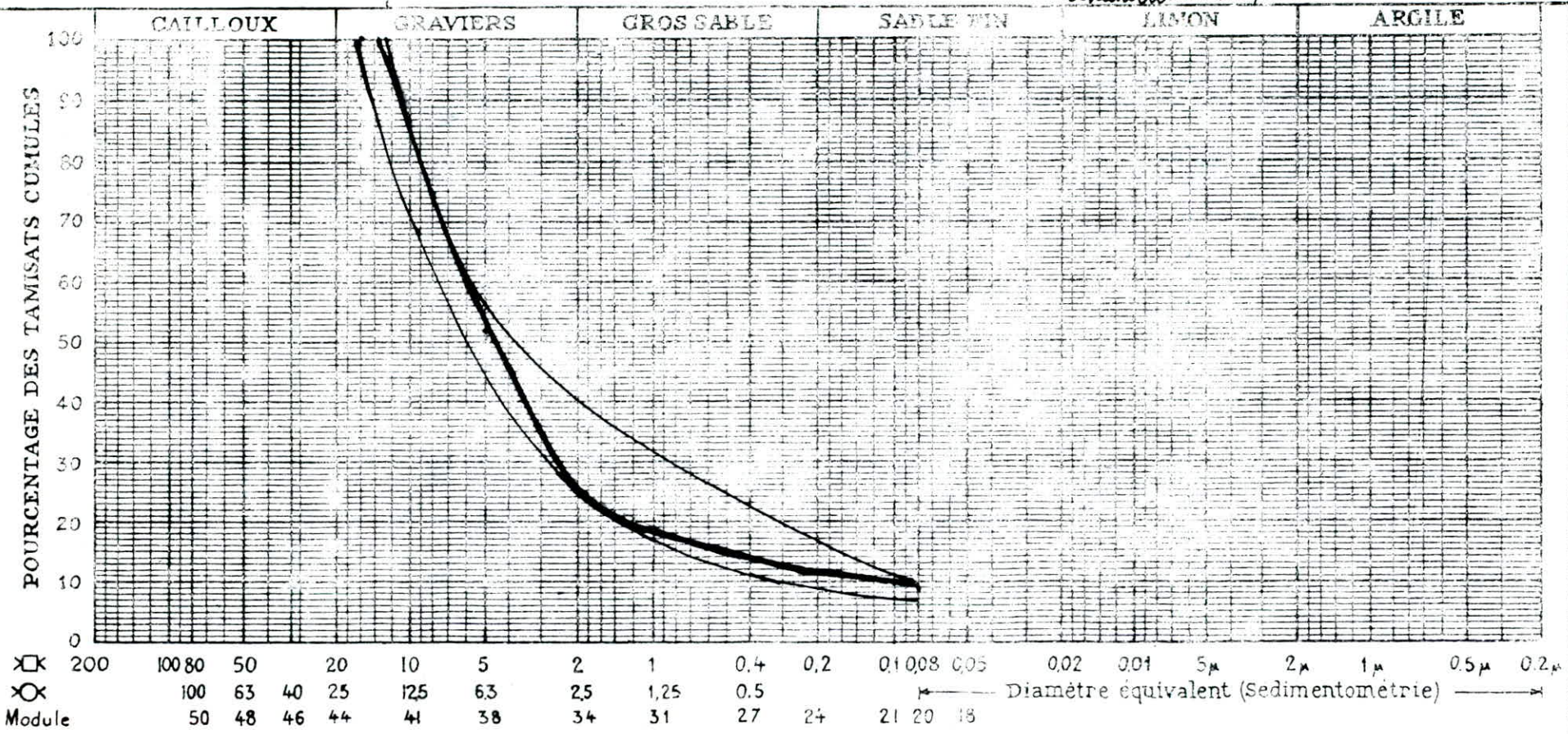
69. **. T. P. B.**

Fuseau "SETRA LC PC" Pour Béton Bitumineux 0/44 Semi-Grave

Désignation des échantillons {
 N° 40% 8/15
 N° 35% 3/8
 N° 25% 0/3

DOSSIER :

S. 6 ET S. 7 - ANALYSE GRANULOMETRIQUE échantillons 30, 32



	%	S. 8 LIMITES D'ATTERBERG			S. 20 E. S.
		L. L.	I. P.	L. R.	
Ech. _____	8.61				Σ en m ² /Kg = 13.11
Ech. _____					
Ech. _____					

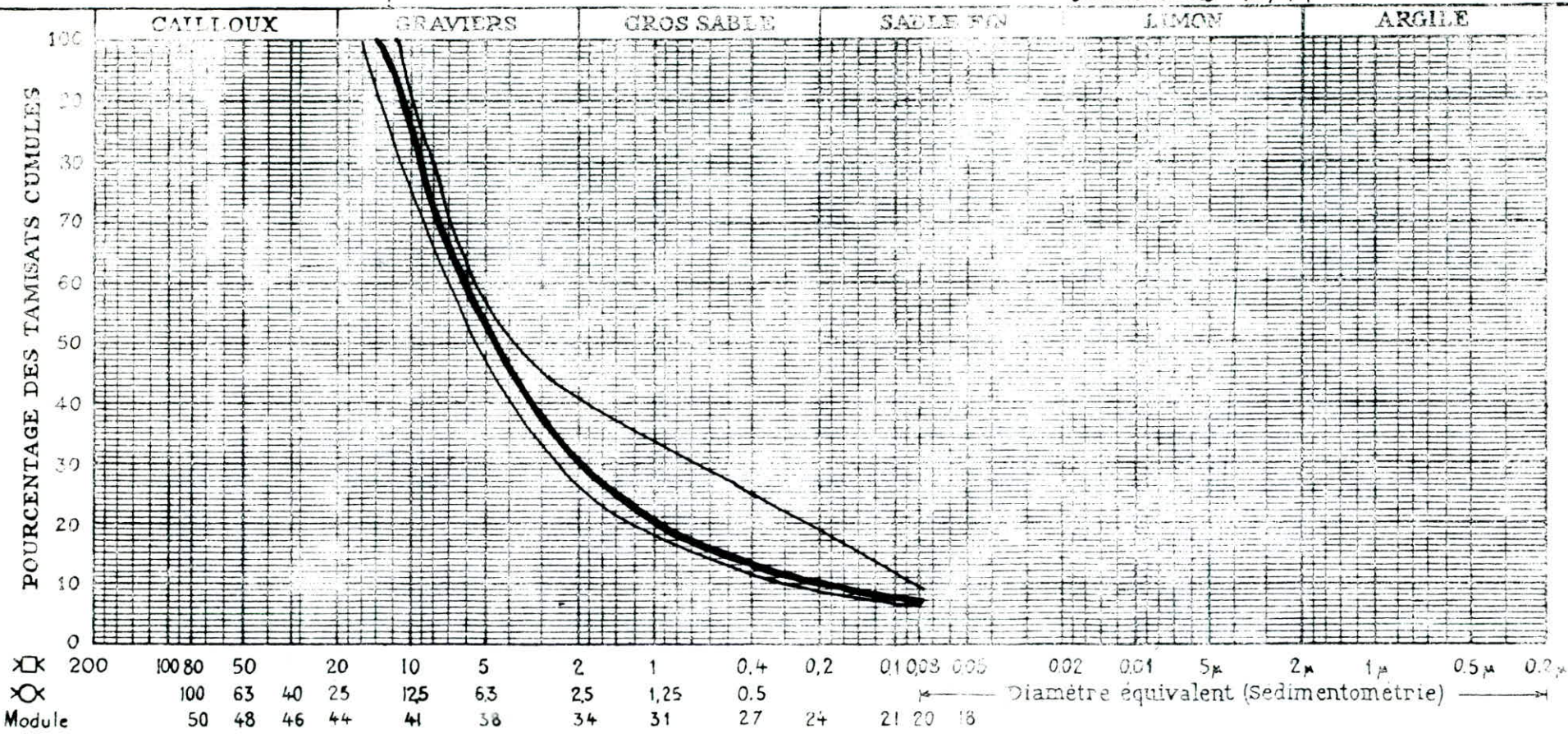
70.

Furau Pour Béton bitumineux 0/14 Semi-Grenue

Désignation des échantillons }
 N° 35% de 8/15
 N° 30% de 3/8
 N° 35% de 0/3

DOSSIER :

S. 6 ET S. 7 - ANALYSE GRANULOMETRIQUE échantillons 43,44.



	%	S. 8			S. 20	
		LIMITES D'ATTERBERG				
	< 80µ	L.L.	I.P.	L.R.	E.S.	
Ech.	7.23					Σ en m ² /Kg = 10.62
Ech.						
Ech.						

74.

. T. P. B.

Fusau Pour Béton bitumineux 0/10

Grenu

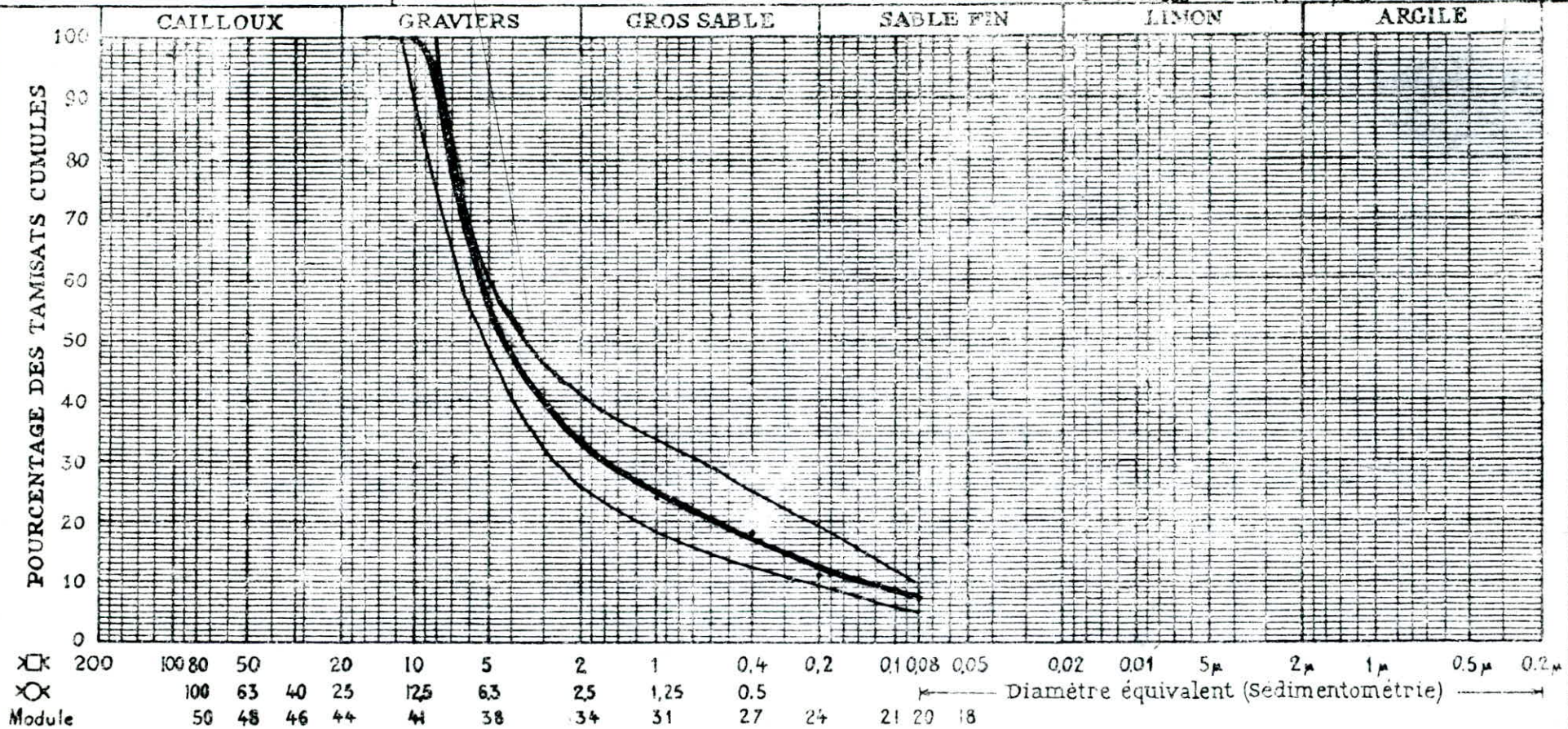
 Désignation des échantillons {

N°	65% de 3/8
N°	35% de 0/3
N°	

DOSSIER :

S. 6 ET S. 7 - ANALYSE GRANULOMETRIQUE

échantillons 54, 55, 56



	%	S. 8			S. 20
		LIMITES D'ATTERBERG			
	< 80 μ	L. L.	I. P.	L. R.	E. S.
Ech. _____	6.90				
Ech. _____					
Ech. _____					

 Σ en m²/Kg = 11.28

Annexe

Cette méthode se réfère beaucoup, comme on l'a vu dans la partie présentation et formulation de la méthode, au calcul matriciel. Pour faire subir les différentes transformations à la matrice de corrélation, de taille $26 \times 26!$, on a fait appel à l'ordinateur.

On a utilisé 11 programmes en tout. Les programmes sont les suivants:
 Le programme DONNEES.ACP: destiné à la création des fichiers qu'on utilisera tout au long des programmes. Le programme crée les fichiers DONNEES, qui représente la matrice des données, VAR.NOM qui contient les noms des variables et INDIVIDU.IDE qui contient les identifiants (nom) des individus.
 Le programme SALIMA.ACP: pour la saisie et la sauvegarde des paramètres de l'ACP.

Le programme CALCOV.ACP pour le calcul des moyennes, écarts-types, variances, etc. ainsi que la matrice de corrélation

Le programme ULIW.ACP imprime les résultats du programme précédent.

Le programme ITHBIR.ACP: le principal de tous, calcule les valeurs propres ainsi que les vecteurs propres. La matrice de corrélation est d'abord tridiagonalisée par l'algorithme de Householder puis diagonalisée par celui de Givens. Pour les vecteurs propre on a utilisé une méthode très puissante; il s'agit de la méthode de la puissance inverse (Inverse power method) auquel s'adjoint la méthode de Gauss de pivot maximal.

Toutes ces méthodes sont tirées de l'excellent ouvrage

Le programme AAZUZU.ACP calcule et imprime les coordonnées des variables dans les nouveaux axes.

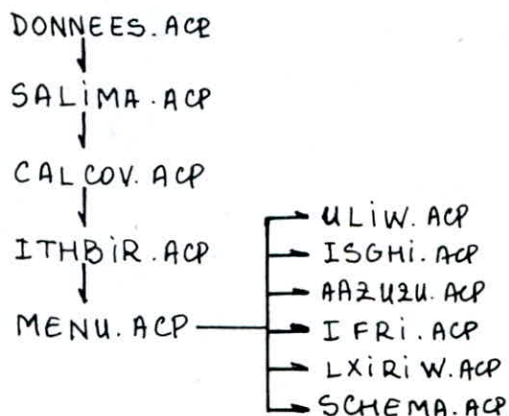
Le programme LXIRIW.ACP imprime les différents cercles de corrélation

Le programme IFRI.ACP calcule et imprime les coordonnées des individus dans les nouveaux axes.

Le programme SCHEMA.ACP imprime les plans factoriels.

Une bonne partie du programme total se déroule à partir du programme MENU.ACP vers lequel on s'enchaîne automatiquement lorsque le calcul d'un programme arrive à son terme.

Les programmes se déroulent suivants l'organigramme suivant



```

10 'PROGRAMME DONNEES.ACP:CREATION DES FICHIERS
20 DIM XIJ(70,70),IND(70),VARS(70)
30 OPEN"O", IO,"DONNEES":OPEN "O", 9,"INDIVIDU.IDE":OPEN "O", 8,"VAR.NOM"
40 CLS:PRINT "=====TABLEAU DES DONNEES=====":PRINT
50 INPUT "NOMBRE DE LIGNE DU TABLEAU";N
60 INPUT "----- colonne-----";PT
70 PRINT "SAISIE(=1) ou LECTURE(=2)";:INPUT IM:IF IM=2 THEN I50
80 IF IM I OR IM 2 THEN 70
90 PRINT:PRINT "SAISIE":PRINT
100 PRINT "TABLEAU DES DONNEES";TAB(40)"I"
110 PRINT "IDENTIFICATEURS DES INDIVIDUS";TAB(40)"2"
120 PRINT "NOM DES VARIABLES";TAB(40)"3"
130 PRINT TAB(40);:INPUT K
140 ON K GOTO 220,310,360
150 PRINT:PRINT "LECTURE ":PRINT
160 PRINT "TABLEAU DES DONNEES";TAB(40)"I"
170 PRINT "IDENTIFICATEURS DES INDIVIDUS";TAB(40)"2"
180 PRINT "NOM DES VARIABLES";TAB(40)"3"
190 PRINT TAB(40) " ";:INPUT L
200 ON L GOTO 42 0,500,560
210 '          SAISIE AU CLAVIER
220 CLS
230 PRINT N,PT
240 FOR I=I TO N
250 FOR J=I TO PT
260 PRINT "XIJ(";I;",";J;"):";
270 INPUT B
280 PRINT IO,STRS(B)
290 NEXT J,I
300 PRINT:GOTO 650
310 FOR I=I TO N
320 PRINT "IND(";I;"):";:INPUT A
330 PRINT 9,STRS(A)
340 NEXT I
350 PRINT:GOTO 650
360 FOR I=I TO PT
370 PRINT "VAR(";I;"):";:INPUT VS
380 PRINT 8,VS
390 NEXT I
400 PRINT:GOTO 650
410 '          LECTURE DES DONNEES
420 CLOSE:OPEN "I", IO,"DONNEES"
430 CLS
440 FOR I=I TO N
450 FOR J=I TO PT
460 INPUT IO,AS
470 XIJ(I,J)=VAL(AS)
480 PRINT XIJ(I,J);
490 NEXT J:PRINT :NEXT I:GOTO 630
500 CLOSE:OPEN "I", 9,"INDIVIDU.IDE"

```

```

10 'PROGRAMME SALIMA.ACP;SAISIE DES PARAMETRES DE L'A.C.P
20 CLEAR,,1000;CLS;DEFINT A-Y;DEFSTR Z;DIM R(70),RS(70),Q(70)
30 ZO=CHR$(10);Z=" ";ZI=" ";Z2=" "
40 PRINT TAB(20)"MENU";ZO
50 PRINT "SAISIE DES PARAMETRES";TAB(40)"1"
60 PRINT "IMPRESSION";TAB(40)"2"
70 PRINT "SAUVEGARDE";TAB(40)"3"
80 PRINT "LECTURE";TAB(40)"4"
85 PRINT "ENCHAINEMENT CALCOV.ACP";TAB(40)"5"
90 PRINT TAB(40)" ";:INPUT IM:IF IM 5 THEN 40
100 ON GOTO I40,420,660,760 :PRINT "PROG.CALCOV.ACP ENCHAINE":RUN"CALCOV.ACP"
110 '
120 '   SAISIE DES PARAMETRES DE L'ANALYSE
130 '
140 LINE INPUT "NOM DU FICHIER DES DONNEES ?";Z
150 PRINT "NOMBRE TOTAL DE COLONNES DANS ";Z;:INPUT " ";PT
160 PRINT "NOMBRE DE VARIABLES PRINCIPALES ";:INPUT P
170 INPUT "NOMBRE D'AXES CONSIDERES";PO
180 INPUT "METRIQUE CANONIQUE:I NORMEE:2";KM
190 IF P PT THEN PRINT "ERREUR":GOTO 150
200 IF PO P THEN PRINT "ERREUR":GOTO 150
210PRINT "RANGS DES VARIABLES PRINCIPALES"
220 PRINT TAB(20)"VAR";TAB(30)"RANG"
230 FOR J=I TO P:PRINT TAB(20)J;TAB(30)"";:INPUT R(J):NEXT J
240 CLS:PRINT "NOMBRE DE VARIABLES SUPPLEMENTAIRES";:INPUT PS
250 IF PS=0 THEN 310 ELSE LINE INPUT "NOM DU FICHIER ?";ZI
260 PRINT "NOMBRE TOTAL DE COLONNES DANS ";ZI;:INPUT "";QT
270 IF PS QT THEN PRINT "ERREUR":GOTO 240
280 PRINT "RANGS DES VARIABLES SUPPLEMENTAIRES DANS ";ZI
290 PRINT TAB(10)"VAR";TAB(20)"RANG"
300 FOR J=I TO PS:PRINT TAB(10)J;TAB(20)" ";:INPUT RS(J):NEXT J
310 CLS:PRINT "INDIVIDUS SUPPLEMENTAIRES OUI:I NON:2";
320 INPUT IS;IF IS=2 THEN CLS;GOTO 40 ELSE IF I THEN 310
330 LINE INPUT "NOM DU FICHIER SUPPLEMENTAIRE ?";Z2
340 PRINT "NOMBRE TOTAL DE COLONNES DANS ";Z2;:INPUT " ";RT
350 IF P RT THEN PRINT "ERREUR":GOTO 310
360 PRINT "RANGS DES VARIABLES PRINCIPALES DANS ";Z2
370 PRINT TAB(10)"VAR";TAB(20)"RANG"
380 FOR J=I TO P:PRINT TAB(10)J;TAB(20)" ";:INPUT Q(J):NEXT J
385 CLS;GOTO 40
390 '
400 '   IMPRESSION DES PARAMETRES DE L'ANALYSE
410 '
420 LPRINT CHR$(10);TAB(10)" PARAMETRES DE L'ANLYSE";ZO
430 LPRINT "FICHIER PRINCIPAL";TAB(50)Z
440 LPRINT "NOMBRE TOTAL DE VARIABLES DANS ";Z;TAB(50)PT
450 LPRINT "NOMBRES DE VARIABLES ACTIVES";TAB(50)P
460 LPRINT "NOMBRE D'AXES PRINCIPAUX CONSIDERES";TAB(50);ZO
470 IF KM=1 THEN LPRINT "METRIQUE CANONIQUE";ZO
480 IF KM=2 THEN LPRINT "METRIQUE NORMEE";ZO
490 LPRINT "RANGS DES VARIABLES PRINCIPALES DANS ";Z
500 LPRINT TAB(10)"VARIABLE";TAB(30)"RANG"
510 FOR J=I TO P:LPRINT TAB(10);J;TAB(30)R(J):NEXTJ:LPRINT ZO

```



```

520 IF PS=0 THEN LPRINT "PAS DE VARIABLES SUPPLEMENTAIRES":GOTO 570
530 LPRINT "FICHER CONTENANT LES VAR.SUPPL.":TAB(50)ZI;ZO
540 LPRINT "NOMBRE TOTAL DE VARIABLES DANS ":ZI;TAB(50)QT
550 LPRINT TAB(10)"VARIABLE";TAB(30)"RANG"
560 FOR J=I TO PS:LPRINT TAB(10)J;TAB(30)RS(J):NEXT J:LPRINT ZO
570 IF IS =2 THEN LPRINT "PAS D'INDIVIDUS SUPPLEMENTAIRES":GOTO 620
580 LPRINT "FICHER CONTENANT LES IND.SUPPL.":TAB(50)Z2;ZO
590 LPRINT "RANGS DES VARIABLES PRINCIPALES DANS ":Z2
600 LPRINT TAB(10)"VARIABLE";TAB(30)"RANG"
610 FOR J=I TO P:LPRINT TAB(10);J;TAB(30)Q(J):NEXT J:LPRINT ZO
620 LPRINT ZO;STRING$(63,"-");ZO:CLS:GOTO 40
630 '
640 '     SAUVEGARDE DES PARAMETRES DE L'ANALYSE
645 '
660 OPEN "O",I,"PARAMACP":PRINT I,Z;";";
670 PRINT I,PT;P;PO;KM;:FOR J=I TO P:PRINT I,R(J);:NEXT J
680 PRINT I,PS;:IF PS=0 THEN 700
690 PRINT I,ZI;";";QT;:FOR J=I TO PS:PRINT I,RS(J);:NEXT J
700 PRINT I,IS;:IF IS=2 THEN 720
710 PRINT I,Z2;";";RT;:FOR J=I TO P:PRINT I,Q(J);:NEXT J
720 CLOSE I:CLS:GOTO 40
730 '
740 '     LECTURE DES PARAMETRES
750 '
760 OPEN "I",I,"PARAMACP":INPUT I,Z,PT,P,PO,KM
770 FOR J=I TO P:INPUT I,R(J):NEXT J:INPUT I,PS:IF PS=0 THEN 790
780 INPUT I,ZI,QT;:FOR J=I TO PS:INPUT I,RS(J):NEXT J
790 INPUT I,IS:IF IS=2 THEN 810 ELSE INPUT I,Z2,RT
800 FOR J=I TO P:INPUT I,Q(J):NEXT J
810 CLOSE I:CLS:GOTO 40

```

```

10 'PROGRAMME CALCOV.ACP;CALCUL DES MOMENTS ET MOYENNES
20 CLEAR,,1000;CLS;PRINT "PROGRAMME CALCOV.ACP"
30 DEFINT I-L,N-R;DEFSTR Z
4I DIM C(2485),M(70),X(70),RS(70),R(70),Q(70)
50 '
60 '     LECTURE DES PARAMETRES
70 '
80 OPEN "I",I,"PARAMACP":INPUT I,Z ,PT,P,PO,KM
90 FOR J=I TO P;INPUT I,R(J);NEXT J;INPUT I,PS
100 PP=P+PS;QT=0;ZI="";IF PS=0 THEN I50 ELSE INPUT I,ZI,QT
110 PI=P+I;FOR J=PI TO PP;INPUT I,R;R(J)=PT+R;NEXT J
120 '
130 '     CALCUL DES MOMENTS ET MOYENNES
140 '
150 CLOSE;N=0;OPEN "I",I,Z;IF ZI "" THEN OPEN "I",2,ZI
160 PRINT "CALCUL SUR L'INDIVIDU ";
170 IF EOF(I) THEN CLOSE :GOTO 240
180 N=N+I;FOR J=I TO PT;INPUT I,X(J);NEXT J;PRINT TAB(60)"N";N;
190 IF ZI " " THEN FOR J=I TO QT;INPUT 2,X(J+PT);NEXT J
200 FOR JI=I TO PP;JJ=JIx(JI-I)x.5;M(JI)=M(JI)+X(R(JI))
210 FOR J2=I TO JI;J=JJ+J2;C(J)=C(J)+X(R(JI))xX(R(J2));NEXT J2
220 NEXT JI
230 GOTO I70 ;'     CALCUL SUR L'INDIVIDU SUIVANT
240 '     DIVISION PAR L'EFFECTIF ET CENTRAGE
250 FOR JI=I TO PP;JJ=JIx(JI-I)x.5;M(JI)=M(JI)/N
260 FOR J2=I TO JI;J=JJ+J2;C(J)=C(J)/N-M(JI)xM(J2);NEXT J2
270 NEXT JI
280 '
290 '     SAUVEGARDE SUR FICHIERS
300 '
310 CLOSE;OPEN "O",I,"MOY.DAT";OPEN "O",2,"COVAR.DAT";OPEN "O",3,"VAR.DAT"
320 FOR JI=I TO PP;JJ=JIx(JI-I)x.5;I=JJ+JI;PRINT I,M(JI);
330 FOR J2=I TO JI;J=JJ+J2;K=J2x(J2+I)x.5;X=C(J)
340 IF KM=2 THEN X=X/SQR(C(I)xC(K));'     METRIQUE NORMEE
350 PRINT 2,X;
360 NEXT J2
370 PRINT 3,C(J);;'     SAUVEGARDE DES VARIANCES
380 NEXT JI
390 '
400 '     CREATION DU FICHIER DIAGONAL.PAR ET ENCHAINEMENT
410 '
420 CLOSE;OPEN "O",I,"DIAGONAL.PAR";PRINT I,"MENU.ACP";",,";
430 PRINT I,P,PS;PO; "COVAR.DAT";",,";"VEC.DAT";",,";"VAL.DAT"
440 CLOSE;RUN "ITHIR.ACP";'ENCHAINEMENT

```

```
10 'PROGAMME MENU.ACP;CHOIX DES RESULTATS EN A.C.P
20 GLEAR,,1000;DEFINT I-P;DEFSTR Z;DIM Z(20)
30 N=6;FOR K=I TO N;READ Z(K);NEXT K
40 DATA ULIW.ACP,ISGHI.ACP,AAZUZU.ACP,IFRI.ACP,LXIRIW.ACP
50 DATA SCHEMA.ACP
60 CLS;PRINT TAB(30)"MENU";ZO
70 PRINT "MOYENNES ET VARIANCES(ULIW.ACP)";TAB(50)"1"
80 PRINT "VALEURS ET VECTEURS PROPRES(ISGHI.ACP)";TAB(50)"2"
90 PRINT "ANALYSE DES VARIABLES(AAZUZU.ACP)";TAB(50)"3"
100 PRINT "ANALYSE DES INDIVIDUS(IFRI.ACP)";TAB(50)"4"
110 PRINT "TRACE DU CERCLE DE CORRELATION(LXIRIW.ACP)";TAB(50)"5"
120 PRINT "TRACE DES PLANS PRINCIPAUX(SCHEMA.ACP)";TAB(50)"6"
130 PRINT TAB(50)"";:INPUT MENU
140 IF MENU =0 OR MENU 6 THEN GOTO 60
150 IF MENU 4 THEN RUN Z(MENU)
160 PRINT "AVEZ-VOUS SAUVEGARDE LES COORDONNEES";
170 IF MENU=6 THEN 210
180 PRINT "AVEZ-VOUS SAUVEGARDE LES COORDONNEES DES VARIABLES";
190 INPUT "OUI:1 NON:2";IS:IF IS=2 THEN 60 ELSE IF IS 1 THEN 180
200 RUN Z(MENU)
210 INPUT "DES INDIVIDUS OUI:1 NON:2";IS
220 IF IS=2 THEN 60 ELSE IF IS 1 THEN 160
230 RUN Z(MENU)
```

```

10 'PROGRAMME ULIW.ACP:EDITION DES MOYENNES,VARIANCES,...ETC
20 CLEAR,,1000:CLS:PRINT "PROGRAMME ULIW.ACP"
30 DEFINT I-L,N-R:DEFSTR Z:DIM C(2485),M(70),V(70),ZZ(70),R(70)
40 ZI="VARIABLES SUPPLEMENTAIRES":ZO=CHR$(10):Z3=" "
50 AS="MOYENNES":BS="ECARTS-TYPES":CS="VARIANCES"
60 PRINT ZO;"PARAMETRES DANS DE LE FICHER PARAMACP";TAB(50)"I"
70 PRINT "AUTRES PARAMETRES";TAB(50)"2"
80 PRINT TAB(50)"";:INPUT II
90 IF II=1 THEN 220 ELSE IF II 2 THEN 60
100 '
110 '   SAISIE DES PARAMETRES AU CLAVIER
120 '
130 INPUT "NOMBRE DE VARIABLES ACTIVES";P
140 INPUT "NOMBRE DE VARIABLES SUPPLEMENTAIRES";PS
150 PRINT "FICHIERS CONTENANT LES"
160 PRINT TAB(22)AS;TAB(50)"";:LINE INPUT ZM
170 PRINT TAB(22)CS;TAB(50)"";:LINE INPUT ZS
180 PRINT TAB(22)"COVARIANCES"; TAB(50)"";:LINE INPUT ZC
190 '
200 '   LECTURE DU FICHER PARAMACP
210 '
220 IF II=2 THEN 250 ELSE OPEN"I",I,"PARAMACP"
230 INPUT I,Z,PT,P,PO,KM:FOR J=I TO P:INPUT I,R(J):NEXT J
240 INPUT I,PS:CLOSE:ZM="MOY.DAT":ZC="COVAR.DAT":ZS="VAR.DAT"
250 ZT="":PP=P+PS:PI=P+I:PRINT "IDENTIFICATEURS DES VARIABLES"
260 LINE INPUT " DE TOUTES LES VARIABLES (SINON ENTER) ?";ZT
270 IF ZT=" " THEN 290 ELSE OPEN "I",I,ZT
280 FOR I=I TO PP:INPUT I,ZZ(I):NEXT I:CLOSE:GOTO 380
290 ZV=" ":LINE INPUT " ACTIVES(SINON ENTER) ?";ZV
300 IF ZV=" " THEN FOR I=I TO P:ZZ(I)="V"+STR$(I):NEXT I:GOTO 320
310 OPEN "I",I,ZV:FOR I=I TO P:INPUT I,ZZ(I):NEXT I:CLOSE
320 ZW=" ":LINE INPUT " SUPPLEMENTAIRES(ID.) ? ";ZW
330 IF ZW="" THEN FOR I=I TO PP:ZZ(I)="V"+STR$(I):NEXT I:GOTO 380
340 OPEN "I",I,ZW:FOR I=PI TO PP:INPUT I,ZZ(I):NEXT I:CLOSE
350 '
360 '   lecture DES FICHIERS DE RESULTATS
370 '
380 CLOSE:OPEN "I",I,ZM:OPEN "I",2,ZS
390 FOR J=I TO PP:INPUT I,M(J):INPUT 2,V(J):NEXT J
400 CLOSE:OPEN "I",I,ZC
410 FOR J=I TO PP:JJ=Jx(J-I)x.5
420 FOR JI=I TO J:JJ=JJ+I:INPUT I,C(JJ):NEXT JI
430 NEXT J
440 '
450 '   AFFICHAGE DES RESULTATS
460 '
470 CLS:CLOSE:PRINT ZO;"   ETUDE UNIVARIEE":PRINT ZO
480 PRINT TAB(8)AS;TAB(22)BS;TAB(36)CS;ZO
490 FOR J=I TO PP:ZZ=ZZ(J)
500 IF J=P+I THEN PRINT ZO;ZI;ZO

```

```

510 PRINT ZZ(J);TAB(8)M(J);TAB(22)SQR(V(J));TAB(36)V(J)
520 NEXT J
525 PRINT "APPUYER SUR UNE TOUCHE POUR DEROUULER LA SUITE DU PROGRAMME"
530 ZZ=INKEY$;IF ZZ=" " THEN 530
540 PRINT ZO;" CORRELATIONS";ZO
550 F$=" . " :G$="\ \":PRINT " "
560 FOR J=I TO PP:PRINT USING G$;ZZ(J)+"/";:NEXT J
570 FOR J=I TO PP:JK=Jx(J-1)x.5:JJ=JK+J
580 ZZ=RIGHT$(ZZ(J),4):PRINT ZO;ZZ+"/";
590 FOR K=I TO J:JK=JK+I:KK=Kx(K+1)x.5
600 A=C(JK)/SQR(C(JJ)xC(KK)):PRINT USING F$;A;
610 NEXT K
620 NEXT J
630 PRINT ZO;ZO;' FIN DE L'AFFICHAGE
635 PRINT "APPUYER SUR UNE TOUCHE POUR CONTINUER LE PROGRAMME"
640 ZZ=INKEY$;IF ZZ="" THEN 640
650 CLS:PRINT "CHOIX DES IMPRESSIONS"
660 PRINT "MOYENNES, ECART-TYPES ET VARIANCES";TAB(40)"1"
670 PRINT "MATRICE DE CORRELATIONS";TAB(40)"2"
680 PRINT "NOUVEL AFFICHAGE";TAB(40)"3"
685 PRINT "SAUVEGARDE DES IDENTIFICATEURS";TAB(40)"4"
690 PRINT "RETOUR A MENU.ACP";TAB(40)"5"
700 PRINT TAB(40)"";:INPUT II
710 ON II GOTO 750,820,470,910,715:GOTO 650
715 PRINT "RETOUR A MENU.ACP":RUN"MENU.ACP"
720 '
730 ' IMPRESSION DES RESULTATS
740 '
750 LPRINT ZO;" ETUDE UNIVARIEE":LPRINT ZO
760 LPRINT TAB(8)A$;TAB(22)B$;TAB(36)C$;ZO
770 FOR J=I TO PP
780 IF J=P+I THEN LPRINT ZO;ZI;ZO
790 LPRINT ZZ(J);TAB(8)M(J);TAB(22)SQR(V(J));TAB(36)V(J)
800 NEXT J
810 GOTO 650;' RETOUR AU MENU
820 LPRINT ZO;" CORRELATIONS";ZO;ZO;" ";
830 FOR J=I TO PP:LPRINT USING G$;ZZ(J)+"/";:NEXT J:LPRINT
840 FOR J=I TO PP:JK=Jx(J-1)x.5:JJ=JK+J
850 ZZ=RIGHT$(ZZ(J),4):LPRINT ZZ+"/";
860 FOR K=I TO J:JK=JK+I:KK=Kx(K+1)x.5
870 A=C(JK)/SQR(C(JJ)xC(KK)):LPRINT USING F$;A;
880 NEXT K,J
900 LPRINT ZO;ZO;GOTO 650;' RETOUR AU MENU
910 CLS:PRINT "SAUVEGARDE DES IDENTIFICATEURS"
920 PRINT "DE LA TOTALITE DESVARIABLES";TAB(40)"1"
930 PRINT"DES VARIABLES ACTIVES";TAB(40)"2"
940 PRINT "DES VARIABLES SUPPLEMENTAIRES";TAB(40)"3"
950 PRINT ZO;"RETOUR AU MENU";TAB(40)"4"
960 PRINT TAB(40)"";:INPUT II:IF II=4 THEN 650
970 IF II=1 THEN IX=I;JX=PP:GOTO IOIO
980 IF II=2 THEN IX=I;JX=P:GOTO IOIO
990 IF II=3 THEN IX=P+I;JX=PP:GOTO IOIO
IOOO GOTO 910
IOIO LINE INPUT "FICHER DE SAUVEGARDE ? ";ZF:OPEN "O",I,ZF
IO20 FOR I=IX TO JX:PRINT I,ZZ(I);",,";:NEXT I:CLOSE:GOTO 910

```

```

10 'PROGRAMME ISGHI.ACP/EDITION DES VALEURS ET VECTEURS PROPRES
20 CLS: CLEAR,,1000:DEFINT C,I-L,N-Q:DEFSTR Z:ZO=CHRS(10)
30 DIM VP(50,50),VA(50):CE=100:IC=30:FS=" . ":FFS=" "
40 '
50 'LECTURE DES PARAMETRES ET DES ELEMENTS PROPRES
60 '
70 PRINT "FICHIERS CONTENANT LES ELEMENTS PROPRES"
80 LINE INPUT "VECTEURS PROPRES ? ";ZE
90 LINE INPUT "VALEURS PROPRES ? ";ZA
100 INPUT "NOMBRE D'AXE PRINCIPAUX CONSERVES";CO
110 INPUT "TAILLE DE LA MATRICE A DIAGONALISER";C
120 CLOSE:OPEN "I",I,ZE:OPEN "I",2,ZA
130 FOR K=I TO C:FOR J=I TO CO:INPUT I,VP(K,J):NEXT J:NEXT K
140 INPUT 2,TR:FOR J=I TO CO:INPUT 2,VA(J):NEXT J:CLOSE
150 '
160 ' HISTOGRAMME DES VALEURS PROPRES
170 '
180 CLS:PRINT "INERTIE TOTALE ";TR
190 XP=IC/VA(I):VC=0:PRINT "VAL.PRO %EXP %CUM"
200 FOR JO=I TO CO
210 VO=VA(JO):VE=VOxCE/TR:VC=VC+VE:IK=INT(XPxVO)
220 PRINT USING FS;VO;:PRINT USING FFS;VE,VC;:PRINT " / ";
230 FOR I=I TO IK:PRINT " ";:NEXT I:PRINT
240 NEXT JO
250 '
260 ' EDITION DES VALEURS PROPRES ET DES VECTEURS NORMES
270 '
280 PRINT ZO:INPUT "IMPRESSION DES RESULTATS OUI:1 NON:2";IM
290 IF IM=2 THEN CLS:RUN"MENU.ACP" ELSE IF IM=1 THEN 280
300 CLOSE:LPRINT ZO;" VALEURS PROPRES DANS ";ZA:FS=" . "
310 LPRINT "VECTEURS PROPRES DANS ";ZE;ZO:ZZ="DIAGONALISATION"
320 LPRINT ZO;ZO;TAB(20)ZZ;ZO;ZO:PRINT ZO;ZZ
330 LPRINT ZO;"INERTIE TOTALE";TR;ZO
340 ZZ="VALEURS PROPRES(1E LIGNE)":PRINT ZZ:LPRINT ZO;ZZ
350 ZZ="CONTRIBUTION A L'INERTIE (2E LIGNE)":PRINT ZZ:LPRINT ZZ;ZO
360 ZZ="TAUX D'INFORMATION EXPLIQUEE(3E LIGNE)":PRINT ZZ:LPRINT ZZ;ZO
365 FOR J=I TO CO:PRINT USING FS;VA(J);:NEXT J:PRINT
370 LPRINT :FOR J=I TO CO:LPRINT USING FS;VA(J);:NEXT J:LPRINT
380 FOR J=I TO CO:PRINT USING FS;VA(J)x100/TR;:NEXT J:PRINT
390 FOR J=I TO CO:LPRINT USING FS;VA(J)x100/TR;:NEXT J:LPRINT
395 FOR I=I TO CO:V=V+VA(I)x100/TR:PRINT USING FS;V;:NEXT I:V=0:PRINT
396 FOR I=I TO CO:V=V+VA(I)x100/TR:LPRINT USING FS;V;:NEXT I:LPRINT ZO
400 ZZ="VECTEURS PROPRES (EN COLONNES)":PRINT ZZ:LPRINT ZO;ZZ;ZO
410 FOR J=I TO C
420 FOR JO=I TO CO
430 PRINT USING FS;VP(J,JO);:LPRINT USING FS;VP(J,JO);
440 NEXT JO
450 PRINT :LPRINT
460 NEXT J
470 LPRINT ZO;ZO:RUN"MENU.ACP"

```

```

510 FOR I=I TO N
520 INPUT 9,IS
530 IND(I)=VAL(IS)
540 PRINT IND(I);
550 NEXT I:PRINT:GOTO 630
560 CLOSE:OPEN "I", 8,"VAR.NOM"
570 FOR I=I TO PT
580 INPUT 8,VS
590 VARS(I)=VS
600 PRINT VARS(I)
610 NEXT I:PRINT:GOTO 630
620 END
630 PRINT"AVEZ-VOUS TERMINE LA LECT.,TOUTE LA LECTURE(OUI/NON)?":INPUT NS
640 IF NS="OUI" THEN 620;ELSE IF NS="NON" THEN 150
650 PRINT"AVEZ-VOUS TERMINE LA SAISIE,TOUTE LA SAISIE(OUI/NON)?":INPUT NS
660 IF NS="OUI" THEN 70;ELSE IF NS="NON" THEN 90

```

```

10 'PROGRAMME IFRI.ACP:ETUDE DES INDIVIDUS
20 CLEAR,,500:DEFINT I-L,N-R:DEFSTR Z
30 CLS:PRINT "PROGRAMME IFRI.ACP"
40 DIM VE(70,10),M(70),VR(70),X(70),Y(70),R(70),RS(70),Q(70)
50 ZO=CHR$(10):Z4="      ":FIS="      ":FS="      "
60 'VE:VECTEURS PROPRES VR:RACINES CARREES DES VARIANCES
70 '
80 '      LECTURE DES PARAMETRES ET DES FICHIERS INTERMEDIAIRES
90 '
100 OPEN "I",1,"PARAMACP":INPUT I,Z,PT,P,PO,KM
110 FOR J=I TO P:INPUT I,R(J):NEXT J:INPUT I,PS:PP=P+PS
120 IF PS=0 THEN 140 ELSE INPUT I,ZI,QT:PI=P+I
130 FOR J=PI TO PP:INPUT I,R:R(J)=PT+R:NEXT J
140 INPUT I,IS:IF IS=2 THEN 160 ELSE INPUT I,Z2,RT
150 FOR J=I TO P:INPUT I,Q(J):NEXT J
160 CLOSE:OPEN "I",1,"MOY.DAT":OPEN "I",2,"VEC.DAT"
170 IF KM=1 THEN 190 ELSE OPEN "I",3,"VAR.DAT"
180 FOR I=I TO P:INPUT I,X:VR(I)=SQR(X):NEXT I
190 FOR I=I TO P:INPUT I,M(I)
200 FOR J=I TO PO:INPUT I,VE(I,J):NEXT J
210 NEXT I
220 '
230 '      MENU
240 '
250 CLS:CLOSE:PRINT TAB(30)"MENU";ZO
260 PRINT ZO;"EDITION DES RESULTATS";ZO
270 PRINT "INDIVIDUS PRIS EN COMPTE";TAB(40)"1"
280 PRINT "----- SUPPLEMENTAIRES";TAB(40)"2"
290 PRINT ZO;"SAUVEGARDE DES COORDONNEES";ZO
300 PRINT "INDIVIDUS PRIS EN COMPTE";TAB(40)"3"
310 PRINT "----- SUPPLEMENTAIRES";TAB(40)"4"
320 PRINT "TOUS LES INDIVIDUS";TAB(40)"5"

```

```

330 PRINT ZO;"GESTION DES IDENTIFICATEURS";TAB(40)"6"
335 PRINT "RETOUR A MENU.ACP";TAB(40)"7"
340 PRINT TAB(40)" ";:INPUT MENU
350 ON MENU GOTO 390,630,870,1010,870,1150,355,:GOTO 250
355 PRINT "RETOUR A MENU.ACP":RUN"MENU.ACP"
360 '
370 '     INDIVIDUS PRIS EN COMPTE:EDITION DES RESULTATS
380 '
390 LPRINT ZO;TAB(40)"INDIVIDUS PRIS EN COMPTE";ZO;ZO
400 LPRINT "IE COLONNE:COORDONNEES 2E COLONNE:COSINUS CARRE "
410 LPRINT ZO;"INDIVIDU  ";
420 FOR J=I TO PO:LPRINT USING F13;"AXE",J;:NEXT J:LPRINT ZO
430 N=0:OPEN "I",2,Z;'     LECTURE DES LIGNES DU TABLEAU Z
440 LINE INPUT "FICHIER DES IDENTIFICATEURS(SINON ENTER)? ";ZI
450 IF ZI "" THEN OPEN "I",I,ZI
460 PRINT "CALCUL SUR L'INDIVIDU";
470 IF EOF(2) THEN LPRINT :GOTO 250 ELSE N=N+I:PRINT TAB(40)N;
480 IF EOF(I) THEN ZN=STR$(N) ELSE INPUT I,ZN
490 ZN=RIGHT$(Z4+ZN,4)+" ";LPRINT ZN;
500 FOR I=I TO PT:INPUT 2,X(I):NEXT I
501 IF KM=I THEN FOR J=I TO P:Y(J)=X(R(J))-M(J):NEXT J
520 IF KM=2 THEN FOR J=I TO P:Y(J)=(X(R(J))-M(J))/VR(J):NEXT J
530 XN=0:FOR J=I TO P:XN=XN+Y(J)xY(J):NEXT J
540 FOR JO=I TO PO
550 X=0:FOR J=I TO P:X=X+Y(J)xVE(J,JO):NEXT J
560 Y=I:IF XN 0 THEN Y=XxX/XN
570 LPRINT USING F3;X,Y;:LPRINT " / ";
580 NEXT JO
590 GOTO 470
600 '
610 '     INDIVIDUS SUPPLEMENTAIRES:EDITION DES RESULTATS
620 '
630 IF IS=2 THEN LPRINT :GOTO 250 ELSE OPEN "I",2,ZI:N=0
640 LPRINT ZO;TAB(10)"INDIVIDUS SUPPLEMENTAIRES";ZO;ZO
650 LPRINT "IE COLONNE:COORDONNEE 2E COLONNE:COSINUS CARRE"
660 LPRINT ZO;"INDIVIDUS  ";
670 FOR J=I TO P:LPRINT USING F13;"AXE",J;:NEXT J:LPRINT ZO
680 LINE INPUT "FICHIER DES IDENTIFICATEURS (SINON ENTER) ?";ZI
690 IF ZI " " THEN OPEN "I",I,ZI
700 PRINT "CALCUL SUR L'INDIVIDU ";
710 IF EOF(2) THEN 250 ELSE N=N+I:PRINT TAB(40)N;
720 IF EOF(I) THEN ZN=STR$(N) ELSE INPUT I,ZN
730 ZN=RIGHT$(Z4+ZN,4)+" ";LPRINT ZO;ZN;
740 FOR J=I TO QT:INPUT 2,X(J):NEXT J
750 IF KM=I THEN FOR J=I TO P:Y(J)=X(Q(J))-M(J):NEXT J
760 IF KM=2 THEN FOR J=I TO P:Y(J)=(X(Q(J))-M(J))/VR(J):NEXT J
770 XN=0:FOR J=I TO P:XN=XN+Y(J)xY(J):NEXT J
780 FOR JO=I TO PO
790 X=0:FOR J=I TO P:X=X+Y(J)xVE(J,JO):NEXT J
800 Y=I:IF XN 0 THEN Y=XxX/XN
810 LPRINT USING F3;X,Y;:LPRINT " / ";
820 NEXT JO

```



```

830 GOTO 710
840 '
850 '     INDIVIDUS PRIS EN COMPTE:SAUVEGARDE DES COORDONNEES
860 '
870 CLS:LINE INPUT "FICHER DE SAUVEGARDE ?";ZS:OPEN "O",I,ZS
880 N=0:OPEN "I",2,Z:PRINT "CALCUL SUR L'INDIVIDU";
890 IF EOF(2) THEN 970 ELSE N=N+I:PRINT TAB(40)N;
900 FOR I=I TO PT:INPUT 2,X(I):NEXT I
910 IF KM=1 THEN FOR J=I TO P:Y(J)=X(R(J))-M(J):NEXT J
920 IF KM=2 THEN FOR J=I TO P:Y(J)=(X(R(J))-M(J))/VR(J):NEXT J
930 FOR JO=I TO PO
940 X=0:FOR J=I TO P:X=X+Y(J)xVE(J,JO):NEXT J:PRINT I,X;
950 NEXT JO
960 GOTO 890
970 IF MENU=3 THEN 250
980 '
990 '     INDIVIDUS SUPPLEMENTAIRES:SAUVEGARDE DES COORDONNEES
1000'
1010 IF IS=2 THEN 250
1020 CLOSE 2:OPEN "I",2,Z2:IF MENU=5 THEN 1040 ELSE N=0:CLOSE I
1030 CLS:LINE INPUT "FICHER DE SAUVEGARDE ?";ZS:OPEN "O",I,ZS
1040 IF EOF(2) THEN 250 ELSE N=N+I:PRINT TAB(40)N
1050 FOR J=I TO RT:INPUT 2,X(J):NEXT J
1060 IF KM=1 THEN FOR J=I TO P:Y(J)=X(Q(J))-M(J):NEXT J
1070 IF KM=2 THEN FOR J=I TO P:Y(J)=(X(Q(J))-M(J))/VR(J):NEXT J
1080 FOR JO=I TO PO
1090 X=0:FOR J=I TO P:X=X+Y(J)xVE(J,JO):NEXT J:PRINT I,X;
1100 NEXT JO
1110 GOTO 1040
1120 '
1130 '     GESTION DES IDENTIFICATEURS
1140 '
1150 IF IS=2 THEN 250
1160 PRINT "CONCATENATION DES FICHERS D'IDENTIFICATEURS";
1170 PRINT "EN VUE DE REPRESENTATIONS GRAPHIQUES";
1180 PRINT "FICHERS DES IDENTIFICATEURS"
1190 LINE INPUT "DES INDIVIDUS ACTIFS ?";ZV
1200 LINE INPUT "DES INDIVIDUS SUPPLEMENTAIRES ? ";ZS
1210 LINE INPUT "DE SAUVEGARDE DE LA TOTALITE ? ";ZT
1220 OPEN "I",I,ZV:OPEN "I",2,ZS:OPEN "O",3,ZT
1230 IF EOF(1) THEN 1250 ELSE INPUT I,ZN
1240 PRINT 3,ZN;",";:GOTO 1230
1250 IF EOF(2) THEN 250 ELSE INPUT 2,ZN
1260 PRINT 3,ZN;",";:GOTO 1250

```

```

10 'PROGRAMME AAZUZU.ACP:ETUDE DES VARIABLES
20 CLS: CLEAR,, IOOO:DEFINT I-L,N-R:DEFSTR Z:'ON ERROR GOTO IO50
30 DIM VE(70,70),VA(70),VR(70),C(20,70),R(70)
40 ZO=CHR$(IO):Z4="      ":FIS=" / /      ":FJ=" . "
50 '   VE:TABLEAU DES VECTEURS PROPRES (EN COLONNE)
60 '   VR:RACINES CARREES DES VARIANCES
70 '   VA:RACINES CAREES DES VALEURS PROPRES
80 '   CS:COVARIANCES ENTRE VARIABLES SUPPLEMENTAIRES ET ACTIVES
90 '
100 '   LECTURE DES PARAMETRES ET DES FICHIERS INTERMEDIAIRES
110 '
120 OPEN "I",I,"PARAMACP":INPUT I,Z,PT,P,PO,KM
130 FOR J=I TO P:INPUT I,R(J):NEXT J:INPUT I,PS:CLOSE
140 OPEN "I",I,"VAL.DAT":OPEN "I",2,"VEC.DAT"
150 IF KM=2 THEN I70 ELSE OPEN "I",3,"VAR.DAT"
160 FOR I=I TO P:INPUT 3,X:VR(I)=SQR(X):NEXT I
170 FOR I=I TO P:FOR J=I TO PO:INPUT 2,VE(I,J):NEXT J:NEXT I
180 INPUT I,TR:FOR J=I TO PO:INPUT I,X:VA(J)=SQR(X):NEXT J
190 CLOSE:IF PS=0 THEN 270 ELSE OPEN "I",I,"COVAR.DAT"
200 '   POSITIONNEMENT DU POINTEUR
210 FOR I=I TO Px(P+I)x.5:INPUT I,X:NEXT I
220 '   LECTURE DES COVARIANCES ENTRE I =I =PS ET I =J =P
230 FOR I=I TO PS:FOR J=I TO P:INPUT I,C(I,J):NEXT J:NEXT I
240 '
250 '           MENU
260 '
270 CLS:CLOSE:PRINT TAB(30)"MENU";ZO
280 PRINT ZO;"EDITION DES RESULTATS";ZO
290 PRINT "VARIABLES PRISES EN COMPTE ";TAB(40)"I"
300 PRINT " ----- SUPPLEMENTAIRES ";TAB(40)"2"
310 PRINT ZO;"SAUVEGARDE DES COORDONNEES";ZO
320 PRINT "VARIABLES PRISES EN COMPTE";TAB(40)"3"
330 PRINT " ----- SUPPLEMENTAIRES";TAB(40)"4"
340 PRINT "TOUTES LES VARIABLES";TAB(40)"5"
350 PRINT:PRINT "GESTION DES IDENTIFICATEURS";TAB(40)"6"
355 PRINT "RETOUR A MENU.ACP";TAB(40)"7"
360 PRINT TAB(40)"";:INPUT MENU
370 ON MENU GOTO 420,590,770,870,770,960,380:GOTO 270
380 RUN"MENU.ACP"
390 '
400 '   VARIABLES PRINCIPALES:EDITION DES RESULTATS
401 '
420 LPRINT ZO;TAB(IO)"VARIABLES PRISES EN COMPTE";ZO;ZO
430 LPRINT "IE COLONNE:COORDONNEES 2ECOLONNE:COSINUS CARREES"
440 LPRINT ZO;"VARIABLES";" ";
450 FOR J=I TO PO:LPRINT USING FIS;"AXE",J;:NEXT J:LPRINT ZO
460 LINE INPUT "FICHIER DES IDENTIFICATEURS (SINON ENTER) ?";ZV
470 IF ZV "" THEN OPEN "I",3,ZV
480 FOR J=I TO P:IF EOF(3) THEN ZN=STR$(J) ELSE INPUT 3,ZN
490 ZN=RIGHT$(Z4+ZN,4)+" ";LPRINT:LPRINT ZN;
500 FOR JO=I TO PO:XO=VE(J,JO)xVA(JO):' METRIQUE CANONIQUE
510 IF KM=I THEN XO=XO/VR(J):' METRIQUE NORMEE
520 XI=XOxXO:LPRINT USING FJ;XO,XI;:LPRINT "/";
530 NEXT JO
540 NEXT J

```

```

550 LPRINT ZO;GOTO 270
560 '
570 '   VARIABLES SUPPLEMENTAIRES;EDITION DES RESULTATS
580 '
590 IF PS=0 THEN 270
600 LPRINT ZO;TAB(IO)"VARIABLES SUPPLEMENTAIRES";ZO;ZO
610 LPRINT "1E COLONNE;COORDONNEES 2E COLONNE: COSINUS CARRES"
620 LPRINT ZO;"VARIABLES";"   ";
630 FOR J=I TO PO:LPRINT USING F1%;"AXE",J;:NEXT J:LPRINT ZO
640 LINE INPUT "FICHIER DES IDENTIFICATEURS (SINON ENTER) ? ";ZV
650 IF ZV "" THEN OPEN "I",3,ZV
660 FOR I=I TO PS:IF EOF(3) THEN ZN=STR$(I) ELSE INPUT 3,ZN
670 ZN=RIGHT$(Z4+ZN,4)+"   ":LPRINT ZO;ZN;
680 FOR JO=I TO PO;XO=0
690 FOR J=I TO P;XO=XO+VE(J,JO)xC(I,J)/VA(JO);NEXT J;XI=XOxXO
700 LPRINT USING F3%;XO,XI;:LPRINT "/";
710 NEXT JO
720 NEXT I
730 LPRINT ZO;GOTO 270
740 '
750 '   TRAITEMENT DES VARIABLES PRINCIPALES REDUITES
760 '
770 CLS;LINE INPUT "FICHIER DE SAUVEGARDE ? ";ZS;OPEN "O",I,ZS
780 FOR I=I TO P;FOR JO=I TO PO
790 X=VE(I,JO)xVA(JO);'   METRIQUE NORMEE
800 IF KM=I THEN X=X/VR(I);' METRIQUE CANONIQUE
810 PRINT I,X;
820 NEXT JO;NEXT I
830 IF MENU=3 THEN 270
840 '
850 '   TRAITEMENT DES VARIABLES SUPPLEMENTAIRES
860 '
870 IF PS=0 THEN 270 ELSE IF MENU=5 THEN 890
880 CLOSE;LINE INPUT "FICHIER DE SAVEGARDE ? ";ZS;OPEN "O",I,ZS
890 FOR I=I TO PS;FOR JO=I TO PO;XO=0
900 FOR J=I TO P;XO=XO+VE(J,JO)xC(I,J)/VA(JO);NEXT J;PRINT I,XO;
910 NEXT JO;NEXT I
920 GOTO 270
930 '
940 '   GESTION DES IDENTIFICATEURS
950 '
960 IF PS=0 THEN 270
970 CLS;PRINT "CONCATENATION DES FICHIERS D'IDENTIFICATEURS";
980 PRINT "EN VUE DE REPRESENTATIONS GRAPHIQUES";
990 PRINT "FICHIERS DES IDENTIFICATEURS"
1000 LINE INPUT "DES VARIABLES ACTIVES ? ";ZV
1010 LINE INPUT "DES VARIABLES SUPPLEMENTAIRES ? ";ZS
1020 LINE INPUT "DE SAUVEGARDE DE LA TOTALITE ? ";ZT
1030 OPEN "I",I,ZV;OPEN "I",2,ZS;OPEN "O",3,ZT
1040 IF EOF(1) THEN 1060 ELSE INPUT 1,ZN
1050 PRINT 3,ZN;";";:GOTO 1040
1060 IF EOF(2) THEN 270 ELSE INPUT 2,ZN
1070 PRINT 3,ZN;";";:GOTO 1060
1080 CLOSE;RESUME 270

```

```

10 'PROGRAMME LXIRIW.ACP:CERCLE DE CORELATION ENTRE VARIABLES
20 'AXES ORTHONORMES POUR 10 COL. ET 6 LIGNES PAR POUCE
30 CLEAR,,8000:EH=10/6:'POUR CHANGER MODIFIER LA VALEUR DE EH.
40 DEFINT I,J,N,P:DEFSTR Z:ZI=STRING$(I25," ")
50 DIM Z(60),Y(250,2),X((50),ZN(250)
60 '
70 '          SAISIE DES PARAMETRES AU CLAVIER
80 '
90 ZC=" ":ZI=" ":CLS:PRINT "FICHIERS CONTENANT "
100 LINE INPUT "LES COORDONNEES ?";ZC
110 LINE INPUT "LES IDENTIFICATEURS (SINON ENTER) ? ";ZI
120 PRINT "NOMBRE DE COLONNES DANS ";ZC;:INPUT " ";P
130 INPUT "NOMBRE DE CARACTERES DES IDENTIFICATEURS";NK
140 INPUT "RANGS DES COLONNES CONSIDEREES";JI,J2
150 '
160 '          LECTURE DES FICHIERS
170 '
180 N=0:CLS:PRINT "PLAN "JI;J2,"AXE";JI;"HORIZONTALE"
190 ZK=STRING$(NK," "):OPEN "I",I,ZC:IF ZI "" THEN OPEN "I",2,ZI
200 IF EOF(1) THEN 230 ELSE FOR J=1 TO P:INPUT I,X(J):NEXT J
210 N=N+1:IF EOF(2) THEN ZN(N)="V"+STR$(N) ELSE INPUT 2,ZN(N)
220 Y(N,1)=X(J1):Y(N,2)=X(J2):GOTO 200
230 CLOSE:JC=52:IC=INT(JC/EH):FOR J=0 TO 60:Z(J)=ZI:NEXT J
240 '
250 '          POSITIONNEMENT DES CARACTERS ET TRACE DU CERCLE
260 '
270 FOR I=1 TO N
280 J1=INT(Y(I,1)x50)+JC:J2=INT(Y(I,2)x50/EH)+IC
290 IF MID$(Z(J2),J1-1,NK)=ZK THEN MID$(Z(J2),J1-1,NK)=ZN(I)
300 NEXT I
310 FOR I=1 TO 61
320 JS=SQR(2500-(I-IC)x(I-IC)xEHxEH):K1=JC-JS:K2=JC+JS:IO=I-I
330 IF MID$(Z(IO),K1,I)="" THEN MID$(Z(IO),K1,I)=""
340 IF MID$(Z(IO),K2,I)="" THEN MID$(Z(IO),K2,I)=""
350 IF MID$(Z(IO),JC,I)="" THEN MID$(Z(IO),JC,I)=""
360 NEXT I
370 FOR J=3 TO IO1
380 IF MID$(Z(IC),J,I)="" THEN MID$(Z(IC),J,I)=""
390 NEXT J
400 FOR I=60 TO 0 STEP -1:LPRINT Z3;Z(I):NEXT I:CLS:GOTO I40

```

```

10 'PROGRAMME "ITHBIR.ACP":DIAGONALISATION DE LA MATRICE ZI
20 'ALGORITHME DE GIVENS HOUSEHOLDER
30 OPTION BASE 0
40 CLS: CLEAR,,1000:DEFSTR Z:ZO=CHR$(10)
50 EPSILON=.000001
60 PRINT "PROGRAMME ITHBIR.ACP":DIM A(70,70),U(70),V(70),W(70),S(70),Q(70),
UK(70,71),KU(30,50),X(30,50)
70 '=====LECTURE DES PARAMETRES ET DE LA MATRICE A DIAGONALISER=====
80 OPEN "I",1,"DIAGONAL.PAR":INPUT I,ZP:PRINT "PROG. ENCHAINE ";ZP
90 IF EOF(I) THEN CLOSE:RUN ZP ELSE INPUT I,P,PS,PO,ZI,Z2,Z3
100 OPEN "I",2,ZI:PRINT "DIAGONALISATION DE ";ZI:PT=P+PS
110 FOR J=I TO PT:FOR I=I TO J:PRINT 2,A(J,I):NEXT I:NEXT J
120 TR=0:FOR J=I TO P:TR=TR+A(J,J):NEXT J
130 CLOSE 2:IF P=I THEN 770
140 N=P:FOR I=I TO P:FOR J=I TO P:A(I,J)=A(J,I):UK(I,J)=A(I,J):UK(J,I)=UK(I,J)
:KU(I,J)=A(I,J):KU(J,I)=KU(I,J):NEXT J:NEXT I
150 GOSUB I320
160 '=====TRIDIAGONALISATION PAR LA METHODE DE HOUSEHOLDER=====
170 K=I
180 ANORM=0
190 FOR I=K+2 TO N:ANORM=ANORM+ABS(A(I,K))^2:NEXT I
200 IF ANORM=0 THEN 460
210 ANORM=SQR(ANORM):FOR I=I TO K:V(I)=0:W(I)=0:NEXT I
220 ANORM=SQR(ANORM):FOR I=I TO K:V(I)=0:W(I)=0:NEXT I
230 V(K+1)=A(K+1,K)+SGN(A(K+1,K))xANORM
240 FOR I=K+2 TO N:V(I)=A(I,K):NEXT I
250 VNORM=0
260 FOR I=K+1 TO N:VNORM=VNORM+V(I)^2:NEXT I
270 VNORM=SQR(VNORM)
280 FOR I=K+1 TO N:FOR J=K+1 TO N:W(I)=V(I)/VNORM:NEXT J:NEXT I
290 FOR I=I TO N:U(I)=0:FOR J=K+1 TO N:U(I)=U(I)+A(I,J)xW(J):NEXT J
300 U(I)=U(I)x2
310 NEXT I
320 FOR I=K+1 TO N
330 SUM=0
340 FOR L=K+1 TO N
350 TERM=0
360 FOR J=K+1 TO N:TERM=TERM+A(L,J)xW(J):NEXT J
370 SUM=SUM+W(L)xTERM
380 NEXT L
390 U(I)=U(I)-2xW(I)xSUM
400 NEXT I
410 A(K+1,K)=-SGN(A(K+1,K))xANORM:A(K,K+1)=A(K+1,K)
420 FOR I=K+2 TO N:A(I,K)=0:A(K,I)=0:NEXT I
430 FOR I=K+1 TO N
440 FOR J=K+1 TO I:A(I,J)=A(I,J)-W(I)xU(J)-U(I)xW(J):A(J,I)=A(I,J):NEXT J
450 NEXT I
460 K=K+1:IF K =N-2 THEN I80
470 GOSUB I320
480 FOR I=I TO P-1:U(I)=A(I,I):W(I)=A(I,I+1):NEXT I:U(P)=A(P,P)
490 NORM=ABS(U(I))+ABS(W(I))
500 IF NORM (ABS(U(P))+ABS(W(P-I))) THEN NORM=ABS(U(P))+ABS(W(P-I))
510 FOR I=2 TO P-I:NO=(ABS(W(I-I))+ABS(U(I))+ABS(W(I))):IF NORM NO THEN
NORM=0
520 NEXT I

```

```

530 AO=-NORM;BO=NORM;K=PDIV 2
540 L=K;GOSUB 920;AO=-NORM
550 FOR L=I TO K-I;BO=V(K);GOSUB 920 ;AO=V(L);NEXT L
560 FOR L=K+I TO P;AO=V(L-I);BO=NORM;GOSUB 920
570 NEXT L
580 PRINT
590 BEEP
600 PRINT "VALEURS PROPRES"
610 PRINT
620 FOR I=I TO P;PRINT V(I);NEXT I;V(P+I)=V(P)+I;PRINT
630 '-----INVERSE POWER METHOD;RESOLUTION DE ((A-Lambda I)xX=b)-----
640 FOR M=I TO P
641 L=V(M)-.000I
642 FOR I=I TO P;U(I)=0
643 FOR J=I TO P
644 IF I=J THEN V=I ELSE V=0
645 A(I,J)=KU(I,J)-LxV
646 NEXT J
647 NEXT I
648 U(I)=IE-I0
670 FOR T=I TO 5
671 FOR I=I TO P
672 UK(I,P+I)=U(I)
673 FOR J=I TO P
674 UK(I,J)=A(I,J);PRINT UK(I,J)
675 NEXT J,I
680 GOSUB IO60
700 NEXT T
701 U=SQR(U)
702 FOR I=I TO P;X(I,M)=U(I)/U;NEXT I
710 '-----AFFICHAGE DES RESULTATS-----
720 PRINT "SOLUTIONS DU SYSTEME";BEEP
730 FOR I=I TO P;PRINT USING " . " ;X(I,M);NEXT I
735 IF M=P THEN 760
740 PRINT"POUR CALCULER LE PROCHAIN VEC. PRO. APPUYER SUR UNE TOUCHE"
750 ZA=INKEY$;IF ZA="" THEN 750
760 NEXT M
770 '-----PROCEDURE DE SAUVEGARDE-----
771 PRINT;PRINT "PROCEDURE DE SAUVEGARDE"
772 PRINT "VALEURS PROPRES SUR ";Z3
773 PRINT "VECTUEURS PROPRES SUR ";Z2
774 OPEN "O",3,Z3;OPEN "O",2,Z2
775 PRINT 3,TR;;FOR J=I TO PO:PRINT 3,V(J);:NEXT J
776 FOR I=I TO P;FOR J=I TO PO:PRINT 2,X(I,J);:NEXT J;NEXT I
777 CLOSE 2,3;GOTO 90;'DIAGONALISATION DE LA MATRICE SUIVANTE
778 END
780 PRINT"SYSTEME LINEAIRE A MATRICE SINGULIERE"
800 END
810 '-----CALCUL DU NOMBRE DE VALEURS PROPRES INF. A UNE VAL. DONNEE-----
820 NB=0;MU=MILIEU;Q(0)=-I;S(0)=-I;Q(I)=U(I)-MU;S(I)=SGN(Q(I))
830 IF S(I)=0 THEN S(I)=-I
840 IF S(0)xS(I)=-I THEN NB=NB+I

```

```

850 FOR J=2 TO P:Q(J)=(U(J)-MU)*Q(J-I)-W(J-I)^2*Q(J-2)
860 S(J)=SGN(Q(J))
870 IF S(J)=0 THEN S(J)=SGN(Q(J-I))
880 IF S(J-I)*S(J)=-1 THEN NB=NB+1
890 NEXT J
900 NBRE=NB
910 RETURN
920 '=====  

930 WHILE ABS(AO-BO) > EPSILON:MILIEU=(AO+BO)/2
940 GOSUB 810
950 IF NBRE < L THEN AO=MILIEU ELSE BO=MILIEU
960 WEND
970 V(L)=(AO+BO)/2
980 RETURN
1060 FOR K=I TO P-I:'=====  

1070 MAX=-1:L=0
1080 FOR L=K TO P:IF (UK(L,K)) < 0 AND (ABS(UK(L,K)) > MAX) THEN L=L+1:MAX=ABS(UK(L,K))
1090 NEXT L
1100 IF L=0 THEN 780
1110 IF L=K THEN 1130
1120 FOR J=K TO P+1:MAX=UK(L,J):UK(L,J)=UK(L,J):UK(L,J)=MAX:NEXT J
1130 FOR I=K+1 TO P
1140 FOR J=K+1 TO P+1
1150 UK(I,J)=UK(I,J)-UK(I,K)*UK(K,J)/UK(K,K)
1160 NEXT J
1170 NEXT I
1180 NEXT K
1190 '=====  

1200 IF UK(P,P)=0 THEN 780
1210 UK(P,P+1)=UK(P,P+1)/UK(P,P):U(P)=UK(P,P+1):U=0
1220 U=U(P)^2
1230 FOR I=P-1 TO I STEP -1
1240 FOR J=I+1 TO P:UK(I,P+1)=UK(I,P+1)-UK(I,J)*UK(J,P+1):NEXT J
1250 UK(I,P+1)=UK(I,P+1)/UK(I,I):U(I)=UK(I,P+1)
1260 U=U+U(I)^2
1270 NEXT I
1275 FOR I=I TO P:FOR J=I TO P+1:PRINT UK(I,J):NEXT J:NEXT I
1280 RETURN
1320 FOR I=I TO P:FOR J=I TO P:PRINT USING " . " ;A(I,J):NEXT J:PRINT:
NEXT J:PRINT
1330 RETURN

```

Bibliographie

- 1/ Article de Mr ALBA
- 2/ A introduction to multivariate statistical analysis T.W. ANDERSON
- 3/ Analyse factorielle T. Foucart
- 4/ Analyse statistique à plusieurs variables Pierre Dagnelie
- 5/ Introduction à l'analyse numérique matricielle et à l'optimisation
P. G. Ciarlet
- 6/ Méthodes statistiques appliquées à la gestion
Anne-Marie Dussaix et Jean-Pierre Indjezagopian
- 7/ Mécanique des sols George Filiad
- 8/ Les lêtous Interminieux bulletin de liaison des laboratoires de ponts et
chaussées.
- 9/ Nouveau traité de matériaux de construction M. Duriez et J. Arrambide
- 10/ Les divers Documents SETRA

