LES CAHIERS DE L'ANALYSE DES DONNÉES

A. KOUTSANDRÉAS
K. NIKOLAOU
P. MASCLET
G. MOUVIER

Analyse des pollutions en hydrocarbures polyaromatiques dans l'air

Les cahiers de l'analyse des données, tome 8, n° 3 (1983), p. 371-380

<http://www.numdam.org/item?id=CAD_1983__8_3_371_0>

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1983, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Les cahiers de l'analyse des données » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (http://www.numdam.org/conditions). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM
Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
http://www.numdam.org/

Les Cahiers de l'Analyse des Données
Vol. VIII - 1983 - n° 3 - p. 371-380

ANALYSE DES POLLUTIONS EN HYDROCARBURES POLYAROMATIQUES DANS L'AIR

[POLLUTION HYDROCARBURE]

par A. Koutsandréas (1), K. Nikolaou (2), P. Masclet (2), G. Mouvier (2)

0 *Introduction*

Les hydrocarbures polyaromatiques (HPA) sont émis dans l'atmosphère par les réactions à haute température, comme la combustion incomplète et la pyrolyse de matériaux organiques. Des études épidémiologiques ainsi que des études en laboratoire ont montré que les HPA se caractérisent par des propriétés cancérigènes et mutagènes.

De 70 à 90% des HPA totaux sont adsorbés sur des particules en suspension dans l'air, le reste étant en phase gazeuse. De plus , la majorité des HPA est adsorbée sur des particules de dimensions inférieures à 5 µm c'est-à-dire des particules qui correspondent à la fraction respirable des aérosols et qui se déposent dans le système broncho-pulmonaire de l'homme.

La présente étude a pour but d'établir des relations entre les HPA adsorbés sur des particules en suspension dans l'atmosphère et les différentes tranches horaires en divers saisons et sites de mesures.

Particulièrement, en connaissant l'origine des quelques HPA [1] qui sont les plus abondants dans les émissions de certaines sources et en connaissant également *grosso modo* le type de pollution pour chaque saison (ou mois) nous essaierons par l'analyse factorielle des correspondances d'identifier les sources qui interviennent à certaines tranches horaires.

Nous voulons, non seulement caractériser le type de pollution du point de vue des sources pour chaque site et saison (caractérisation des axes) mais également, mais surtout déterminer le type de pollution pour les différentes tranches horaires.

1 *Présentation des données*

Sur l'ensemble des HPA existants, nous en avons mesuré et examiné 16 qui sont parmi les plus dangereux pour la santé. En voici la liste avec leurs sigles :

FLE : Fluorène	BEP : Benzo(e) Pyrène
PHE : Phenanthène	BKF : Benzo(k) Fluoranthène
ANT : Anthracène	BAP : Benzo(a) Pyrène
FLA : Fluoranthène	DBA : Di Benzo(ah) Anthracène
PYR : Pyrène	PER : Perylène
BAA : Benzo(a) Anthracène	BGHP: Benzo(ghi) Perylène
CHR : Chrysène	INPY: Indeno Pyrène
BBF : Benzo(b) Fluoranthène	CORO: Coronène

(1) *Laboratoire de statistique. Université Pierre et Marie Curie.*

(2) *Laboratoire de Physicochimie Instrumentale de l'Université Paris 7.*

Ensuite on considère quatre variables susceptibles de jouer un rôle essentiel dans la destruction et la conservation des composés au cours du temps. Ce sont :

TSP : Particules Totales en Suspension dans l'air
LUX : Intensité de la lumière
TEMP : Température
HURE : Humidité Relative.

Comme on le verra dans la suite ces variables seront codées et fourniront finalement des éléments supplémentaires à l'ensemble J.

1.2 L'ensemble J : Des séries de mesures, différant du point de vue de la saison et des sources de pollution, ont été utilisées comme éléments de l'ensemble J. Pour chaque série le nombre de mesures varie selon les possibilités techniques et les conditions météorologiques pendant chaque échantillonnage. Donc notre ensemble J est constitué par 15 groupes (séries) de mesures, dont chacun peut contenir de 1 à 11 quantités. La méthode d'échantillonnage et d'analyse est décrite ailleurs [2].

On a cinq séries de mesures concernant l'air d'une région urbaine à l'altitude de 20 m. (toit de l'Université à Jussieu), et une aussi en région urbaine, mais au niveau du sol (Place Jussieu, altitude 1.80 m.). Ce sont les suivantes :

(1) Novembre (5 mesures) hauteur 20 m. :
09NJ, 11NJ, 13NJ, 15NJ, 17NJ

(2) Décembre (9 mesures) hauteur 20 m. :
08DJ, 09DJ, 10DJ, 11DJ, 13DJ, 15DJ, 17DJ, 18DJ, 19DJ

(3) Janvier (7 mesures) hauteur 20 m. :
08JJ, 09JJ, 10JJ, 12JJ, 14JJ, 16JJ, 17JJ

(4) Mars (11 mesures, sur 24 heures) hauteur 20 m. :
20MJ, 22MJ, 24MJ, 03MJ, 06MJ, 08MJ, 10MJ, 12MJ, 14MJ, 16MJ, 18MJ

(5) Septembre (11 mesures sur 24 heures) hauteur 10 m. :
20SJ, 22SJ, 24SJ, 03SJ, 06SJ, 08SJ, 10SJ, 12SJ, 14SJ, 16SJ, 18SJ

(6) Février (5 mesures) hauteur 1.80 m. :
08FJ, 10FJ, 12FJ, 14FJ, 16FJ.

Ici on peut remarquer que dans les quatre premières séries, les sources qui contribuent de façon prédominante sont, le chauffage domestique et la circulation des véhicules tandis que, dans la cinquième et la dernière série , la source de pollution provient des véhicules.

- Deux séries de mesures concernant une autoroute (Autoroute de l'Ouest), A13) ont été faites au même endroit mais pendant deux mois où la configuration du bois (Forêt de Marly-le Roi) qu'elle traverse est différente. C'est-à-dire que pour l'hiver le bois formait un champ ouvert, parce que les arbres sans feuillage permettaient la dispersion des composés dans la direction du vent ; tandis que pendant le mois de juin, outre les conditions météorologiques différentes, on n'a eu de dispersion que suivant la direction de la route.

Donc nous avons :

(1) Juin (5 mesures)
11JA, 12JA, 13JA, 15JA, 16JA

(2) Décembre (4 mesures)
11DA, 12DA, 13DA, 14DA

- Une autre série a été faite au mois de février dans le parking de l'université à Jussieu :

Février parking (7 mesures)

08FP, 09FP, 10FP, 12FP, 14FP,16FP, 17FP.

- Une série a été encore effectuée dans un garage de véhicules à moteur Diesel (garage des autobus). Un premier groupe de mesures est effectué le matin à l'heure où tous les véhicules sortent (démarrage à froid) DSM1, DSM2 ; et le deuxième (DSS1, DSS2) concerne le retour des autobus au garage (fonctionnement normal du moteur).

- Cinq autres séries de mesures sont consacrées à l'étude de l'air d'une région industrielle : émissions de l'usine d'incinération des déchets à Ivry (USIV) ; des émissions de la centrale électrique à charbon d'EDF à Beaumont sur Oise (CEDF) ; de la fonderie de Talbot à Bondy (FTA1, FTA2), dans les sections A1, A2 ; enfin de la raffinerie de pétrole (PRL1, PRL2) et de l'usine d'engrais (PRL3) installées dans l'unité d'ELF à Nangis.

- A titre d'exemple pour le transport des polluants nous citons une mesure faite à la forêt de Rambouillet considérée comme un site éloigné des sources de pollution (CAMP).

Toutes les mesures ont été faites de façon à éliminer l'influence du facteur de transport des polluants par le vent : en effet , la vitesse du vent était toujours inférieure à 3-4 m/s..

Les jours de prélèvement ont été choisis de façon à obtenir une circulation habituelle des véhicules : ainsi les week-ends et les jours fériés ont été exclus.

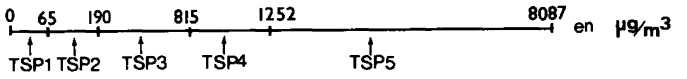
Les chiffres qui apparaissent dans les différents codes montrent la tranche horaire de mesure. Par exemple 10DJ = mesure pendant une heure après 10 heures en décembre à Jussieu.

NB : sur les graphiques les lettres sont remplacées par un symbole : carré , triangle ; etc.

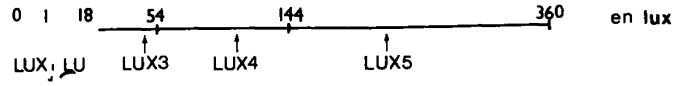
2 *Codage des données et tableaux analysés*

On obtient un tableau continu K_{IJ} ayant pour chaque ligne (composé) i la quantité en ng/m^3 que l'on mesure pour chaque tranche horaire j . Nous avons comme on l'a déjà dit dosé 16 composés sur 76 prélèvements d'air. Mais on a remarqué que les autres variables TSP, LUX, TEMP, HURE, éléments de l'ensemble I (Card I = 20), sont des variables hétérogènes. Il s'impose donc d'adopter un codage logique sous forme disjonctive complète. L'intervalle de variation de chaque variable est divisé en une suite d'intervalles consécutifs. On a pour chaque variable les modalités suivantes :

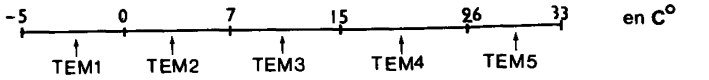
TSP (particules totales en suspension dans l air)



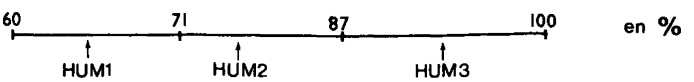
LUX (Intensite de la lumière)



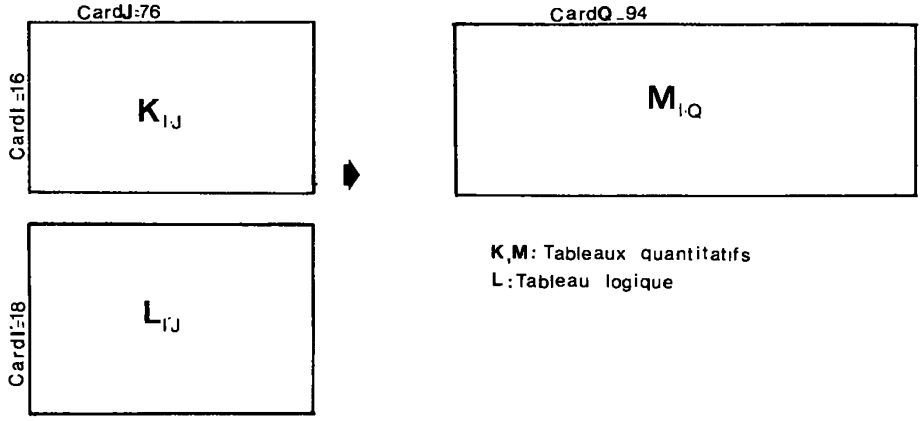
TEMP (temperature)



HURE (humidité relative)



Après avoir découpé les quatre variables hétérogènes en classes on obtient un tableau $L_{I',J}$ sous forme disjonctive complète de dimension I8×76 (Card I = 18 , Card J = 76) qui est la suite du tableau initial.



A partir de ces tableaux on peut obtenir une matrice quantitative $M_{P,Q}$ qui aura comme ensemble I le même ensemble que la matrice K tandis que Q sera l'union de J et I' : $Q = J \cup I'$.

Comme Card Q = Card J + Card I'

Pour produire ce tableau il suffit de multiplier chaque ligne i' du tableau L par toutes les lignes i du tableau K : chaque ligne i' de I' donne une colonne formée d'éléments associés aux lignes i du tableau K. De façon précise, pour chaque élément (i,q) du tableau créé on a :

$$M(i,q) = \begin{cases} K(i,j) \quad , \quad \text{si} \quad q \in Q \quad ; \\ \Sigma\{\ell(q,j) \times K(i,j) \mid j \in J\}, \ \text{si} \ q \in I'. \end{cases}$$

Donc notre tableau final possède 16 lignes et 94 colonnes dont les 18 dernières sont à mettre en supplémentaires.

3 *Analyses et interprétations*

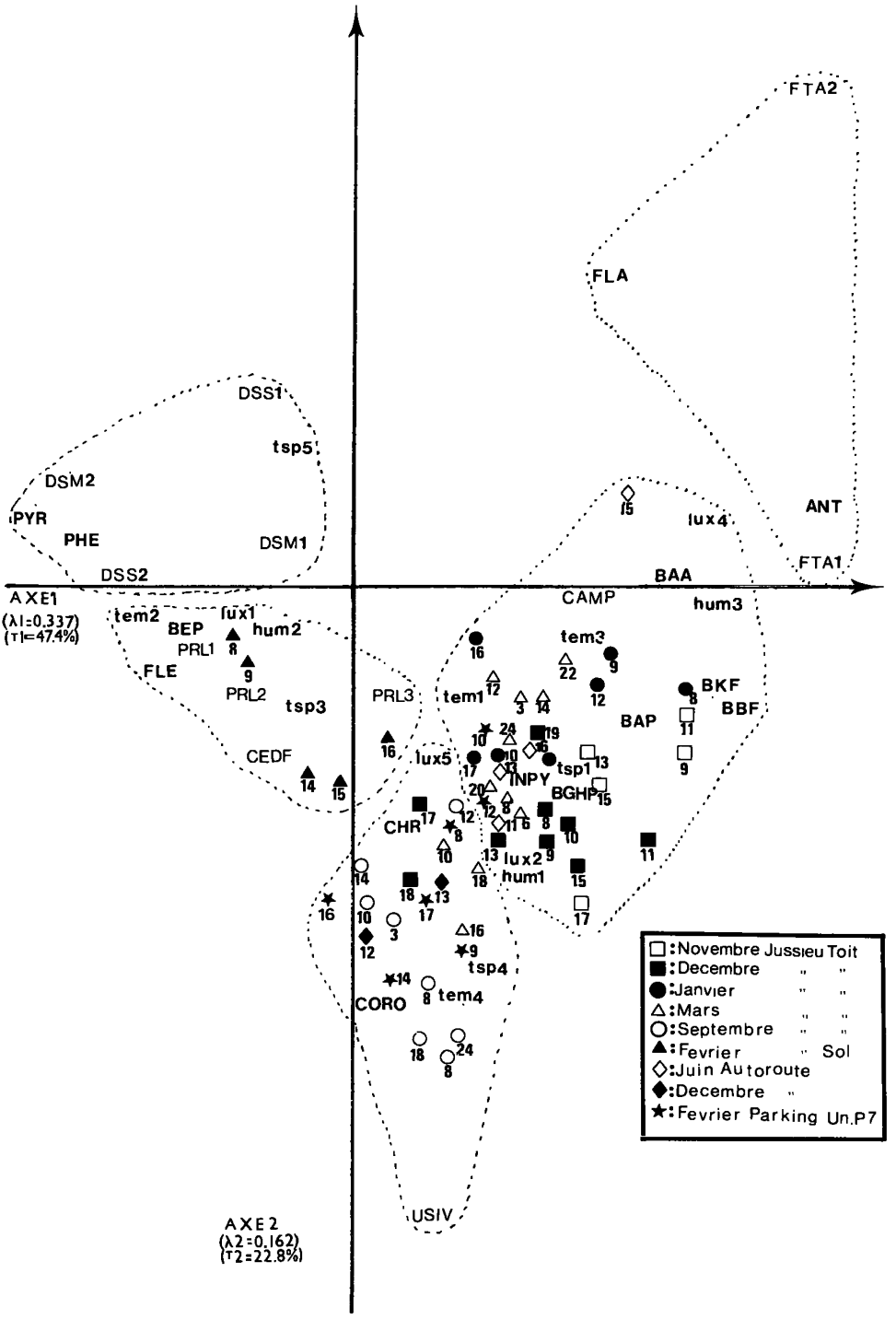
3.1 *Analyse 1 : Totalité des données*

En étudiant l'ensemble des données [3], nous avons établi un tableau qui se compose de 16 lignes qui représentent les hydrocarbures polyaromatiques et de 76 colonnes correspondant aux différentes tranches horaires en saisons et sites variés. On a aussi 18 colonnes en supplémentaires qui représentent les variations du TSP et les conditions météorologiques.

La projection des deux nuages sur le plan des deux premiers axes factoriels révèle des différenciations très importantes (Figure 1).

Du côté négatif de l'axe horizontal 1 se situent les véhicules à moteur diesel avec la raffinerie de pétrole et la centrale électrique à charbon qui s'associent à PYR et à PHE (suivis de FLE et BEP) composés très abondants dans leurs émissions et communs pour les trois différentes sources.

A ces éléments s'opposent nettement la fonderie et les sources urbaines : chauffage domestique et véhicules, reliées à FLA (composé commun et abondant dans leurs émissions) ; et le reste des HPA se situant du côté positif de l'axe 1.


FTA2
FLA
DSS1
tsp5
DSM2
PYR
PHE
DSM1
DSS2
ANT
lux4
FTA1
BAA
AXE1
(λ1=0.337)
(τ1=47.4%)
CAMP
hum3
tem2
lux1
BEP
hum2
PRL1
FLE
PRL2
tsp3
PRL3
tem1
tem3
BKF
BBF
BAP
CEDF
lux5
tsp1
INPY
BGHP
CHR
lux2
hum1
tsp4
CORO
tem4
USIV
AXE2
(λ2=0.162)
(τ2=22.8%)
□:Novembre Jussieu Toit
■:Decembre " "
●:Janvier " "
△:Mars " "
○:Septembre " "
▲:Fevrier " Sol
◇:Juin Autoroute
◆:Decembre "
★:Fevrier Parking Un.P7

Nous observons que deux tranches horaires une en décembre sur l'autoroute (14DA) et une autre en février à la place Jussieu , niveau du sol (8FJ) se trouvent du côté négatif de l'axe 1, et elles sont associées aux véhicules à moteur diesel. Ce résultat montre la forte présence de véhicules à diesel pour ces tranches horaires à la place Jussieu et sur l'autoroute pour les journées considérées.

Par contre les mesures faites en forêt s'associent avec les sources urbaines du côté positif de l'axe 1.

Les émissions de la fonderie et des véhicules à diesel se placent ensemble du côté positif de l'axe vertical 2, dans ce même plan (figure 1) et s'associent avec le FLA qui est leur composé commun et abondant.

Ces éléments s'opposent à l'ensemble des mesures faites aux sites où les véhicules à essence contribuent à la pollution atmosphérique (Jussieu, parking de l'université , autoroute, environs de l'usine d'incinération) associés à leur composé caractéristique : CORO qui est très abondant seulement dans leurs émissions ; et ils se placent au côté négatif de l'axe 2.

En ce qui concerne les éléments supplémentaires nous noterons seulement que la modalité supérieure du TSP (TSP5) (fortes concentration de particules en suspension) est liée aux véhicules à moteur diesel du côté négatif de l'axe 1,et à l'ensemble de la fonderie et des véhicules à diesel du côté positif de l'axe 2 ; les autres modalités s'y opposent.

Les valeurs des HPA dans les émissions de la fonderie et des véhicules à moteur diesel (dans le garage) sont énormes par rapport au reste des données et c'est pourquoi elles déterminent les axes factoriels. Pour avancer l'analyse et retirer le maximum possible d'information nous poursuivrons en mettant ces éléments en supplémentaires.

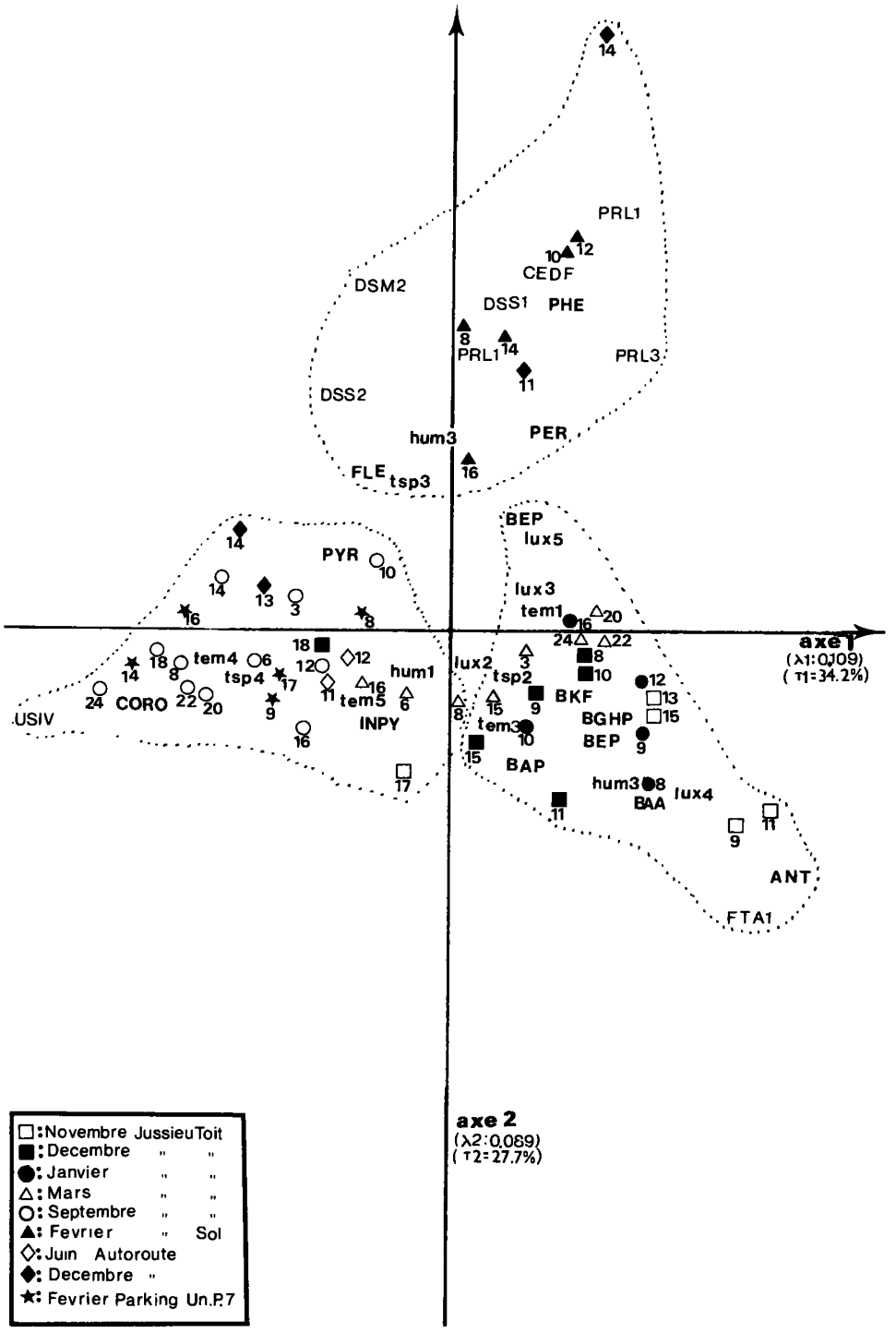
3.2 *Analyse 2 : Totalité des données ; excepté la fonderie et le garage des véhicules à moteur diesel*

A partir du nouveau tableau construit, nous projetons les deux nuages sur le plan des deux premiers axes factoriels, qui présente de nouvelles différenciations (figure 2).

Au côté négatif de l'axe horizontal 1 se situent les éléments qui concernent les émissions des véhicules (parking de l'université, autoroute, septembre à Jussieu, environs de l'usine d'incinération) et qui s'associent avec le CORO, lequel caractérise spécifiquement les véhicules à essence. D'autres polyaromatiques comme INPY, FLE, et PYR le suivent.

De l'autre côté de l'axe 1 (côté positif) on trouve les éléments qui représentent les tranches horaires de l'hiver à Jussieu, associés avec BAA, ANT, CHR, FLA, BBF, BKF, BAP, BGHP ; parmi lesquels BAA, FLA, et CHR sont caractéristiques des émissions du chauffage domestique. Dans la même région se trouve l'usine d'engrais qui a des HPA abondants en commun avec le chauffage.

Nous observons que les tranches horaires de mars à Jussieu qui correspondent à la nuit (de 20 à 3H du matin) sont liées au chauffage domestique tandis que celles du matin (après 6 H), de l'après-midi (après 18 H) le sont aux véhicules à essence. Egalement dans une tranche horaire de l'après-midi de décembre à Jussieu (après 18 H) , la présence des véhicules à essence est remarquable.


PRL1
CEDF
DSM2
DSS1
PHE
PRL1
PRL3
DSS2
hum3
PER
FLE
tsp3
BEP
lux5
PYR
lux3
tem1
axe 1
(λ1:0,109)
(τ1=34,2%)
lux2
tsp2
BKF
hum1
tem4
tsp4
tem5
INPY
CORO
USIV
tem3
BGHP
BEP
BAP
hum3
BAA
lux4
ANT
FTA1
axe 2
(λ2:0,069)
(τ2=27,7%)
□:Novembre JussieuToit
■:Decembre " "
●:Janvier " "
△:Mars " "
○:Septembre " "
▲:Fevrier " Sol
◇:Juin Autoroute
◆:Decembre "
★:Fevrier Parking Un.P.7

Au côté positif de l'axe vertical 2 se placent principalement la tranche horaire de décembre sur l'autoroute (14 H) caractéristique de la présence des véhicules à moteur diesel (voir figure 1 côté négatif de l'axe 1), l'ensemble de février à la place Jussieu, niveau du sol, la centrale électrique, la raffinerie de pétrole et l'usine d'engrais, qui sont liés avec le PHE, prédominant dans les émissions de véhicules à diesel et des sources industrielles présentées ci-dessus (suivi par BEP, FLE, PER). Nous avons obtenu, dans ce cas, presque le même ensemble d'éléments que dans le cas du côté négatif de l'axe 1 de la figure 1. Cette hypothèse est renforcée par le fait que les valeurs supplémentaires du garage des véhicules à diesel se placent ici du même côté.

A l'opposé, les tranches horaires correspondant à l'hiver à Jussieu et situées du côté négatif de l'axe 2 s'associent avec le BAA (suivie par BBF, BKF, BAP, BGHP, INPY) ; ce qui montre la présence des émissions du chauffage domestique.

On remarquera, la relation des tranches horaires des mesures faites au niveau du sol à la place Jussieu avec les véhicules à moteur diesel et leur relation aussi avec des tranches horaires sur l'autoroute (11DA, 14DA) et en septembre à Jussieu (10SJ).

Nous constatons pour les éléments supplémentaires que les concentrations relativement faibles de TSP s'associent avec le chauffage domestique tant au côté positif de l'axe 1 qu'au côté négatif de l'axe 2. Par contre les concentrations relativement fortes sont liées avec les véhicules à essence et à moteur diesel sur les axes 1 et 2 respectivement.

La répartition des classes des paramètres météorologiques suit généralement celle des saisons où les mesures ont été faites. Par exemple l'humidité relative forte (HUM3) est liée avec l'hiver (côté positif de l'axe 1) ; tandis que la faible humidité (HUM1) va principalement avec celles d'été (côté négatif).

3.3 *Analyse 3 . Les données relatives à l'air de la place Jussieu*

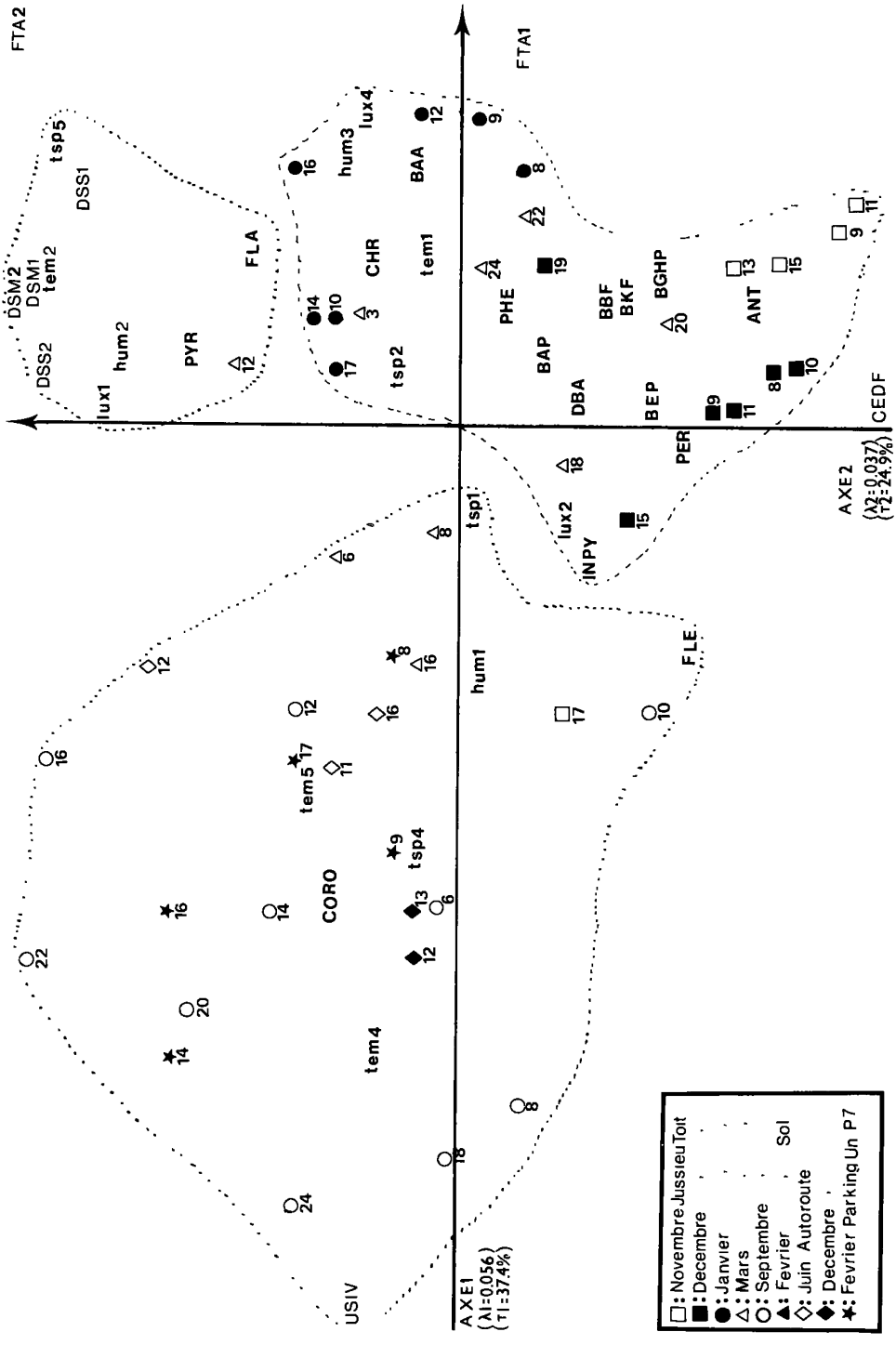
En vue d'obtenir plus de résultats sur le type de pollution au cours d'une journée et spécifiquement dans l'air d'une région urbaine, nous avons établi un tableau qui se compose seulement des données concernant l'air de Jussieu. Les éléments qui concernent d'autres régions sont mis en supplémentaires.

La projection sur le plan factoriel des deux premiers axes (figure 3) révèle des différenciations supplémentaires de celles obtenues précédemment.

Au côté négatif de l'axe 1 se situent toutes les tranches horaires de septembre (source unique : les véhicules) liées avec le composé caractéristique des véhicules à essence : le CORO (suivi de INPY et FLE).

Au côté positif de l'axe 1 se place l'ensemble des mesures faites en hiver liées avec BAA, FLA, PHE, CHR, BBF, BKF, BGHP dont les quatre premiers caractérisent les émissions du chauffage domestique.

Comme précédemment nous constatons que les heures de nuit en mars (22MJ à 03MJ) sont liées avec le chauffage ; celles du matin (6MJ) et de l'après-midi (16MJ) avec les véhicules à essence. Mais avec cette analyse une tranche horaire supplémentaire du matin (08MJ) se lie également aux véhicules à essence.


FTA2
FTA1
DSM2
DSM1
tem2
tsp5
DSS1
DSS2
hum2
lux1
PYR
FLA
hum3
lux4
CHR
tem1
BAA
tsp2
PHE
BAP
DBA
BBF
BKF
BGHP
BEP
PER
ANT
CEDF
tsp1
lux2
INPY
FLE
hum1
tem5
tsp4
CORO
tem4
USIV
AXE1
(λ1=0,056)
(τ1=37.4%)
AXE2
(λ2=0,037)
(τ2=24.9%)
□: Novembre Jussieu Toit
■: Decembre
●: Janvier
△: Mars
○: Septembre
▲: Fevrier Sol
◇: Juin Autoroute
◆: Decembre
✱: Fevrier Parking Un P7

De plus, ce n'est pas une seule tranche horaire de décembre (18DJ) qui se place dans la région des véhicules à essence sur le plan factoriel, mais aussi les tranches (17DJ) et (15DJ).

Au côté positif de l'axe 2, se placent quelques tranches horaires de septembre et quelques unes de janvier (10, 14, 16, et 17JJ) qui sont liées avec FLA et PYR, composés prédominants dans les émissions des véhicules à moteur diesel.

Cette hypothèse est renforcée par le fait que les données du garage des autobus se placent également du côté positif de l'axe 2 (éléments supplémentaires).

Au côté négatif de l'axe 2, se trouve presque l'ensemble des données d'hiver liées avec ANT, FLE, BKF, BBF, BEP, BAP, DBA, PER, INPY, BGHP ; composés qui constituent essentiellement un sous-ensemble de ceux du chauffage domestique présentés sur la figure 2. Nous constatons que quelques tranches horaires de mars semblent être liées avec les véhicules à diesel (3, 6, 12, 14MJ). Egalement pour quelques-uns de janvier la présence de ce type de véhicules est probable (10, 14, 16, 17JJ).

En ce qui concerne les conditions météorologiques et les variables TSP, on observe que les fortes modalités des particules en suspension : TSP5, TSP4, suivent les véhicules à diesel (DSS1, DSS2, DSM1, DSM2) et ceux à essence (septembre, parking de l'université), tandis que les faibles TSP1, TSP2, vont avec le chauffage domestique.

Les modalités fortes de TEMP, LUX, (LUX5, LUX4, TEMP5, TEMP4) et les faibles de l'humidité HUM1 se placent vers la région du mois de septembre comme d'ailleurs il semble normal.

4 *Conclusion*

Des données concernant 16 hydrocarbures polyaromatiques dans l'air, traitées par l'analyse factorielle des correspondances, ont révélé des relations entre ces composés et certaines sources de pollution : les PYR, FLA et PHE sont liés aux véhicules à moteur diesel et le CORO aux véhicules à essence. Les BAA, FLA, CHR, et PHE au chauffage domestique. Les PYR et PHE à la raffinerie de pétrole et la centrale électique à charbon et le FLA à la fonderie.

Les tranches horaires de prélèvement sur autoroute ou en atmosphère urbaine ont été reliées à certains types de pollution.

Donc, l'étude présente a montré qu'il est possible de déterminer le type de pollution en hydrocarbures polyaromatiques pour chaque tranche horaire et site de mesure en traitant statistiquement les données par l'analyse factorielle des correspondances.

REFERENCES

[1] NIKOLAOU K. ; MASCLET P. ; MOUVIER C. "Sources and Chemical Reactivity of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in the Atmosphere. A critical review". The Science of the Total Environment,(1983) in press.

[2] MASCLET P. ; NIKOLAOU K. ; MOUVIER G. "Optimisation d'une méthode d'échantillonnage et d'analyse des hydrocarbures polyaromatiques dans l'air, sur des prélévements d'une heure". Pollution Atmosphérique, 95, 175 (1982).

[3] Une partie des données a déjà paru dans les publications du Laboratoire de Physicochimie Instrumentale. Le reste est sous presse.

Nous remercions vivement Monsieur le Professeur J.P. Benzécri pour ses corrections et ses conseils.

K. Nikolaou remercie la "Public Benefit Foundation : AL. ONASSIS" pour le support financier.