



Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Equivalence et représentativité des méthodes de surveillance des particules Partie 2 : Représentativité

Jean Luc HOUDRET

Novembre 2005



Ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable

PREAMBULE

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'Ecole des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement, sous la coordination technique de l'ADEME et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique supportés financièrement par la Direction des Préventions des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique aux AASQA.

L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes mais aussi dans un cadre plus prospectif destiné à fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper les évolutions futures.

ECOLE DES MINES DE DOUAI

DEPARTEMENT CHIMIE ET ENVIRONNEMENT

**Equivalence et représentativité des
méthodes de surveillance des particules
Partie 2 : Représentativité**

**Jean Luc HOUDRET
Novembre 2005**

SOMMAIRE

RESUME	4
1. OBJECTIF DE L'ÉTUDE.....	6
2. PRINCIPE DE LA MÉTHODE.....	7
3. CAMPAGNES DE COMPARAISON DES PM₁₀.....	7
3.1 CAMPAGNE DE BOBIGNY	8
3.1.1 Comparaison de deux Partisol-PM ₁₀ en parallèle.....	8
3.1.2 Comparaison de deux Jauges Bêta-PM ₁₀ en parallèle	8
3.1.3 Comparaison de deux FDMS-PM ₁₀ en parallèle	9
3.2 CAMPAGNE DE TOULOUSE - PM ₁₀	9
3.3 BILAN	10
4. INTERVALLES DE CONFIANCE IC_R PAR ZONE URBAINE (PM₁₀)	10
4.1 INTRODUCTION	10
4.2 CAS OÙ IC _R < 5 µG.M ⁻³	11
4.3 CAS OÙ IC _R COMPRIS ENTRE 5 ET 7,07 µG.M ⁻³	11
4.4 CAS OÙ IC _R COMPRIS ENTRE 7,07 ET 10 µG.M ⁻³	12
5. COMPARAISONS DE COUPLES D'APPAREILS	13
5.1 COMPARAISONS INTRA-ZONES URBAINES DES PM ₁₀	13
5.1.1 Cas où IC _R < 5 µg.m ⁻³	13
5.1.2 Cas où IC _R compris entre 5 et 7,07 µg.m ⁻³	15
5.1.3 Cas où 7,07 < IC _R < 10 µg.m ⁻³	16
5.1.4 Cas où IC _R > 10 µg.m ⁻³	18
5.2 COMPARAISONS DES DONNÉES DE PM _{2,5}	19
5.2.1 Comparaisons intra-ville des PM _{2,5}	19
5.2.2 Comparaisons inter-villes de PM _{2,5}	20
6. CRITÈRES D'HOMOGENÉITÉ SPATIALE DES TENEURS EN PM₁₀	22
6.1 PRINCIPE	22
6.2 LA CORRÉLATION	22
6.3 LA PENTE DE RÉGRESSION LINÉAIRE	22
6.4 L'INTERVALLE DE CONFIANCE DE REPRODUCTIBILITÉ IC _R	22
7. RÉSULTATS DES COMPARAISONS INTER-VILLES EN PM₁₀.....	23
8. CARTOGRAPHIE NATIONALE DES ZONES D'HOMOGENÉITÉ	25
8.1 INTRODUCTION	25
8.2 CARTES DES PENTES DES RÉGRESSIONS LINÉAIRES.....	26
8.3 CARTES DES CORRÉLATIONS	28
8.4 CARTES DES INTERVALLES DE CONFIANCE DE REPRODUCTIBILITÉ	30
8.5 BILAN	32
8.5.1 Introduction.....	32
8.5.2 Zonage à partir des pentes de régression	32
8.5.3 Zonage à partir des corrélations.....	33
8.5.4 Zonage à partir des reproductibilités	33
9. CARTOGRAPHIE ÉTRANGÈRE DES ZONES D'HOMOGENÉITÉ	34
9.1 AU NORD : BELGIQUE ET RHÉNANIE-PALATINAT.....	34
9.2 A L'EST : BADE-WÜRTEMBERG ET SUISSE	35
10. CONCLUSIONS.....	36
ANNEXE A – MOYENS STATISTIQUES.....	38
A1 - INTRODUCTION.....	38

A2 - PRÉSENTATION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	38
A2.1 - <i>Calculs des répétabilités et/ou des reproductibilités</i>	38
A2.2 - <i>Cas de un seul type d'appareil dupliqué sur le même site</i>	38
A2.3 - <i>Cas de plusieurs séries d'appareils dupliqués sur le même site</i>	39
A2.4 - <i>Cas de deux appareils voisins sur des sites différents</i>	39
A3 - MODÈLE LINÉAIRE.....	40
A3.1 - <i>Régression linéaire orthogonale</i>	40
A3.2 - <i>Coefficient de corrélation</i>	41

RESUME

Etude suivie par : Jean-Luc HOUDRET

Tél : 03 27 71 26 13

Equivalence et représentativité des méthodes de surveillance des particules **Partie 2 : Représentativité**

La directive européenne 1999/30/CE préconise d'effectuer des mesures des particules en suspension PM_{10} et $PM_{2.5}$ à l'aide d'une méthode de référence gravimétrique. Si d'autres méthodes sont utilisées, il convient de vérifier leur équivalence à la référence et de déterminer un facteur (ou relation) entre les deux méthodes.

Cependant, les méthodologies actuellement utilisées dans les AASQA, les jauges Bêta et les TEOM-50, donnent des résultats sous-estimés par rapport à une méthode gravimétrique de référence.

Les moyens de remédier à cet état de fait, est soit d'apporter une correction mathématique à certains lots de résultats dont on peut estimer le biais, ou de modifier les appareils automatiques.

Quel que soit le mode de correction envisagé, l'idéal serait de pouvoir l'appliquer spécifiquement à des groupes d'appareils appartenant à une même zone dont l'homogénéité serait déterminée au préalable. Le MEDD et l'ADEME ont souhaité que soient initiés des travaux sur le thème de la représentativité zonale.

Cette étude de recherche des zones présentant une certaine homogénéité a donc été entreprise en 2005 à partir des données des années 2002 et 2003 de presque 300 stations de mesure des PM_{10} , afin de délimiter les zones où les données issues des groupes d'appareils automatiques pourraient être assujetties à une correction mathématique ou instrumentale commune ou spécifique.

La méthode consiste à comparer chaque station de mesure des PM_{10} (indifféremment TEOM ou Jauge Bêta) à toutes les plus proches qui l'entourent, en calculant les paramètres statistiques suivants pour chaque couple de stations : la corrélation, la pente de la droite de régression orthogonale et l'intervalle de confiance de « reproductibilité ».

On approfondira ce principe en séparant les données estivales et hivernales. On abordera les liens avec les particules $PM_{2.5}$ mais d'une manière succincte étant donné le petit nombre d'appareils existant pendant la période considérée (23 TEOM- $PM_{2.5}$ contre 300 appareils PM_{10}).

Les moyens statistiques utilisés permettent d'apporter des connaissances supplémentaires sur la notion d'incertitude des mesures PM_{10} réalisées avec les TEOM et les jauges Bêta classiques.

L'étude des relations statistiques entre les données journalières des PM_{10} sur ces deux années regroupées, a permis de délimiter à l'aide de cartes, des zones d'homogénéité par rapprochement de stations voisines présentant des liens statistiques significatifs parmi les suivants :

- les pentes des droites de régression représentant l'aspect plutôt spatial,
- les corrélations représentant l'aspect plutôt temporel,
- les intervalles de confiance de reproductibilité regroupant les deux aspects,

ce dernier apparaissant comme le mode de zonage à privilégier.

Les stations ne présentant aucun de ces liens avec aucune station voisine n'ont pas été retenues. Il s'agit en général de stations influencées par une proximité particulière. Cela concerne essentiellement des stations industrielles et/ou sous influence maritime, quelques stations sous haute influence du trafic automobile et enfin plusieurs autres stations sous influence non identifiée.

Les nombres de zones sont plus élevés en hiver, ou exprimé différemment, les zones homogènes sont plus vastes en été.

Les jauges Bêta sont dans l'ensemble moins bien reliées statistiquement aux appareils voisins quels qu'ils soient, que les TEOM entre-eux.

Ce zonage peut permettre une approche de la connaissance des zones d'homogénéité de données obtenues, qui pourraient subir les mêmes principes de traitement, soit de correction mathématique zonale, ou de recalage spécifique dans chaque zone par rapport à un appareil de référence ou par modélisation.

Cependant, les stations étant pratiquement toutes urbaines, ce zonage ne prétend donc pas refléter des homogénéités de zones entières, mais plutôt des homogénéités dans les villes de ces zones. Cependant, la variabilité des données en zones non urbaines étant réputée plus faible, on peut émettre l'hypothèse que l'homogénéité entre des villes d'une zone donnée, implique une certaine homogénéité dans toute cette zone.

Equivalence et représentativité des méthodes de surveillance des particules

Partie 2 : Représentativité

1. OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Les méthodologies de mesures des PM_{10} et des $PM_{2.5}$ utilisées, les jauges Bêta et les TEOM-50, donnent des résultats sous-estimés par rapport à une méthode gravimétrique de référence.

Cette sous-estimation est variable selon les saisons, selon les zones géographiques selon la température, l'humidité et la composition en nitrate d'ammonium ou autre composé semi-volatils.

Les moyens de remédier à cet état de fait, est soit d'apporter une correction mathématique à certains lots de résultats dont on peut estimer le biais, ou de modifier les appareils automatiques.

Etant donné le coût de ces modifications, dans un premier temps il apparaît envisageable de ne modifier qu'une partie du parc, et d'utiliser une correction en temps réel des autres appareils par rapport à ceux qui auraient été modifiés.

Quel que soit le mode de correction envisagé, il ne peut être appliqué spécifiquement qu'à des groupes d'appareils appartenant à une même zone dont l'homogénéité a été déterminée au préalable. Le MEDD et l'ADEME ont souhaité que soient initiés des travaux sur le thème de la représentativité zonale.

Cette étude de recherche des zones présentant une certaine homogénéité a donc été entreprise en 2005 à partir des données des années 2002 et 2003 de presque 300 stations de mesure des PM_{10} , afin de délimiter les zones où les données issues des groupes d'appareils automatiques pourraient être assujetties à une correction mathématique ou instrumentale commune ou spécifique.

2. PRINCIPE DE LA MÉTHODE

Cette étude est dédiée à l'estimation graphique de zones géographiques d'homogénéité à partir des données journalières disponibles issues des stations retenues selon les critères énoncés en 4.1 parmi les 300 stations dont les données ont été validées sur l'ensemble de la période 2002-2003, et cela quelles que soient les typologies de ces stations.

La méthode consiste à comparer chaque station de mesure des PM_{10} (indifféremment TEOM ou Jauge Bêta) à toutes les plus proches qui les entourent, en calculant les paramètres statistiques suivants pour chaque couple de stations :

- la corrélation,
- la pente de la droite de régression orthogonale,
- l'ordonnée à l'origine de cette droite,
- l'intervalle de confiance de « reproductibilité » selon annexe A.

Ces résultats sont calculés à partir de bases de données journalières couvrant jusqu'à un maximum de 730 jours, selon les taux de fonctionnement commun des couples de stations. Les nombres de jours couverts rendent ces résultats significatifs.

On approfondira ce principe en séparant les données estivales et hivernales. On abordera les liens avec les particules $PM_{2.5}$ mais d'une manière succincte étant donné le petit nombre d'appareils existant pendant la période considérée (23 TEOM- $PM_{2.5}$ contre 300 appareils PM_{10}).

3. CAMPAGNES DE COMPARAISON DES PM_{10}

Avant d'entreprendre une modification partielle puis éventuellement totale des appareils de mesure automatique des PM_{10} et des $PM_{2.5}$, il était indispensable de s'assurer de la validité technique de ces modifications.

Une campagne complémentaire de comparaisons des appareils a été initiée à Toulouse en 2003 (apport du SES sur les TEOM) et à Bobigny en 2005 (apport du FDMS sur les TEOM).

Les premiers résultats résumés ci-après donnent un aperçu des valeurs maximales des critères statistiques de comparabilité que l'on peut obtenir sur un site.

Ces valeurs serviront de référence haute pour étudier la comparabilité entre des appareils déployés sur une zone étendue.

3.1 Campagne de Bobigny

Ce chapitre reprend quelques résultats issus des rapports 2005 de l'INERIS et de l'EMD qui apportent des éléments à une meilleure connaissance de l'incertitude sur les mesures des PM_{10} .

3.1.1 Comparaison de deux Partisol- PM_{10} en parallèle

La Figure 1 montre la comparaison réalisée entre deux Partisol installés en parallèle; les statistiques doivent être considérées par la suite comme étant la référence de base pour toute autre comparaison, surtout l'intervalle de confiance de répétabilité :

$IC_r = 2,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, à rapprocher du critère de EN 12341 ($< 5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), et une excellente corrélation 0,995.

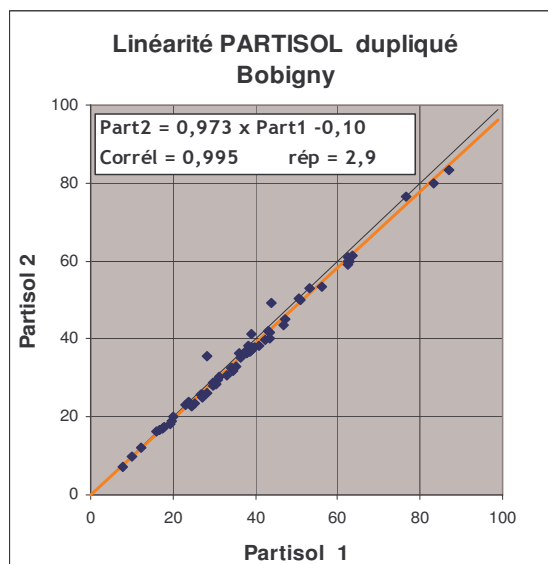


Figure 1: comparaison de 2 Partisol (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

3.1.2 Comparaison de deux Jauges Bêta- PM_{10} en parallèle

La Figure 2 montre une très bonne répétabilité (critère EN 12341) :

$IC_r = 3,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ainsi qu'une excellente corrélation **0,988**.

Il s'agit de jauges Bêta modifiées avec le kit RST et de mesures intégrées sur 24 heures.

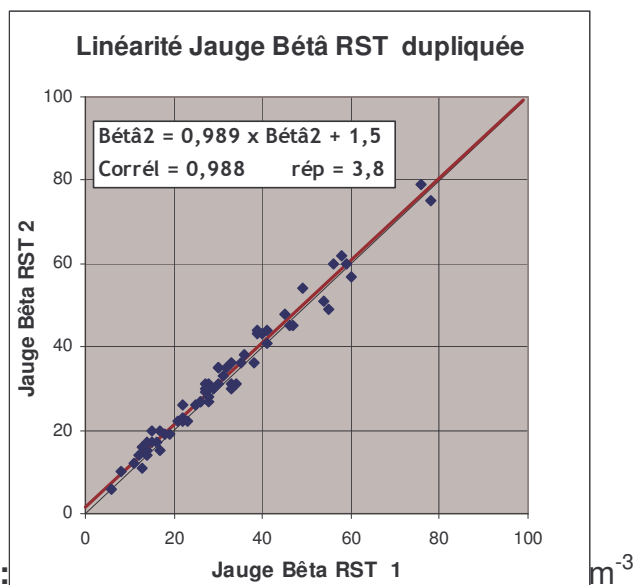


Figure 2: (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

3.1.3 Comparaison de deux FDMS-PM₁₀ en parallèle

La Figure 3 montre la comparaison de deux FDMS ; l'intervalle de confiance de répétabilité obtenu :

$$IC_r = 2,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$$

et la **corrélation = 0,988**

placent cet appareil au même rang que le Partisol pris comme référence gravimétrique. La relation linéaire est excellente également.

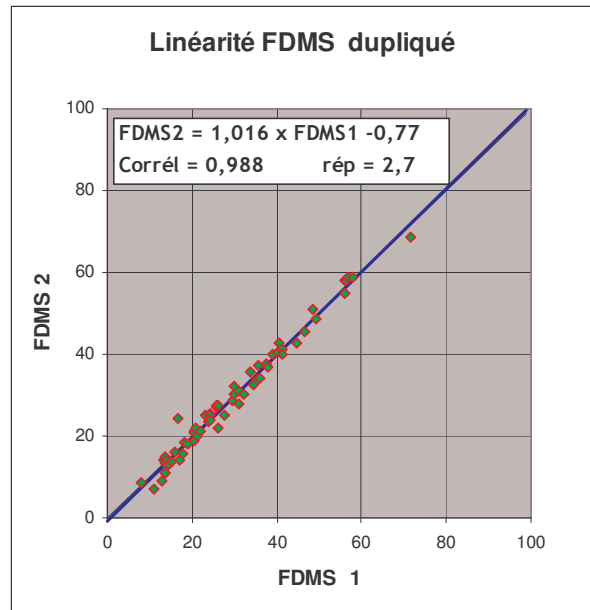


Figure 3 : comparaison de 2 FDMS (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

3.2 Campagne de Toulouse - PM₁₀

Il y a eu peu de campagnes de comparaison entre des TEOM en parallèle. L'exemple ci-après montre ce type de comparaison entre un TEOM-50°C (classique) et un TEOM-SES (système de deshumidification) dont seule l'expérience de ORAMIP a été recensée. Cette campagne a été réalisée à Toulouse en été 2003, et la sécheresse relative de cette période peut faire considérer ces deux versions du TEOM comme très voisines.

La Figure 4 montre l'excellente comparabilité possible de deux TEOM sur un même site :

$$IC_r = 1,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \text{ et } \text{corrélation} = 0,989 .$$

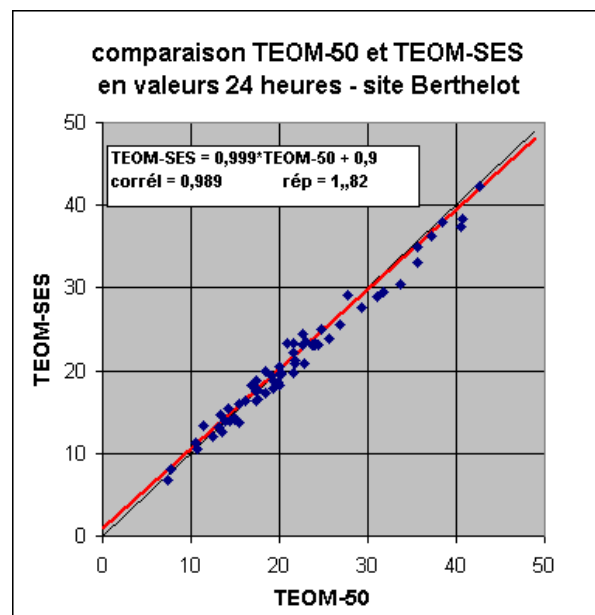


Figure 4 : comparaison TEOM-50°C et TEOM-SES (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

3.3 Bilan

Le Tableau 1 montre les valeurs maximales des statistiques obtenues lors des comparaisons entre appareils dupliqués. Ces statistiques vont servir de base de comparaison pour les statistiques obtenues entre appareils automatiques en configuration classique (TEOM-50 et Jauges Béta sans RST) sur des sites voisins dans la même ville, ou dans une même zone.

Tableau 1 : bilan des comparaisons des PM₁₀ sur un site commun

Appareil y	Appareil x	corrélation	pente	Origine (en $\mu\text{g.m}^{-3}$)	IC _R = t.S _r (en $\mu\text{g.m}^{-3}$)
Partisol 1	Partisol 2	0,995	0,973	-0,1	2,9
Jauge Béta 1	Jauge Béta 2	0,988	0,989	+1,5	3,8
FDMS 1	FDMS 2	0,988	1,016	-0,8	2,7
TEOM-SES	TEOM-50 °C	0,989	0,999	-0,9	1,8

Force est de constater le bon intervalle de confiance obtenu avec 2 TEOM malgré les problèmes techniques qu'on lui connaît et qui de plus sont dans des configurations différentes (l'un avec SES, l'autre sans).

4. INTERVALLES DE CONFIANCE IC_R PAR ZONE URBAINE (PM₁₀)

4.1 Introduction

Tous les appareils voisins au sein de chaque zone urbaine (tous types confondus) ont été comparés entre-eux deux par deux, afin de déterminer : la corrélation, la régression linéaire et l'intervalle de confiance de reproductibilité $IC_R = t.S_R$ pour chaque couple d'appareils.

Une station qui présente avec toutes ses voisines une corrélation ou une pente de classe 4 comme défini dans le Tableau 5 n'est pas prise en compte. Il s'agit en général d'une station soumise à des influences locales fortes qui ne la rendent pas utilisable pour une recherche d'homogénéité.

Selon les zones urbaines, le nombre d'appareils varie de 1 à 8. Pour chaque zone urbaine considérée, les données prises en compte sont les moyennes journalières des mesures validées en 2002 et 2003, issues des appareils retenus dans chaque groupe. Si un seul appareil existe dans une zone urbaine, il sera retenu pour les tests de comparaison avec d'autres zone urbaines.

Ensuite, les moyennes des groupes de stations de chaque zone urbaine seront comparées aux zones voisines qui les entourent. On imagine que la comparabilité se dégrade au fur et à mesure que les distances entre stations (ou groupes) augmentent. Il est apparu nécessaire de connaître l'homogénéité de chaque zone urbaine avant de comparer celle-ci aux voisines. Les tableaux suivants indiquent les intervalles de confiance internes de chaque groupe de stations.

Cependant, l'application des formules (annexe A) nécessite la connaissance de l'écart-type de répétabilité interne S_r de chaque appareil ; cet écart-type ne peut être connu que par duplication d'appareils sur chaque site. Or, par défaut de duplication, on utilisera $S_r = 0,9 \mu\text{g.m}^{-3}$, issu de $IC_r = 1,8 \mu\text{g.m}^{-3}$ obtenu à Toulouse.

4.2 Cas où $IC_R < 5 \mu\text{g.m}^{-3}$

Le Tableau 2 donne les résultats obtenus dans les zones urbaines où 2 appareils au moins ont été retenus, et où les intervalles de confiance de reproductibilité « IC_R » obtenus sont $< 5 \mu\text{g.m}^{-3}$; ils peuvent être une approche de l'incertitude sur la mesure des PM_{10} .

Note : on rappelle que la valeur $5 \mu\text{g.m}^{-3}$ est la limite d'acceptation comme référence d'une méthode de mesure selon la norme EN 12341.

Tableau 2 : zones urbaines où $IC_R < 5 \mu\text{g.m}^{-3}$

STATIONS DE MESURE DES PM_{10}					ZONES URBAINES	Nb de mesures	IC_R
			CHARTRES-F	CHARTRES-L	CHARTRES	357	2,70
			NIORT-JF	NIORT-JZ	NIORT	646	3,94
			NANTES-CH	NANTES-Gir	NANTES	706	4,24
			Troyes T	Troyes S	TROYES	701	4,26
LE PALAIS SUR VIENNE	LIMOGES-M	LIMOGES-P	ST JUNIEN	SAILLAT SUR VIENNE	LIMOGES	707	4,34
			BREST-1	BREST-JM	BREST	602	4,42
			TOULON-Ch	TOULON-Ce	TOULON	706	4,70
			POITIERS-Cha	POITIERS-Ma	POITIERS	646	4,74

4.3 Cas où IC_R compris entre 5 et $7,07 \mu\text{g.m}^{-3}$

Le Tableau 3 donne les résultats obtenus dans les zones urbaines où 2 appareils au moins ont été retenus, où les intervalles de confiance de reproductibilité « IC_R » obtenus sont compris entre 5 et $7,07 \mu\text{g.m}^{-3}$, autre approche de l'incertitude sur la mesure des PM_{10} .

Note : la valeur 7,07 vient de la formule de calcul de la répétabilité :

$$R = \sqrt{2} \cdot IC_R$$

Tableau 3 : zones urbaines où IC_R entre 5 et $7,07 \mu\text{g.m}^{-3}$

STATIONS DE MESURE DES PM_{10}				ZONES URBAINES	Nb de mesures	IC_R
		NIMES-G	NIMES-B	NIMES	608	5,04
		Reims VM	Reims Tq	REIMS	701	5,10
	ST NAZAIRE-FdL	ST NAZAIRE-LB	DONGES	ST NAZAIRE	700	5,36
	TOURS-M	TOURS-Jou	TOURS-LaB	TOURS	665	5,36
		MARSEILLE-5Av	MARSEILLE-LTN	MARSEILLE	688	5,54
	TOULOUSE-J	TOULOUSE Maz	TOULOUSE-Be	TOULOUSE	257	5,71
	MAUBEUGE	HAUTMONT	BOUSSOIS	AVESNOIS	681	5,86
		AIX-Ce	AIX-Art	AIX	688	6,12
	PARIS-18	PARIS-12	PARIS-Def	PARIS	638	6,20
		PERPIGNAN-Sud	PERPIGNAN-LC	PERPIGNAN	557	6,21
		VALENCE-sud	VALENCE-C	VALENCE	662	6,26
ANNECY-p	ANNECY-I	ANNECY-n	CHAMBERY	ANNECY	726	6,35
		ROUSSILLON	VIENNE	VIENNE	726	6,37
		ANNEMASSE-c	ANNEMASSE-g	ANNEMASSE	721	6,52
	DOUAI-Th	LAMBRES	ROOST-W.	DOUAI	721	6,84
		BESANCON-PI	BESANCON-Ce	BESANCON	365	6,90

4.4 Cas où IC_R compris entre $7,07$ et $10 \mu\text{g.m}^{-3}$

Le Tableau 4 donne les résultats obtenus dans les zones urbaines où 2 appareils au moins ont été retenus, où les intervalles de confiance de reproductibilité « IC_R » obtenus sont compris entre $7,07$ et $10 \mu\text{g.m}^{-3}$; ces valeurs restent inférieures à 25% de la valeur limite fixée par la Directive.

Tableau 4 : zones urbaines où IC_R entre $7,07$ et $10 \mu\text{g.m}^{-3}$

STATIONS DE MESURE DES PM_{10}						ZONES URBAINES	Nb de mesures	IC_R
LA BASSEE	MARCO-EN-B.	LOMME	LILLE-Fai	TOURCOING	LILLE-Lak	LILLE	565	7,23
			Colmar	Mulhouse	Village-Neuf	ALSACE SUD	727	7,36
			AMIENS-N	AMIENS-C	AMIENS-S	AMIENS	699	7,38
			BRIVE-Cu	BRIVE-GD	TULLE	BRIVE	717	7,39
			CLERMONT-F.-De	Montferrand	CLERMONT-F.-Ga	CLERMONT-F	727	7,56
			AUDINCOURT	MONTBELIARD	BELFORT	MONTBELIARD	426	7,69
			BOURGES-G	BOURGES-L	CHATEAUROUX-S	BOURGES	579	7,76
			ST ETIENNE-Traf	ST ETIENNE-sud	VEAUCHE	ST ETIENNE	720	7,82
	LYON-B	LYON-G	LYON-EU	VILLEURBANNE	GENAS	LYON	699	7,90
		Strasbourg Ce	Strasbourg E	Strasbourg Illk	Strasbourg N	STRASBOURG	710	7,92
			DAIX	LONGVIC	MARSANNAY	DIJON	675	7,93
			GRENOBLE-Fr	FONTAINE	St Martin d'Herès	GRENOBLE	716	8,08
		SAINT-SAULVE	CAMBRAI GAMBET	DENAIN	AULNOY LEZ V.	NORD (centre)	509	8,30
			Rouen-Pal	Rouen-CH	Rouen-Conq	ROUEN	726	8,36
				ORLEANS-P	ORLEANS sud	ORLEANS	541	8,45
				Fleville	Nancy-Fr	NANCY	728	8,47
		CAEN-ChV	CAEN-Sud	CAEN-Ler	ST LO	CAEN	562	8,68
		LE HAVRE-Blé	LE HAVRE-Nei	LE HAVRE-Her	SANDOUVILLE	LE HAVRE	632	9,19
		BASSENS	BORDEAUX-IE	BORDEAUX-T	FLOIRAC	BORDEAUX	548	9,70
				Chalon-Ce	Chalon-HC	CHALON	323	10,00

5. COMPARAISONS DE COUPLES D'APPAREILS

Ce chapitre donne le détail des comparaisons complètes entre les stations voisines (et/ou le cas échéant les groupes moyennés selon 4.1), soit dans une même ville, ou dans une communauté de communes proches. Dans certains cas, on a élargi la surface d'une zone urbaine quand les stations concernées présentaient les critères de comparabilité choisis.

On a réalisé **362** comparaisons de couples d'appareils, dont seulement **152** ont été retenues, pour lesquelles soit la corrélation, et/ou la pente et/ou IC_R n'étaient pas dans la classe 4 selon la classification détaillée dans le Tableau 5. Les comparaisons non retenues concernaient essentiellement des stations industrielles et/ou sous influence maritime, et quelques stations sous haute influence du trafic automobile.

Tableau 5: légende

	Classe	Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC_R
LEGENDE	1	> 0,90	0,95 à 1,05	< 1	< 5
	2	0,90 à 0,85	1,05 à 1,10 et 0,90 à 0,95	1 à 2,5	5 à 7,07
	3	0,85 à 0,80	1,10 à 1,20 et 0,80 à 0,90	2,5 à 5	7,07 à 10
	4	< 0,80	< 0,80 et > 1,20	> 5	> 10

Les tableaux ci-après, présentent pour les couples de stations (ou groupe de stations), la corrélation, la régression linéaire par classe d' IC_R croissant.

5.1 Comparaisons intra-zones urbaines des PM_{10}

Les tableaux de ce chapitre complètent ceux du précédent.

5.1.1 Cas où $IC_R < 5 \mu\text{g.m}^{-3}$

Le Tableau 6 présente les **27** comparaisons (soient la corrélation, la pente et l'ordonnée à l'origine de la régression orthogonale), pour les couples d'appareils dans une même ville ou une communauté de communes proches, pour lesquels « $IC_R < 5 \mu\text{g.m}^{-3}$ ».

On constate à de rares exceptions près, que les corrélations sont toutes supérieures à **0,90** et les pentes comprises entre **0,9** et **1,1**.

Tableau 6 : comparaisons intra-ville par couple d'appareils

station X	PM ₁₀	station Y	PM ₁₀	Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC _R
CHARTRES-F		CHARTRES-L		0,98	1,01	0,0	2,5
TOURS-Jou		TOURS-LaB		0,97	0,97	0,0	3,0
NANTES-Gir		REZE NANTES		0,97	1,02	-0,5	3,2
TOULON-Ch		TOULON-Ce		0,97	0,97	0,5	4,6
AMIENS-C		AMIENS-S		0,96	1,03	-1,1	3,8
Troyes T		Troyes S		0,96	1,03	-0,2	4,1
NANTES-CH		REZE NANTES		0,96	1,09	0,0	4,2
PARIS (3)		BOBIGNY		0,96	1,00	-0,3	4,6
TOULOUSE-Maz		TOULOUSE-Be		0,96	0,93	0,1	4,7
PARIS (3)		Issy-les-Moulineaux		0,96	0,96	-0,5	4,8
PARIS-18		PARIS-Def		0,96	1,05	-0,8	5,0
LIMOGES-M		LIMOGES-P		0,95	1,02	0,6	3,4
NIORT-JF		NIORT-JZ		0,95	1,00	-0,8	3,7
NANTES-CH		NANTES-Gir		0,95	1,05	0,9	4,1
LIEVIN		BRUAY-LA-BUISSIÈRE		0,95	0,96	0,3	4,5
LIEVIN		NOEUX-LES-MINES		0,95	1,00	-0,4	4,6
BRUAY-LA-BUISSIÈRE		NOEUX-LES-MINES		0,95	1,02	-0,2	4,7
NIMES-G		NIMES-B		0,95	1,11	-2,2	4,9
ST JUNIEN		SAILLAT/V		0,94	0,96	0,4	3,3
CHATEAUROUX-S		CHATEAUROUX-N		0,94	1,05	-0,5	4,2
BREST-1		BREST-JM		0,94	1,04	1,0	4,5
BRUAY-LA-BUISSIÈRE		ARRAS		0,94	1,00	-0,5	4,8
ST JUNIEN (2)		LIMOGES (3)		0,93	1,02	0,2	3,7
POITIERS-Cha		POITIERS-Ma		0,93	1,02	0,6	4,6
ST NAZAIRE-FdL		ST NAZAIRE-LB		0,93	1,04	-2,1	4,6
LE PALAIS SUR VIENNE		LIMOGES-P		0,90	1,05	0,6	4,7
LE PALAIS SUR VIENNE		LIMOGES-M		0,88	1,02	0,1	4,6

Note : ST JUNIEN (2) - LIMOGES (3) : il s'agit de regroupements des nombres de stations entre parenthèses.

5.1.2 Cas où IC_R compris entre 5 et $7,07 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Le Tableau 7 présente les comparaisons : corrélation, pente et ordonnée à l'origine de la régression orthogonale pour les **61** couples d'appareils dans une même ville ou dans une communauté de communes proches, pour lesquels « $5 < IC_R < 7,07 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ».

Le tri est effectué par ordre de corrélation décroissante.

On constate à trois exceptions près, que les corrélations sont toutes supérieures à **0,85** et à quatre exceptions près, que les pentes sont comprises entre **0,8** et **1,2** et une grande majorité (45) entre **0,90** et **1,1**.

Tableau 7: comparaisons intra-ville par couple d'appareils

station X	PM ₁₀	station Y	PM ₁₀	Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC _R
PARIS (3)		GENNEVILLIERS		0,96	1,10	-3,5	5,0
MARSEILLE-5Av		MARSEILLE-LTN		0,96	1,04	1,1	5,7
MAUBEUGE		HAUTMONT		0,96	0,91	-0,7	5,9
CLERMONT-F.-De		Montferrand		0,95	1,09	-0,3	5,1
LILLE-Fai		LILLE-Lak		0,95	0,92	3,0	5,4
PARIS (3)		VITRY-SUR-SEINE		0,95	0,98	-1,6	5,6
Rouen-Pal		Rouen-CH		0,95	1,02	-2,9	5,7
LYON-B		VILLEURBANNE		0,95	0,96	0,4	6,0
DOUAI-Th		LAMBRES		0,95	0,92	-0,6	6,0
ANNECY-I		ANNECY-n		0,95	0,88	0,9	6,2
ROUSSILLON		VIENNE		0,95	0,97	-1,7	6,3
MAUBEUGE		BOUSSOIS		0,95	0,86	0,3	6,3
GENNEVILLIERS		Cergy pontoise 95		0,95	0,86	0,6	6,7
GRENOBLE-Fr		St Martin d'Herès		0,95	1,17	-1,7	6,9
LIEVIN		ARRAS		0,94	0,97	-0,5	5,0
HAUTMONT		BOUSSOIS		0,94	0,94	0,9	5,0
Reims VM		Reims Tq		0,94	1,03	0,0	5,1
Issy-les-Moulineaux		VITRY-SUR-SEINE		0,94	1,01	-1,0	5,3
TOURCOING		LILLE-Lak		0,94	0,99	0,7	5,4
GENNEVILLIERS		BOBIGNY		0,94	0,91	2,9	6,1
LILLE-Fai		LA BASSEE		0,94	1,13	-1,1	6,7
TOURCOING		MARCQ-EN-BAROEUL		0,94	1,22	-3,2	6,7
LYON-G		LYON-EU		0,94	1,19	-4,7	6,8
LILLE-Lak		MARCQ-EN-BAROEUL		0,94	1,23	-4,0	6,9
CLERMONT-F.-De		CLERMONT-F.JL		0,93	1,11	-0,7	5,3
AULNOY LEZ V.		HAUTMONT		0,93	1,03	-0,5	5,6
CAMBRAI GAMBET		AULNOY LEZ V.		0,93	1,15	-1,9	5,7
TOULOUSE-J		TOULOUSE-Be		0,93	0,90	1,0	5,7

(Suite du tableau)

station X	PM ₁₀	station Y	PM ₁₀	Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC _R
PARIS-18		PARIS-12		0,93	0,90	2,5	5,9
DENAIN		AULNOY LEZ V.		0,93	0,94	-0,1	6,0
AIX-Ce		AIX-Art		0,93	1,15	-3,6	6,0
VITRY-SUR-SEINE		BOBIGNY		0,93	1,03	1,2	6,3
TOURS-M		TOURS-LaB		0,93	0,85	0,1	6,3
ANNEMASSE-c		ANNEMASSE-g		0,93	0,92	3,5	6,4
GRENOBLE-Fr		FONTAINE		0,93	0,85	2,1	6,4
TERNAY		GIVORS		0,93	0,91	0,6	6,5
CAMBRAI GAMBET		ARRAS		0,92	1,13	-1,6	5,6
TOURS-M		TOURS-Jou		0,92	0,87	0,3	6,0
TOULOUSE-J		TOULOUSE-Maz		0,92	0,96	1,3	6,2
TOULOUSE-Maz		TOULOUSE-Cc		0,92	0,88	4,0	6,4
MONTBELIARD		BELFORT		0,92	0,83	2,9	6,6
Issy-les-Moulineaux		Cergy pontoise 95		0,92	0,98	-2,0	6,7
ST ETIENNE-sud		VEAUCHE		0,91	0,97	-0,5	5,6
BORDEAUX-IE		BORDEAUX-T		0,91	0,93	2,3	5,8
OIGNIES		ROOST-W.		0,91	1,04	-0,8	6,1
LAMBRES		ROOST-W.		0,91	1,01	-1,0	6,2
BRIVE-Cu		BRIVE-GD		0,91	0,76	3,4	6,3
ANNECY-p		ANNECY-n		0,91	1,03	-1,6	6,3
Mulhouse		Village-Neuf		0,91	0,96	1,5	6,6
LAMBRES		CAMBRAI GAMBET		0,91	0,85	0,8	6,9
LIEVIN		HARNES		0,91	1,15	-1,5	6,9
ANNECY-p		ANNECY-I		0,91	1,18	-3,0	7,0
LA ROCHELLE-Vau		LA ROCHELLE-Verd		0,90	1,11	-1,3	5,2
CAMBRAI GAMBET		ST QUENTIN		0,90	1,03	1,3	6,2
PERPIGNAN-Sud		PERPIGNAN-LC		0,89	0,99	0,9	6,1
LIEVIN		OIGNIES		0,89	0,94	0,2	6,5
ROOST-W.		DENAIN		0,89	1,04	0,2	7,0
BESANCON-PI		BESANCON-Ce		0,89	0,87	4,0	7,0
POITIERS-Cou		POITIERS-Ma		0,87	0,93	3,4	6,9
ST Avold-Ce		Sarreguemines		0,87	1,05	0,7	6,9
POITIERS-Cha		POITIERS-Cou		0,86	1,09	-3,1	6,6

Note : les stations surlignées correspondent à des Jauges Bêta qui apparaissent dans les bas des performances .

5.1.3 Cas où $7,07 < IC_R < 10 \mu\text{g.m}^{-3}$

Le Tableau 8 présente les **54** couples d'appareils dans une même ville ou dans une communauté de communes proches, pour lesquels « $7,07 < IC_R < 10 \mu\text{g.m}^{-3}$ », pour lesquels **35** couples ont une corrélation $> 0,90$, **28** ont une pente entre 0,9 et 1,1 , et **16** ont ces deux propriétés.

Tableau 8 : comparaisons intra-ville par couple d'appareils

station X	PM ₁₀	station Y	PM ₁₀	Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC _R
LYON-B		LYON-EU		0,96	1,07	1,7	7,1
Strasbourg Ce		Strasbourg Cl		0,96	1,12	0,8	7,5
LILLE-Fai		LOMME		0,94	1,17	-0,1	8,1
LYON-G		VILLEURBANNE		0,94	1,07	-5,3	7,6
MARCO-EN-BAROEUL		LOMME		0,94	1,04	0,1	7,4
SAINT-SAULVE		AULNOY LEZ V.		0,94	0,83	-0,2	8,8
Strasbourg Ce		Strasbourg Illk		0,94	1,15	-3,9	7,1
NOEUX-LES-MINES		BETHUNE		0,93	1,17	1,7	9,4
TOURCOING		LOMME		0,93	1,26	-2,9	8,4
LONGVIC		MARSANNAY		0,93	1,16	-0,9	7,4
AMIENS-N		AMIENS-C		0,93	0,89	-1,6	8,2
LILLE-Fai		MARCO-EN-BAROEUL		0,93	1,14	-0,5	7,6
HARNES		BETHUNE		0,92	1,02	2,6	7,7
HARNES		OIGNIES		0,92	0,83	1,2	7,3
Strasbourg Ce		Strasbourg E		0,92	1,11	-2,8	7,4
HARNES		LA BASSEE		0,92	1,08	1,1	7,9
HARNES		ARRAS		0,92	0,86	0,5	7,2
CLERMONT-F.-De		CLERMONT-F.-Ga		0,92	1,10	3,0	8,8
AIX-Art		AIX-Jas		0,92	1,15	-4,5	8,3
Strasbourg E		Strasbourg N		0,92	0,87	0,5	8,5
AMIENS-N		AMIENS-S		0,92	0,91	-2,6	8,9
BETHUNE		LA BASSEE		0,91	1,07	-1,9	7,1
LA BASSEE		LOMME		0,91	1,04	1,0	7,9
MARSEILLE-T		MARSEILLE-LTN		0,91	0,92	-0,8	8,0
HARNES		NOEUX-LES-MINES		0,91	0,86	1,0	7,4
Rouen-Pal		Rouen-Conq		0,91	1,08	1,3	7,3
BASSENS		BORDEAUX-IE		0,91	0,91	-3,2	9,9
ORLEANS-P		ORLEANS sud		0,91	0,94	-2,4	8,5
ST ETIENNE-sud		ST ETIENNE-Traf		0,91	1,07	2,2	7,6
DOUAI-Th		ROOST-W.		0,91	0,92	-1,5	7,9
PARIS-12		PARIS-Def		0,91	1,18	-3,9	7,1
Forbach		MERLEBACH		0,91	1,12	-1,9	7,8
AUDINCOURT		BELFORT		0,90	0,88	-0,4	8,0
Cergy pontoise 95		BOBIGNY		0,90	1,07	2,2	8,4
TOULON-Ch		TOULON-LS		0,90	1,19	-3,3	9,5
BOURGES-G		BOURGES-L		0,90	1,06	-4,3	7,6
CLERMONT-F.-Ga		Montferrand		0,90	1,00	-3,4	8,1
AUDINCOURT		MONTBELIARD		0,90	1,07	-4,0	8,3
LE HAVRE-Nei		LE HAVRE-Her		0,89	1,04	-3,0	8,1
TOULOUSE-Be		TOULOUSE-Cc		0,88	1,04	2,5	8,0
VALENCIENNES-Ac		SAINT-SAULVE		0,88	0,98	-1,5	8,3
VALENCE-sud		VALENCE-C		0,88	0,81	1,6	7,2
Chalon-Ce		Chalon-HC		0,88	0,83	2,9	9,9
CLERMONT-F.-JL		CLERMONT-F.-Ga		0,88	0,99	3,2	8,0
ST ETIENNE-Traf		VEAUCHE		0,87	0,90	-2,6	9,6
CAEN-ChV		CAEN-Ler		0,87	0,88	4,2	7,9
DAIX		LONGVIC		0,86	1,19	-0,5	7,5
ORLEANS-P		ORLEANS-G		0,86	1,04	2,5	9,5
METZ-BORNY		SCY CHAZELLES		0,86	0,82	5,7	9,2
PAU-Bil		PAU-Sam		0,85	0,95	3,5	9,1
Forbach		Sarreguemines		0,85	0,82	2,2	9,0
SAINT-CHAMOND		ST ETIENNE-C		0,84	1,09	-4,6	9,2
Port de Bouc Leque		Carry le Rouet		0,83	0,96	-0,7	8,5
BLOIS-No		BLOIS-Ce		0,71	1,29	-0,4	9,8

Note : les stations surlignées correspondent à des Jauges Bêta qui au vu de leurs classements, semblent donner des relations moins significatives que les TEOM.

5.1.4 Cas où $IC_R > 10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Le Tableau 9 présente les comparaisons : corrélation, pente et ordonnée à l'origine de la régression orthogonale pour les **32** couples d'appareils dans une même ville ou dans une communauté de communes proches, pour lesquels « $IC_R > 10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ».

On notera que les valeurs élevées de IC_R sont souvent dues à une ordonnée à l'origine élevée plus qu'à une faible corrélation ou une mauvaise pente. En effet, **7** couples présentent une corrélation $> 0,90$ et **19** une pente comprise entre 0,9 et 1,1.

Tableau 9 : comparaisons intra-ville par couple d'appareils

station X	PM ₁₀	station Y	PM ₁₀	Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC _R
Strasbourg Cl		Strasbourg N		0,95	0,86	-2,5	11,2
NIMES-B		NIMES-P		0,93	1,10	3,3	11,5
GRENOBLE-Rd		GRENOBLE-Fr		0,93	0,91	-5,7	13,9
AVIGNON		LE PONTET		0,91	1,21	-1,6	10,4
MARSEILLE-T		MARSEILLE-5Av		0,91	0,88	-1,7	10,2
GRENOBLE-Rd		St Martin d'Herès		0,90	1,07	-8,5	12,3
Macon champ		Macon pb		0,90	1,00	5,3	12,6
LE HAVRE-Her		LE HAVRE-Rép		0,89	1,02	6,0	11,9
ANGLET		BIARRITZ		0,89	0,90	-3,7	14,0
PARIS-Basch		PARIS-12		0,89	0,79	-8,4	25,6
METZ-BORNY		ST JULIEN-LES-METZ		0,89	1,05	5,1	11,7
TOULON-LS		TOULON-Ce		0,88	0,82	3,1	12,2
SAINT-SAULVE		VALENCIENNES-Ly		0,87	1,31	0,4	14,6
Chalon-Ce		Chalon-Nord		0,86	0,97	-6,3	14,1
FIRMINY		ST ETIENNE-Traf		0,86	1,13	7,6	14,9
CONTES av		CONTES am		0,85	0,99	2,0	10,3
Rouen-CH		Rouen-Conq		0,85	1,06	4,3	10,9
LE HAVRE-Nei		LE HAVRE-Rép		0,84	1,05	3,4	11,3
Chalon-HC		Chalon-Nord		0,83	1,09	-10,0	14,8
Nancy-Fr		Nancy-P		0,83	1,18	1,5	13,0
BORDEAUX-IE		BORDEAUX-G		0,83	1,09	9,4	17,8
MONTBELIARD		SOCHAUX		0,83	0,88	3,3	10,1
FIRMINY		ST ETIENNE-sud		0,82	1,06	5,0	10,8
FOS SUR MER		Chateaufort La Mede		0,82	0,86	4,8	11,4
BASSENS		BORDEAUX-G		0,82	1,03	5,1	11,8
AUDINCOURT		SOCHAUX		0,80	1,02	-1,5	10,8
VALENCIENNES-Ac		VALENCIENNES-Ly		0,80	1,27	-1,3	14,0
ANGOULEMECh		ANGOULEMEEsp		0,75	1,05	-8,2	12,5
CONTES av		ANTIBES		0,71	1,00	2,2	10,8
BORDEAUX-G		MERIGNAC		0,67	1,02	-13,1	20,7
CONTES am		ANTIBES		0,61	0,58	12,0	16,4
PARIS-Auteuil		PARIS-Def		0,43	0,45	6,5	31,5

Note : les stations surlignées correspondent à des Jauges Bêta qui au vu de leurs classements, semblent donner des relations moins significatives que les TEOM.

5.2 Comparaisons des données de PM_{2.5}

5.2.1 Comparaisons intra-ville des PM_{2.5}

Le Tableau 10 présente les résultats des comparaisons entre les stations voisines de mesure des PM_{2.5} pour les cinq agglomérations où en **2003** co-existaient deux ou trois appareils : Clermont-Ferrand, Agglomération Parisienne, Lille, Rouen et Grenoble. Les typologies des stations sont également indiquées.

Tableau 10 : comparaisons intra-ville par couple d'appareils PM_{2.5}

station X	PM _{2.5}	station Y	PM _{2.5}	Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC _R
CLERMONT-F.-De	U	CLERMONT-F.-Ga	T	0,96	1,04	2,4	5,0
CLERMONT-F.-De	U	Montferrand	U	0,96	1,05	-0,3	3,0
CLERMONT-F.-Ga	T	Montferrand	U	0,92	1,00	-2,6	5,3
GENNEVILLIERS	U	BOBIGNY	U	0,97	0,90	1,6	3,4
VITRY-SUR-SEINE	U	BOBIGNY	U	0,97	1,01	-0,4	3,1
Rouen-Pal	U	Rouen-CH	U	0,97	0,96	-0,7	3,5
LILLE-Fai	T	LOMME	U	0,97	1,18	-1,0	5,0
GRENOBLE-Rd	T	GRENOBLE-Fr	U	0,93	1,04	-6,0	8,8

On voit que les corrélations sont toutes supérieures à 0,92 et peuvent atteindre 0,97. Les pentes des régressions et les IC_R sont en majorité dans la classe 1.

On constate que ces résultats sont dans l'ensemble un peu meilleurs que les comparaisons obtenues avec les PM₁₀ associées dans les mêmes sites, et présentées pour rappel dans le Tableau 11.

Tableau 11: comparaisons intra-ville par couple d'appareils PM₁₀

Station X	PM _{2.5}	station Y	PM _{2.5}	Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC _R
CLERMONT-F.-De	U	CLERMONT-F.-Ga	T	0,92	1,10	3,0	8,8
CLERMONT-F.-De	U	Montferrand	U	0,95	1,09	-0,3	5,1
CLERMONT-F.-Ga	T	Montferrand	U	0,90	1,00	-3,4	8,1
GENNEVILLIERS	U	BOBIGNY	U	0,94	0,91	2,9	6,1
VITRY-SUR-SEINE	U	BOBIGNY	U	0,93	1,03	1,2	6,3
Rouen-Pal	U	Rouen-CH	U	0,95	1,02	-2,9	5,7
LILLE-Fai	T	LOMME	U	0,94	1,17	-0,1	8,1
GRENOBLE-Rd	T	GRENOBLE-Fr	U	0,93	0,91	-5,7	13,9

On a également comparé les différences (PM₁₀ – PM_{2.5}), couramment dénommées « Coarse Particles » (cf Tableau 12).

On voit dans ce cas, que les IC_R restent dans la classe 1, que les ordonnées à l'origine restent faibles. Par contre, les corrélations et les pentes sont nettement moins bonnes que pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}.

Il faut cependant rappeler que les campagnes nationales de 2000 à 2003 avaient montré que les niveaux des « Coarses Particles » dépassaient rarement les $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, et n'étaient donc pas à l'origine des pointes de pollution, dues en fait aux $\text{PM}_{2.5}$.

Cela explique les comparabilités faibles des « Coarses Particles » entre stations voisines, et tend à montrer que cette fraction granulométrique est plutôt d'origine locale.

Tableau 12 : comparaisons intra-ville par couple d'appareils (PM_{10} - $\text{PM}_{2.5}$)

station X (PM_{10} - $\text{PM}_{2.5}$)	station Y (PM_{10} - $\text{PM}_{2.5}$)	Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC_R
CLERMONT-F.-De U	CLERMONT-F.-Ga T	0,78	1,36	-0,4	5,1
CLERMONT-F.-De U	Montferrand U	0,82	1,20	-0,6	4,0
CLERMONT-F.-Ga T	Montferrand U	0,77	0,87	0,1	4,8
GENNEVILLIERS U	BOBIGNY U	0,86	0,97	0,6	4,2
VITRY-SUR-SEINE U	BOBIGNY U	0,84	0,97	1,2	4,9
Rouen-Pal U	Rouen-CH U	0,81	1,01	-1,4	3,9
LILLE-Fai T	LOMME U	0,82	1,40	-1,6	5,6
GRENOBLE-Rd T	GRENOBLE-Fr U	0,67	0,71	-0,5	9,0

5.2.2 Comparaisons inter-villes de $\text{PM}_{2.5}$

Le nombre de zones urbaines équipées d'appareils de mesure des $\text{PM}_{2.5}$ était restreint en 2003 aux quelques zones urbaines présentées dans le Tableau 13. Les appareils $\text{PM}_{2.5}$ sont logiquement moins comparables que dans les cas intra-villes, mais pas moins que les appareils PM_{10} dans ces mêmes zones (Tableau 14).

Il faut cependant noter que les appareils PM_{10} de ces zones n'étaient pas les plus comparables de l'ensemble du réseau national.

Tableau 13 : comparaisons inter-villes par couple d'appareils $\text{PM}_{2.5}$

station X	$\text{PM}_{2.5}$	station Y	$\text{PM}_{2.5}$	Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC_R
NANTES (2b)	U	ANGERS	U	0,89	0,86	1,3	4,4
ST QUENTIN	PU	Reims Tq	PU	0,89	1,04	-0,2	5,0
CLERMONT-F. (3b)	U+T	MONTLUCON	T	0,77	0,83	2,4	5,4
Rouen (2b)	U	PARIS (3b)	U	0,87	1,00	0,2	5,6
CAEN-Ler	U	LE HAVRE (2b)	U	0,92	1,33	-1,9	6,4
Reims Tq	PU	PARIS (3b)	U	0,87	1,37	-3,1	6,7
LE HAVRE (2b)	U	Rouen (2b)	U	0,79	0,80	2,7	7,9
ST ETIENNE-Traf	T	CLERMONT-F. (3b)	U+T	0,88	1,82	-5,5	8,2
BORDEAUX (2b)	U	PAU-Bil	U	0,61	0,49	6,0	8,2

Si les corrélations restent encore acceptables, on voit que les pentes des régressions en $\text{PM}_{2.5}$ sont variées et témoignent de disparités entre zones élargies.

Tableau 14: comparaisons inter-villes par couple d'appareils PM_{10}

station X	PM ₁₀	station Y	PM ₁₀	Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC _R
NANTES (2b)	U	ANGERS	U	0,90	1,07	-0,5	4,9
ST QUENTIN	PU	Reims Tq	PU	0,88	1,08	-0,3	6,7
CLERMONT-F. (3b)	U+T	MONTLUCON	T	0,75	0,99	5,3	11,8
Rouen (2b)	U	PARIS (3b)	U	0,84	1,14	-3,0	8,1
CAEN-Ler	U	LE HAVRE (2b)	U	0,86	1,07	2,8	9,8
Reims Tq	PU	PARIS (3b)	U	0,91	1,13	-0,8	7,0
LE HAVRE (2b)	U	Rouen (2b)	U	0,75	0,84	2,3	10,4
ST ETIENNE-Traf	T	CLERMONT-F. (3b)	U+T	0,84	1,11	-2,7	7,4
BORDEAUX (2b)	U	PAU-Bil	U	0,61	1,35	-2,9	13,8

Les comparabilités entre les « Coarse Particles » présentées sur le Tableau 15 sont plutôt inexistantes, selon les raisons déjà évoquées en 5.2.1.

Tableau 15 : comparaisons inter-villes par couple d'appareils (PM₁₀ - PM_{2,5})

station X (PM ₁₀ - PM _{2,5})		station Y (PM ₁₀ - PM _{2,5})		Corrélation	Pente	Ordonnée origine	IC _R
NANTES (2b)	U	ANGERS	U	0,72	1,16	-2,4	4,2
ST QUENTIN	PU	Reims Tq	PU	0,76	2,08	-2,3	6,7
CLERMONT-F. (3b)	U+T	MONTLUCON	T	0,69	1,04	0,9	4,9
Rouen (2b)	U	PARIS (3b)	U	0,72	1,70	-4,0	5,6
CAEN-Ler	U	LE HAVRE (2b)	U	0,62	0,82	1,2	5,4
Reims Tq	PU	PARIS (3b)	U	0,78	0,76	1,6	4,8
LE HAVRE (2b)	U	Rouen (2b)	U	0,62	0,76	1,1	4,9
ST ETIENNE-Traf	T	CLERMONT-F. (3b)	U+T	0,65	0,56	0,4	9,3
BORDEAUX (2b)	U	PAU-Bil	U	0,46	4,14	-16,6	11,3

Note : les chiffres entre parenthèse (ex : **NANTES (2b)**) correspondent aux nombres de stations moyennées pour l'agglomération concernée.

Etant donné le faible nombre de stations, les analyses cartographiques n'ont pas pu être réalisées.

6. CRITÈRES D'HOMOGENÉITÉ SPATIALE DES TENEURS EN PM₁₀

6.1 Principe

Ce chapitre est dédié au choix des classes des paramètres statistiques utilisés :

- la corrélation,
- la pente de la droite de régression orthogonale,
- l'intervalle de confiance de « reproductibilité », récapitulés dans le Tableau 16, et commentés ensuite.

Tableau 16 : classes retenues pour les cartographies

Classe	Corrélation	Pente	IC _R
1	> 0,90	0,95 à 1,05	< 5
2	0,90 à 0,85	1,05 à 1,10 et 0,90 à 0,95	5 à 7,07
3	0,85 à 0,80	1,10 à 1,20 et 0,80 à 0,90	7,07 à 10
4	← 0,80	← 0,80 et → 1,20	→ 10

6.2 La corrélation

On considère qu'une corrélation élevée entre deux stations est un indice d'homogénéité temporelle puisque les variations sont simultanées, et cela quelles que soient la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression. Les valeurs trouvées sont réparties en 4 classes, dont seules les deux premières seront retenues. La norme EN 12341 fixe à 0,95 le carré de la corrélation acceptable pour l'équivalence entre deux appareils sur un même site, soit sa racine carrée = 0,97. Sur des sites différents, l'acceptation en terme de corrélation a été élargie à 0,85.

6.3 La pente de régression linéaire

On considère qu'une pente proche de « 1 » est un indice d'homogénéité spatiale entre les deux sites considérés. Les valeurs trouvées sont réparties en 4 classes, dont seules les deux premières seront retenues. La norme EN 12341 fixe de 0,90 à 1,10 l'intervalle de pente acceptable pour l'équivalence entre deux appareils sur un même site. Bien que les comparaisons portent sur des sites différents, cet intervalle n'a pas été élargi.

6.4 L'intervalle de confiance de reproductibilité IC_R

L'intervalle de confiance de « reproductibilité » est un indice qui cumule de fait les effets des 3 autres : corrélation, pente et ordonnée à l'origine. Les valeurs trouvées sont réparties en 4 classes, dont les trois premières seront retenues.

7. RÉSULTATS DES COMPARAISONS INTER-VILLES EN PM₁₀

Ainsi, 315 comparaisons entre villes et/ou agglomérations voisines ont été réalisées sur l'ensemble des deux années, puis sur les périodes d'hiver et sur les périodes d'été. Le Tableau 17 ne fait apparaître que les **56** meilleures comparaisons sur les deux années 2002 et 2003 qui ont donné simultanément des corrélations, des pentes et des ICR tous trois dans leurs classes d'acceptation selon le Tableau 16.

Note : les chiffres entre parenthèse (ex : **LYON-sud (2)**) correspondent aux nombres de stations moyennées pour l'agglomération concernée.

Tableau 17 : les meilleures comparaisons

Liens inter-agglomérations		Les 2 années complètes			Les périodes d'hiver			Les périodes d'été		
X	Y	Corr	Pente	ICR	Corr	Pente	ICR	Corr	Pente	ICR
LYON-sud (2)	GENAS	0,91	1,04	7,2	0,91	1,01	8,4	0,90	1,22	5,7
LAVAL	ALENCON	0,92	1,04	4,7	0,92	1,02	5,0	0,93	1,07	4,4
Nord Cen (4)	Nord est (3)	0,95	1,02	4,4	0,96	1,04	4,5	0,95	1,00	4,2
DOLE	BESANCON (2)	0,90	1,02	6,4	0,90	1,05	7,1	0,91	0,90	5,1
NANTES (3)	CHOLET	0,90	1,01	4,6	0,89	1,06	5,0	0,91	0,97	4,1
LYON-sud (2)	VIENNE (2)	0,95	0,99	5,4	0,96	0,95	6,1	0,93	1,16	4,5
AMIENS-C	ST QUENTIN	0,90	0,99	5,6	0,92	0,93	5,5	0,89	1,07	5,8
DOUAI (3)	Nord Cen (4)	0,94	0,99	5,3	0,95	0,94	5,5	0,93	1,07	5,1
ANGERS	LAVAL	0,92	0,99	4,6	0,91	1,03	4,6	0,93	0,95	4,7
ARTOIS (5)	DOUAI (3)	0,95	0,98	4,9	0,96	1,00	4,8	0,95	0,96	5,0
ANNECY (3)	CHAMBERY	0,96	0,96	4,8	0,96	0,98	5,9	0,96	0,97	3,4
METZ (3)	St Avoird (4)	0,93	0,96	6,8	0,93	0,97	7,4	0,92	0,92	6,1
LYON (4)	GENAS	0,92	0,93	7,6	0,94	0,94	7,5	0,97	1,01	4,3
St Avoird (4)	Sarreguemines	0,94	0,93	5,3	0,94	0,93	5,9	0,93	0,93	4,6
Colmar	Mulhouse	0,92	0,93	6,7	0,91	0,93	8,7	0,95	0,98	3,9
ANNEMASSE (2)	ANNECY (3)	0,91	0,93	7,0	0,91	0,90	7,8	0,93	0,91	6,2
PARIS em (8)	TREMBLAY-EN-F	0,93	0,92	5,9	0,94	0,94	6,1	0,93	0,90	5,7
LYON (4)	LYON-sud (2)	0,92	0,92	8,0	0,93	0,93	8,6	0,90	0,83	7,2
ARTOIS (5)	AMIENS (3)	0,92	0,91	5,9	0,92	0,92	6,4	0,93	0,91	5,3
ALBI	CASTRES	0,90	0,91	6,4	0,90	0,90	6,6	0,91	0,93	6,2
AMIENS-C	COMPIEGNE	0,90	0,91	5,9	0,92	0,90	5,7	0,87	0,92	6,1
STRASBOURG (5)	Colmar	0,91	0,91	8,6	0,92	0,91	9,5	0,91	0,85	7,6
Nord Cen (4)	ST QUENTIN	0,92	0,91	5,6	0,91	0,88	5,8	0,92	0,93	5,3
AMIENS (3)	DOUAI (3)	0,91	1,07	5,8	0,91	1,08	6,2	0,91	1,06	5,4
LE MANS-VG	ANGERS	0,90	1,08	5,0	0,92	1,06	4,7	0,88	1,10	5,4
COMPIEGNE	ST QUENTIN	0,91	1,09	5,3	0,94	1,03	4,6	0,89	1,16	5,9

Dans ce cas ci-dessus où les corrélations sont en classe 1, on notera le peu de différences entre les comparaisons faites en hiver et celles faites en été.

Par contre, dans la suite du tableau ci-dessous où les corrélations sont toutes en classe 2 , il apparaît de meilleures comparabilités en été qu'en hiver.

(Suite du tableau)

Liens inter-agglomérations		Les 2 années complètes			Les périodes d'hiver			Les périodes d'été		
X	Y	Corr	Pente	ICR	Corr	Pente	ICR	Corr	Pente	ICR
ST ETIENNE(5)	ROANNE	0,90	0,96	5,5	0,90	0,94	6,2	0,90	0,99	4,7
DOLE	DIJON (3)	0,89	0,97	6,0	0,88	0,95	6,8	0,93	1,03	4,4
VESOUL	BESANCON (2)	0,89	1,02	6,1	0,88	1,04	7,0	0,91	0,99	4,5
MARSEILLE (4)	AIX (2)	0,89	0,97	8,3	0,88	1,01	8,2	0,90	0,92	8,3
VESOUL	DIJON (3)	0,87	0,98	6,1	0,87	0,92	6,3	0,92	1,22	5,4
Nord est (3)	Reims (2)	0,87	0,95	7,2	0,88	0,99	7,5	0,87	0,90	6,8
Reims (2)	Troyes (2)	0,87	0,99	6,9	0,87	0,99	7,4	0,87	0,98	6,4
NEVERS	CHATEAUROUX (2)	0,87	0,97	5,6	0,86	0,89	6,2	0,89	1,07	4,9
ST NAZAIRE (2)	NANTES (3)	0,86	0,97	5,4	0,80	1,01	6,3	0,92	0,94	4,2
LA ROCHELLE (2)	NIORT (2)	0,86	1,02	6,2	0,81	1,07	7,6	0,91	0,99	4,4
TOURS (3)	BLOIS-Ce	0,85	0,96	8,9	0,87	1,01	8,4	0,84	0,88	9,3
SENS	MELUN	0,85	1,00	7,8	0,86	0,92	7,8	0,86	1,18	7,9
DONGES	ST NAZAIRE-LB	0,85	0,96	6,0	0,87	1,12	5,3	0,86	0,81	6,7

Liens inter-agglomérations		Les 2 années complètes			Les périodes d'hiver			Les périodes d'été		
X	Y	Corr	Pente	ICR	Corr	Pente	ICR	Corr	Pente	ICR
NANTES (3)	ANGERS	0,90	1,07	4,9	0,88	1,07	5,2	0,92	1,09	4,5
POITIERS (3)	NIORT (2)	0,90	0,94	5,1	0,89	0,91	5,7	0,90	1,00	4,4
AMIENS (3)	Nord Cen (4)	0,89	1,07	6,6	0,90	1,01	7,2	0,90	1,14	5,8
DONGES	ST NAZAIRE-FdL	0,89	0,92	5,1	0,90	1,05	4,5	0,89	0,83	5,6
Arles	NIMES (2)	0,89	0,93	9,9	0,91	0,92	9,3	0,86	0,95	10,4
TOURS (3)	POITIERS (3)	0,89	0,92	5,8	0,88	0,96	6,6	0,90	0,88	4,9
LE MANS-VG	LAVAL	0,89	1,07	5,3	0,87	1,10	5,7	0,91	1,03	4,7
Troyes (2)	SENS	0,89	0,93	7,6	0,92	0,99	6,5	0,87	0,82	8,5
ANGERS	CHOLET	0,89	0,95	5,2	0,86	0,99	5,8	0,92	0,89	4,6
JURA 25/90 (3)	Mulhouse	0,88	0,93	7,8	0,87	0,93	10,3	0,94	1,04	4,0
ST QUENTIN	Reims (2)	0,88	1,08	6,7	0,90	1,17	6,7	0,86	0,97	6,6
CHARTRES (2)	ALENCON	0,88	0,92	5,7	0,87	0,87	6,1	0,89	0,98	5,3
LACQ	PAU-Bil	0,87	0,95	9,8	0,83	0,90	10,7	0,92	1,00	8,6
BREST-1	QUIMPER	0,87	1,08	6,2	0,85	1,14	6,9	0,87	1,04	5,6
CAEN (3)	LE HAVRE (4)	0,86	1,07	9,8	0,85	1,10	10,8	0,88	1,04	8,6
CHATEAUROUX (2)	POITIERS (3)	0,86	1,06	6,2	0,84	1,17	7,4	0,91	0,95	4,6
COGNAC	NIORT (2)	0,86	1,09	5,6	0,83	1,14	6,6	0,89	1,07	4,5

On notera les niveaux élevés des classes de corrélations et de relations linéaires entre agglomérations non voisines, qui sont du même ordre de grandeur que pour beaucoup de comparaisons intra-villes.

Ces résultats renforcent la robustesse des tests statistiques utilisés pour la recherche d'homogénéité.

Les représentations cartographiques suivantes sont basées sur les mêmes paramètres statistiques, pris individuellement dans leurs classes respectives d'acceptation. Elles sont réalisées sur les périodes d'hiver puis d'été.

8. CARTOGRAPHIE NATIONALE DES ZONES D'HOMOGENÉITÉ

8.1 Introduction

L'application des principes énoncés ci-avant au territoire national et aux pays limitrophes du nord et de l'est, a permis de relier toutes les stations voisines de mesure des PM_{10} présentant des liens statistiques significatifs.

Les confirmations diverses des différences entre hiver et été ont amené à tracer les cartographies suivantes d'une manière séparée selon la séparation tropique, soit l'hiver de octobre à mars et l'été de avril à septembre. Les cartes relatives aux deux années complètes ressemblent beaucoup aux cartes de l'hiver, et n'ont pas été représentées.

On présente successivement les cartes réalisées avec les pentes des régressions linéaires, qui témoignent de la représentativité spatiale, puis avec les corrélations plus liées à l'aspect temporel, et enfin avec les intervalles de confiance de reproductibilité qui combinent les deux aspects.

On notera qu'en hiver, les zones sont plus nombreuses qu'en été car elles sont plus restreintes dans leurs dimensions ; cela témoigne d'une plus grande diversité des flux de pollution mesurées par les appareils. En effet, pendant les saisons froides apparaît la grande majorité des pointes de pollution et également la presque totalité des artefacts météorologiques observés sur les appareils automatiques.

On notera enfin sur les cartes suivantes que les stations situées sur les littoraux présentent beaucoup moins de liens statistiques que les stations situées plus dans l'intérieur des terres.

8.2 Cartes des pentes des régressions linéaires

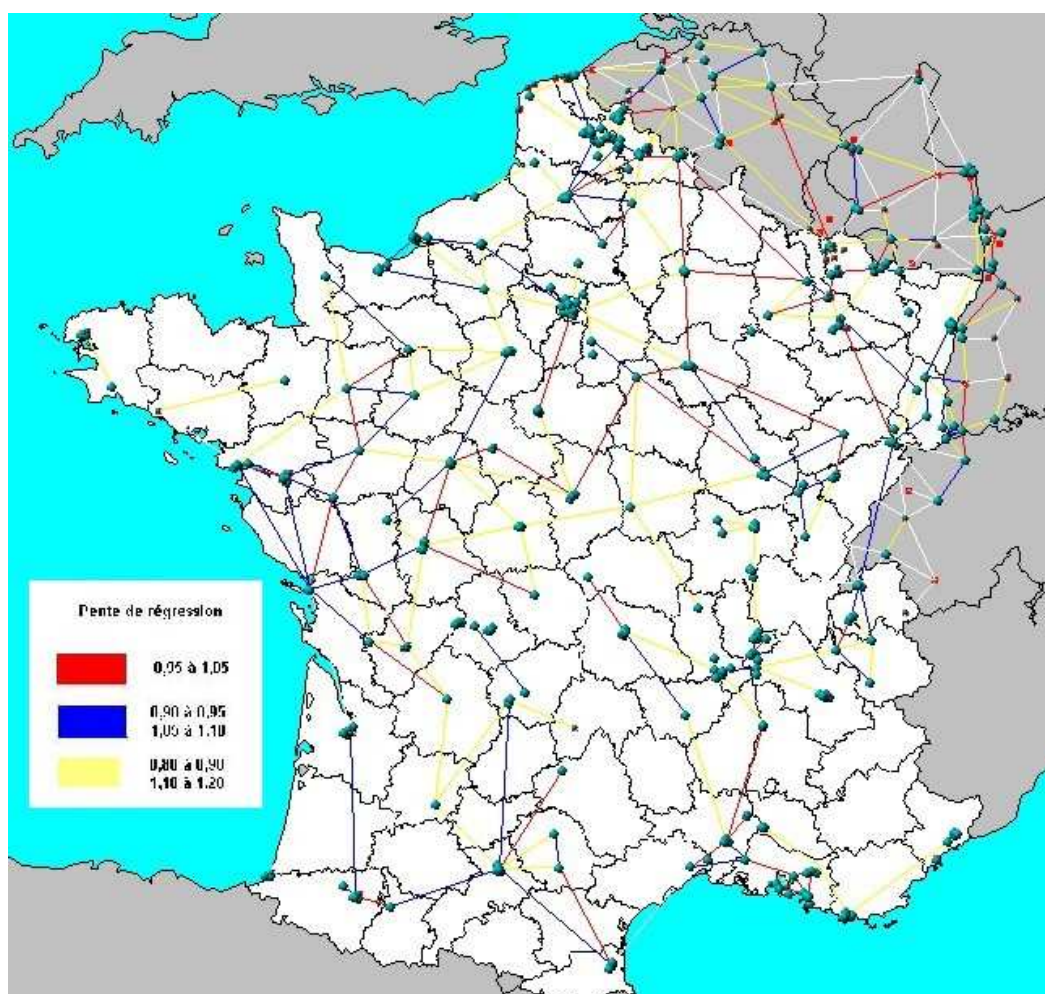


Figure 5 : carte des pentes pendant les hivers

Cette carte met en évidence les zones suivantes :

1. Lille – Amiens - Compiègne,
2. Est du nord (59) jusqu'à Bar le Duc (55), Troyes et nord de la Bourgogne,
3. Alsace et Franche-Comté,
4. Vallée alpine axe nord-sud de Annecy à Chambéry,
5. Lyon à St Etienne,
6. Vallée du Rhône Lyon à Nîmes,
7. Aix (13) à Toulon (83),
8. Départements autour de Toulouse,
9. Pau – Tarbes,
10. Pau – Bordeaux (exclusion littoral Bayonne),
11. Axe de La Rochelle vers le nord-est jusqu'en Champagne,
12. Axe de Nantes vers le nord-nord-est jusqu'à Alençon (61),
13. Caen – Evreux,
14. Le Havre – Rouen,
15. Ile de France jusqu'à Orléans.

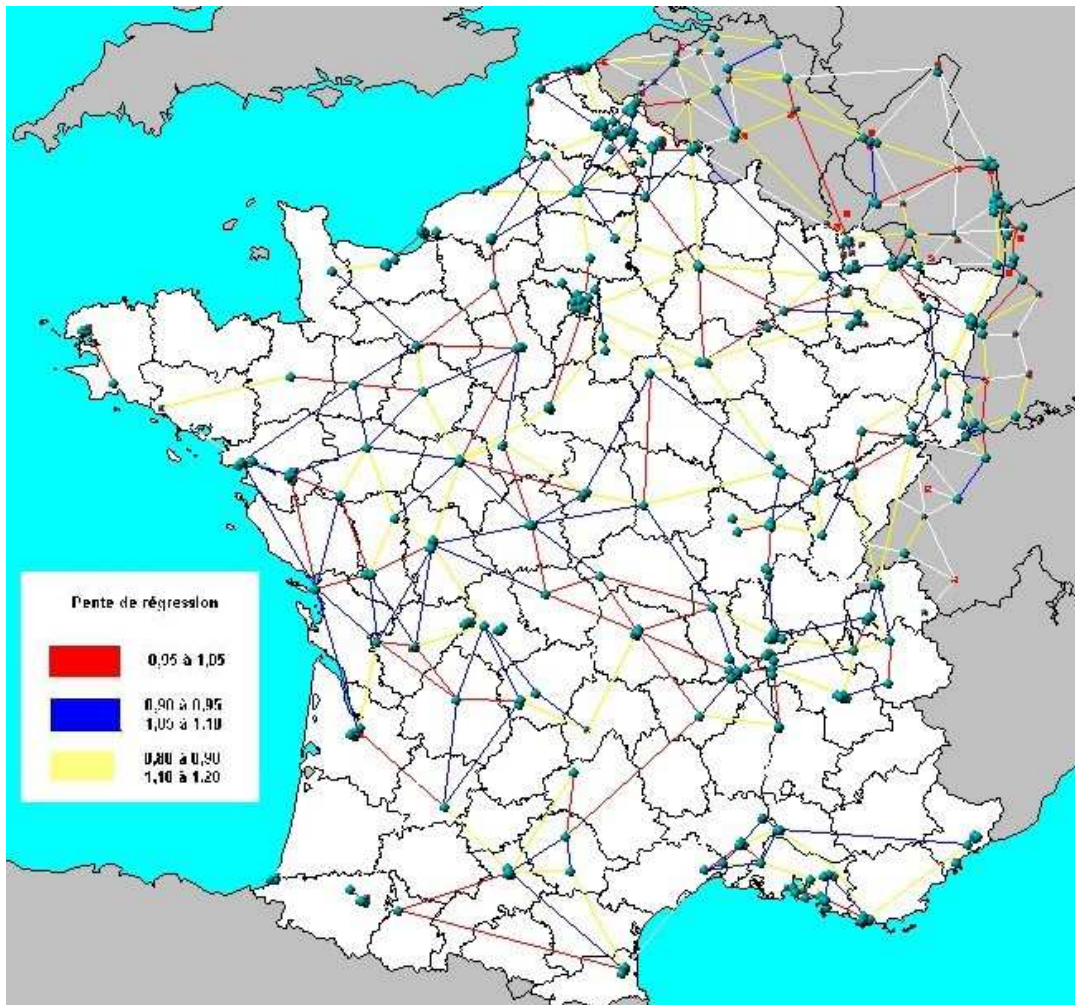


Figure 6 : carte des pentes pendant les étés

On retrouve en été à peu près les mêmes zones qu'en hiver, mais plus larges et donc interpénétrées. Les différences principales par rapport à la carte « Hiver » précédente sont sur l'ensemble un passage des pentes de la classe 2 à la classe 1, et l'apparition de nouveaux liens :

1. Entre Champagne et Franche-Comté,
2. Axe nord-sud en vallée de Saône,
3. Entre Vaucluse – Alpes Maritimes,
4. Entre Toulouse et St Etienne,
5. Axe Atlantique vers l'est-sud-est jusqu'à Lyon,
6. Entre Brest et Quimper.

8.3 Cartes des corrélations

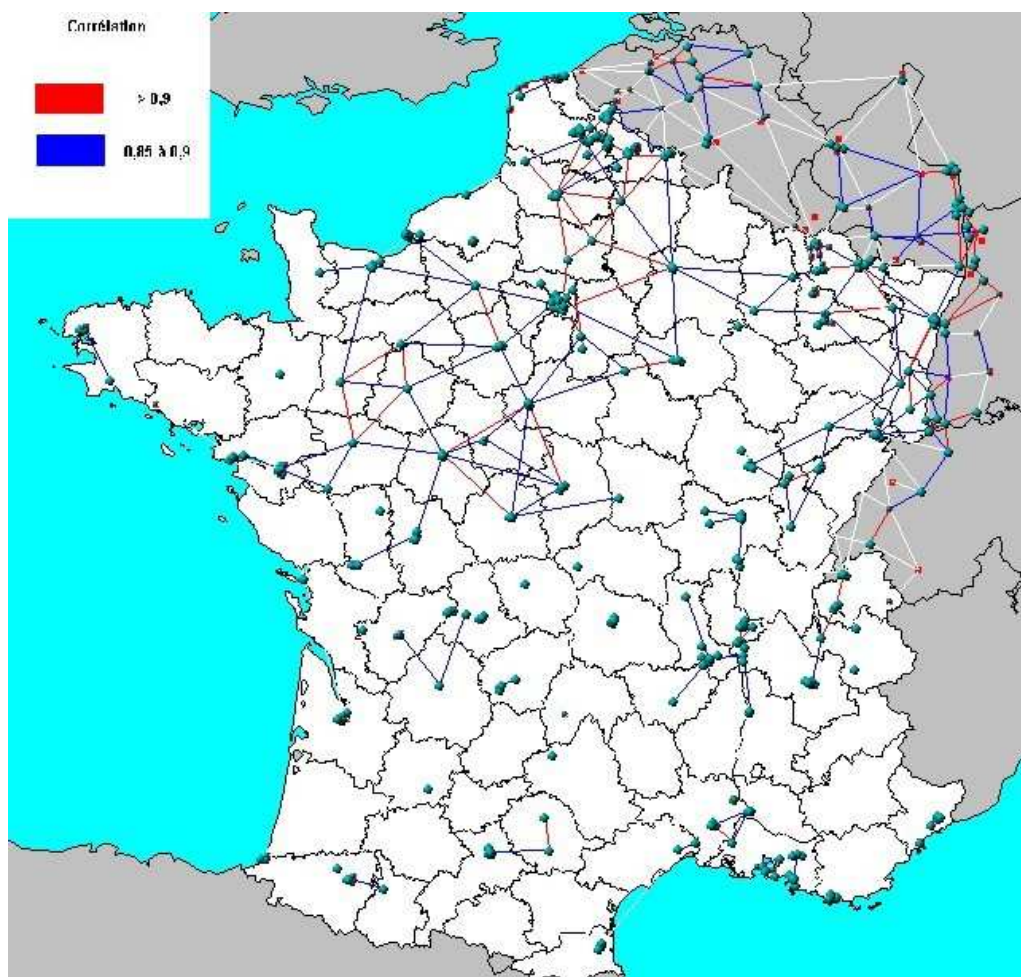


Figure 7 : carte des corrélations pendant les hivers

Cette carte comparée à celle des pentes (Figure 5) met en évidence des évolutions dans les zones suivantes :

1. Lille extension à Ile de France,
2. Est du nord (59) jusqu'à Bar le Duc (55), Troyes,
3. liens renforcés entre Alsace et Franche-Comté,
4. nouveau lien en Bourgogne,
5. Vallée alpine axe nord-sud de Annecy à Chambéry, inchangé,
6. Lyon à St Etienne, inchangé,
7. Autour de Toulouse, réduit à Castres - Albi,
8. Pau – Tarbes, inchangé,
9. Plus de lien au départ de La Rochelle,
10. Axe au départ de Niort vers la Champagne et Ile de France,
11. Axe de Nantes vers le nord et nord-est jusqu'à Caen et Paris,
12. Caen – Evreux, inchangé,
13. Ile de France extension jusqu'à Châteauroux.

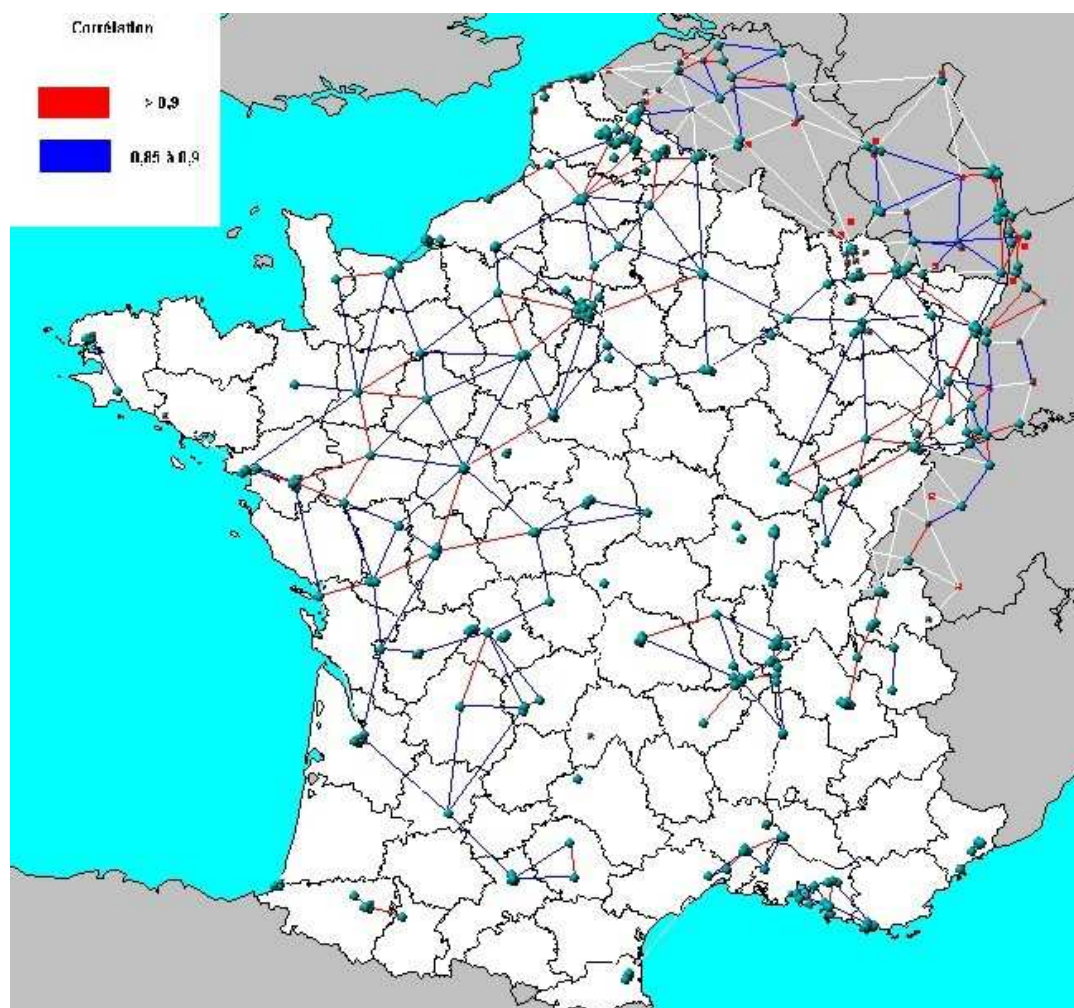


Figure 8 : carte des corrélations pendant les étés

La carte des corrélations en été reprend celle de l'hiver avec des extensions des surfaces des zones et des renforcements des liens marqués par le passage de corrélations de la classe 2 à la classe 1.

Par rapport à la carte « pentes en été », cette carte « corrélations » est plus sélective en terme de séparation des zones, avec :

1. extension de la zone NPdC – Picardie,
2. zone élargie Lorraine – Alsace – Franche Comté,
3. de Lyon à Clermont-Ferrand,
4. Autour de Toulouse, réduit à Castres - Albi,
5. zone limousin,
6. grand axe pénétrant de l'atlantique (Bordeaux-Nantes) vers le nord-nord-est.

8.4 Cartes des intervalles de confiance de reproductibilité

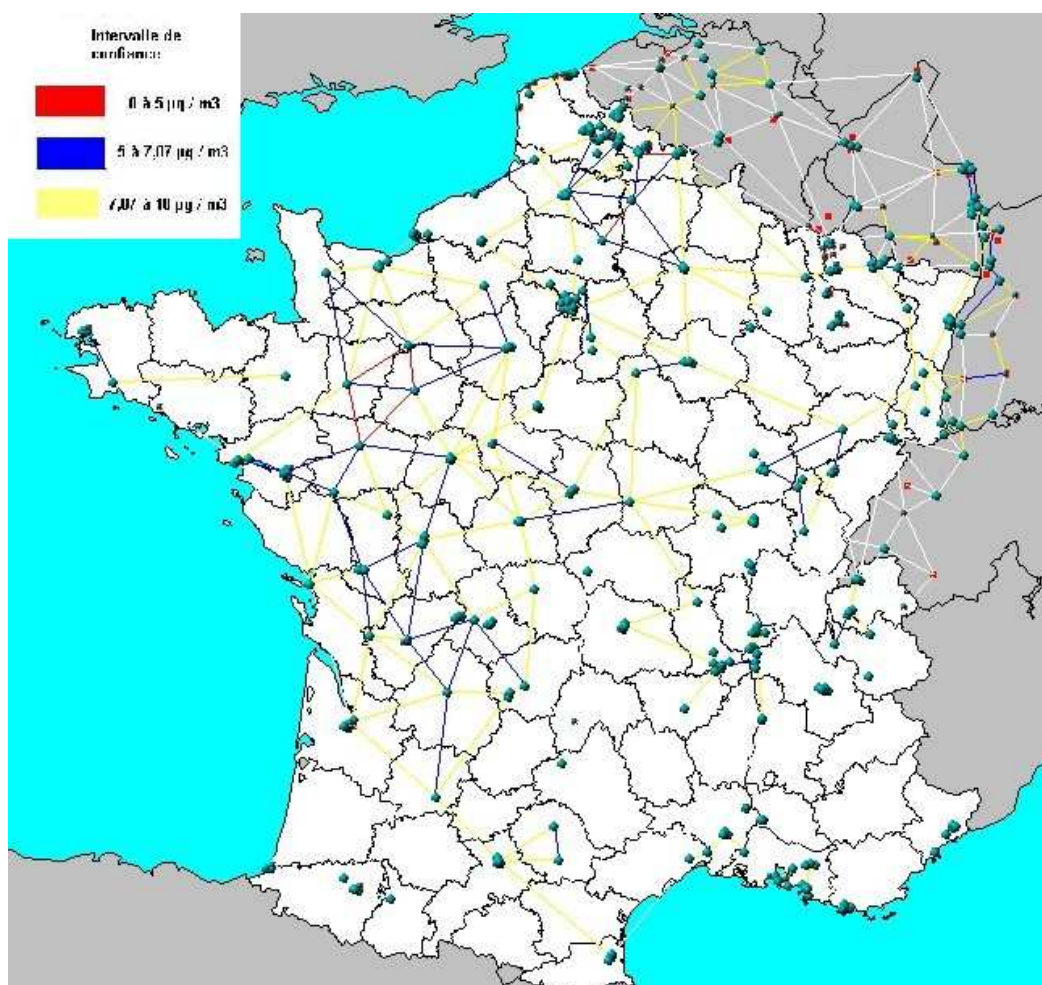


Figure 9 : carte des IC_R pendant les hivers

Si on se limite aux deux premières classes, l'intervalle de confiance de reproductibilité qui regroupe les résultats obtenus avec les pentes, les corrélations et les ordonnées à l'origine, est encore plus sélectif. On distingue :

1. zone NPdC – Picardie,
2. Lorraine, Alsace sont isolées,
3. Lien Bourgogne – Franche Comté,
4. pas de lien en PACA ni en sud-Aquitaine,
5. Un axe nord-sud atlantique-manche à l'intérieur des terres,
6. et Ile de France isolée.

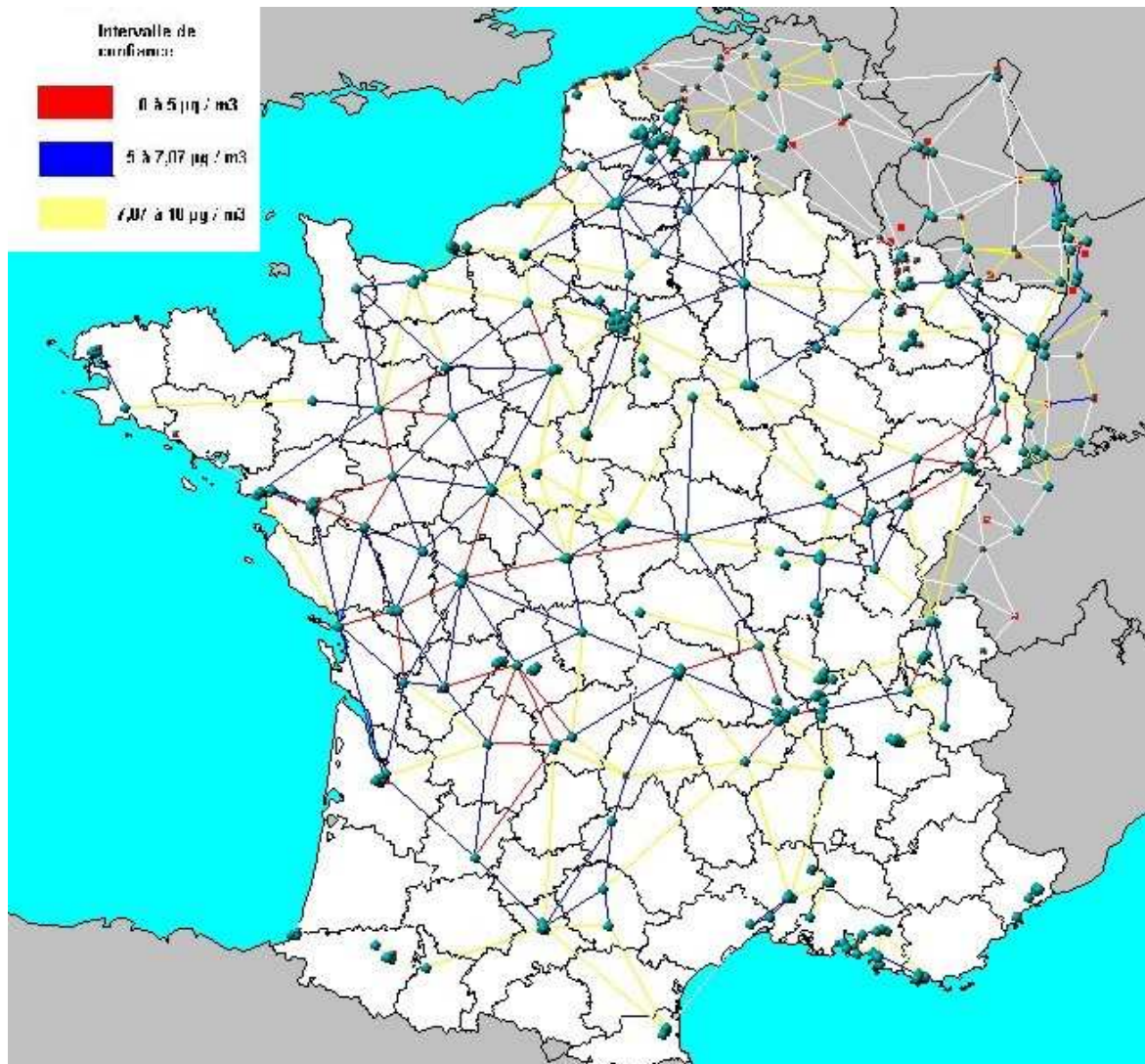


Figure 10 : carte des IC_R pendant les étés

On note sur cette carte l'existence de blocs séparés :

1. L'ouest-atlantique depuis Bordeaux – Toulouse - Brives jusqu'à la Manche,
2. Picardie – Nord-Pas-de-Calais – Ile de France et Champagne,
3. Lorraine nord – Alsace – Franche Comté,
4. Rhône (42, 69),
5. Vallées alpines.

On peut remarquer deux axes de pénétration depuis les Charente :

1. vers l'est -nord-est jusqu'au Jura,
2. et vers l'est -sud-est jusqu'au Rhône.

On note également l'absence de lien interne et externe dans tout le sud-est et l'extrême sud-ouest.

8.5 Bilan

8.5.1 Introduction

Les figures suivantes présentent les découpages du territoire national en zones d'homogénéité établies selon les degrés de liaison obtenus avec les 3 paramètres statistiques pris en compte.

Il s'agit de réunification de départements dans lesquels les stations ont présenté les liaisons suffisantes. Les zones laissées en blanc correspondent soit à l'absence de liaison, ou de station de mesure.

Les stations étant pratiquement toutes urbaines, ce zonage ne prétend donc pas refléter des homogénéités sur des zones entières, mais plutôt des homogénéités dans les villes de ces zones. De plus, ces cartes ne font pas apparaître les mauvaises comparabilités des stations du littoral ; ce point avait déjà été présenté dans les cartes du chapitre 8.

8.5.2 Zonage à partir des pentes de régression

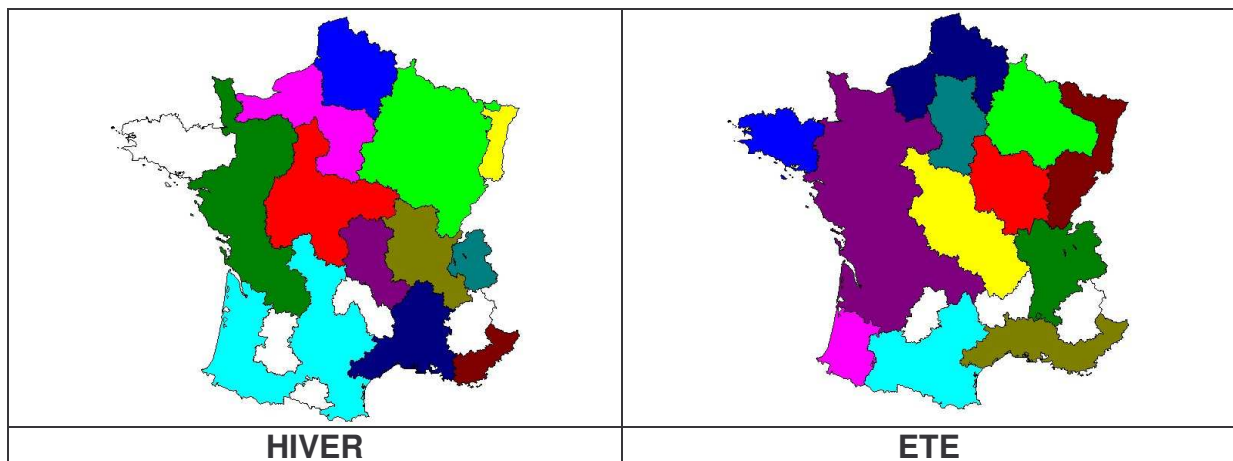


Figure 11 : zonage à partir des pentes de régression

Les cartes ci-dessus réalisées avec les pentes des droites de régression sont celles qui présentent la plus grande couverture du territoire. Elles correspondent à l'homogénéité spatiale de groupes de stations qui reçoivent des niveaux voisins de PM_{10} .

En cas de correction au jour le jour, ce mode de zonage serait à privilégier.

La carte d'hiver montre une absence de lien en Bretagne, et une zone atlantique plus restreinte qu'en été.

Les différences des flux d'aérosols selon les saisons, peuvent expliquer les différences entre ces deux cartes.

8.5.3 Zonage à partir des corrélations

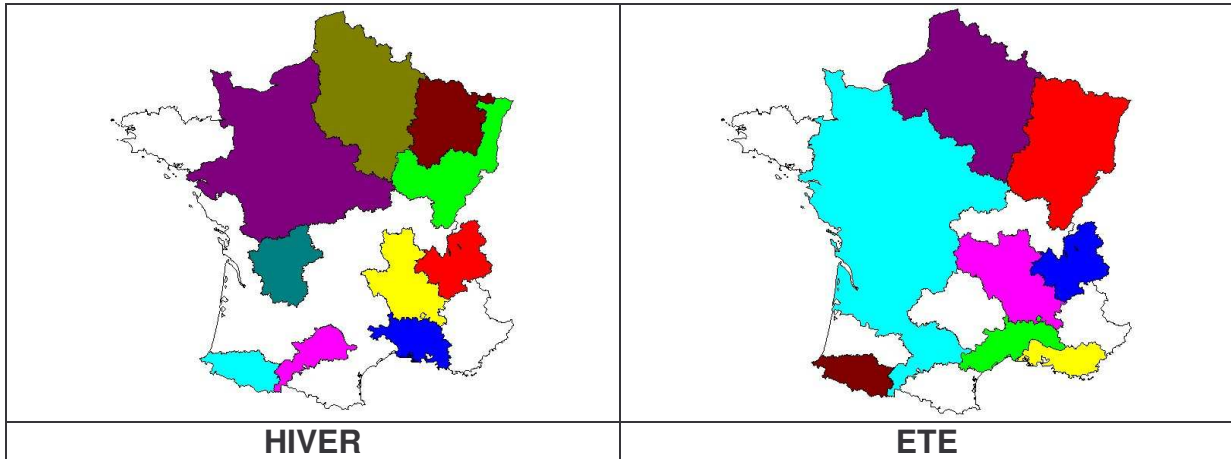


Figure 12 : zonage à partir des corrélations

Les cartes ci-dessus réalisées avec les corrélations présentent une couverture du territoire assez restreinte, surtout dans les reliefs, sur les littoraux et en hiver. La carte d'été présente une zone atlantique très vaste. Elle correspond à une forme d'homogénéité temporelle de groupes de stations qui reçoivent des niveaux assez simultanés de PM₁₀.

En cas d'étude des pointes de pollution, ce mode de zonage serait à privilégier.

8.5.4 Zonage à partir des reproductibilités

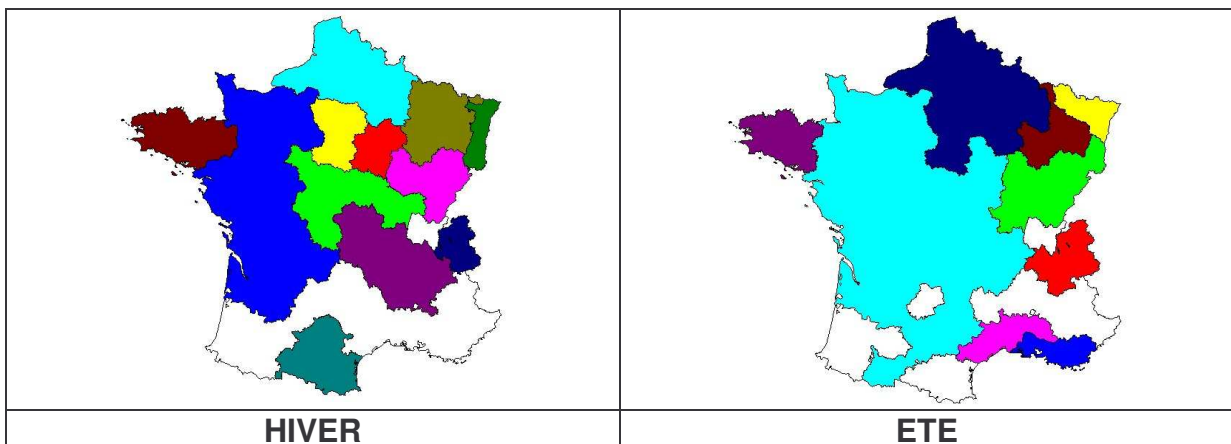


Figure 13 : zonage à partir des reproductibilités

Les cartes ci-dessus réalisées avec les intervalles de confiance de reproductibilité, présentent une couverture du territoire conséquente, sauf en hiver dans tout le quart sud de la France, où des stations sont manquantes, et où les reliefs jouent un rôle restrictif dans les liens entre stations. La carte d'été présente une immense zone atlantique. Elles correspondent à une forme d'homogénéité globale de groupes de stations qui reçoivent des niveaux voisins de PM₁₀ pendant les mêmes périodes.

Ce mode de zonage plus global est à privilégier dans le cas d'étude de dépassements dans les zones réglementaires.

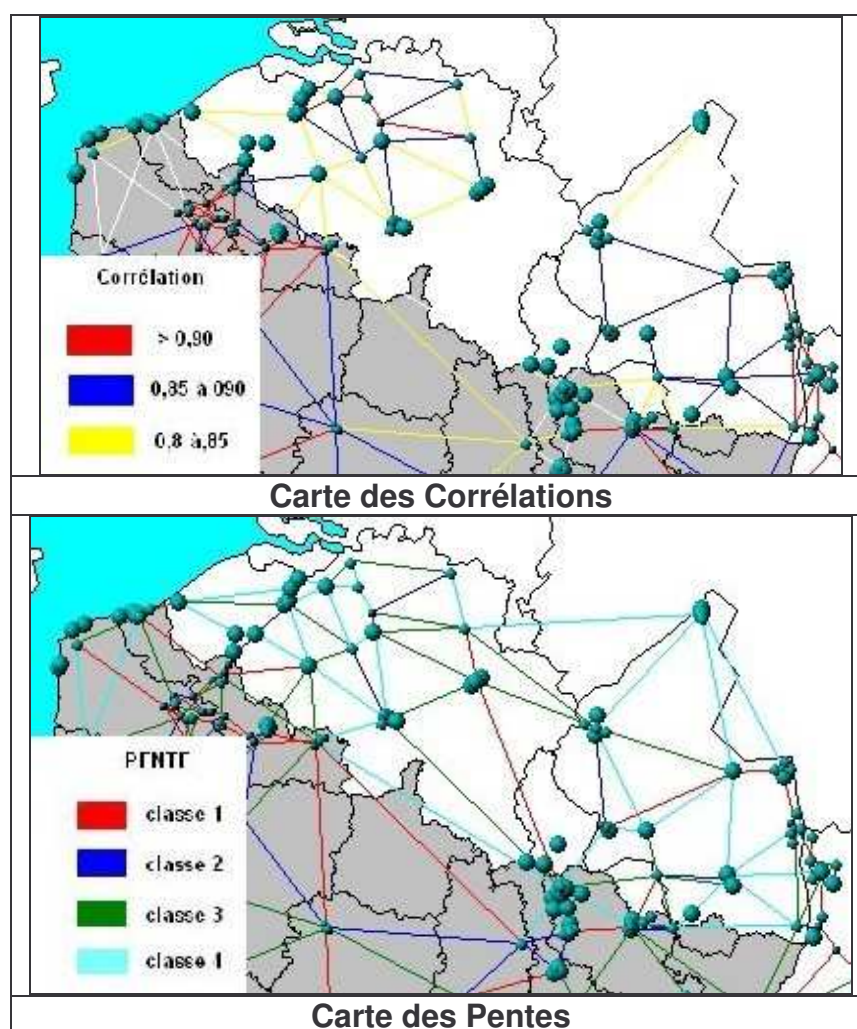
9. CARTOGRAPHIE ÉTRANGÈRE DES ZONES D'HOMOGENÉITÉ

Les mêmes principes d'étude ont été appliqués aux stations de mesure des pays limitrophes au nord et à l'est de la France sans distinction entre les méthodes de mesure utilisées. Il n'a pas été possible d'obtenir les données des 2 stations du Luxembourg. L'influence des barrières montagneuses ont empêché d'étendre l'étude à l'Italie et à l'Espagne.

9.1 Au nord : Belgique et Rhénanie-Palatinat

Les liens intra-ville n'apparaissent pas sur ces cartes à grande échelle ; mais on a noté des liens forts entre les stations allemandes, et beaucoup moins entre les stations belges.

Figure 14 : Relations entre France et pays voisins au nord



On voit en règle générale que les liens entre la France et les pays voisins sont moins forts qu'entre les stations françaises, surtout avec la Belgique. Les liens entre les stations belges ne sont d'ailleurs pas conséquents. Peut-être est-ce dû à l'usage belge de jauges Bêta (1998) qui ont semblé aussi en France donner de moins bonnes relations statistiques (cf Tableau 8 et Tableau 9).

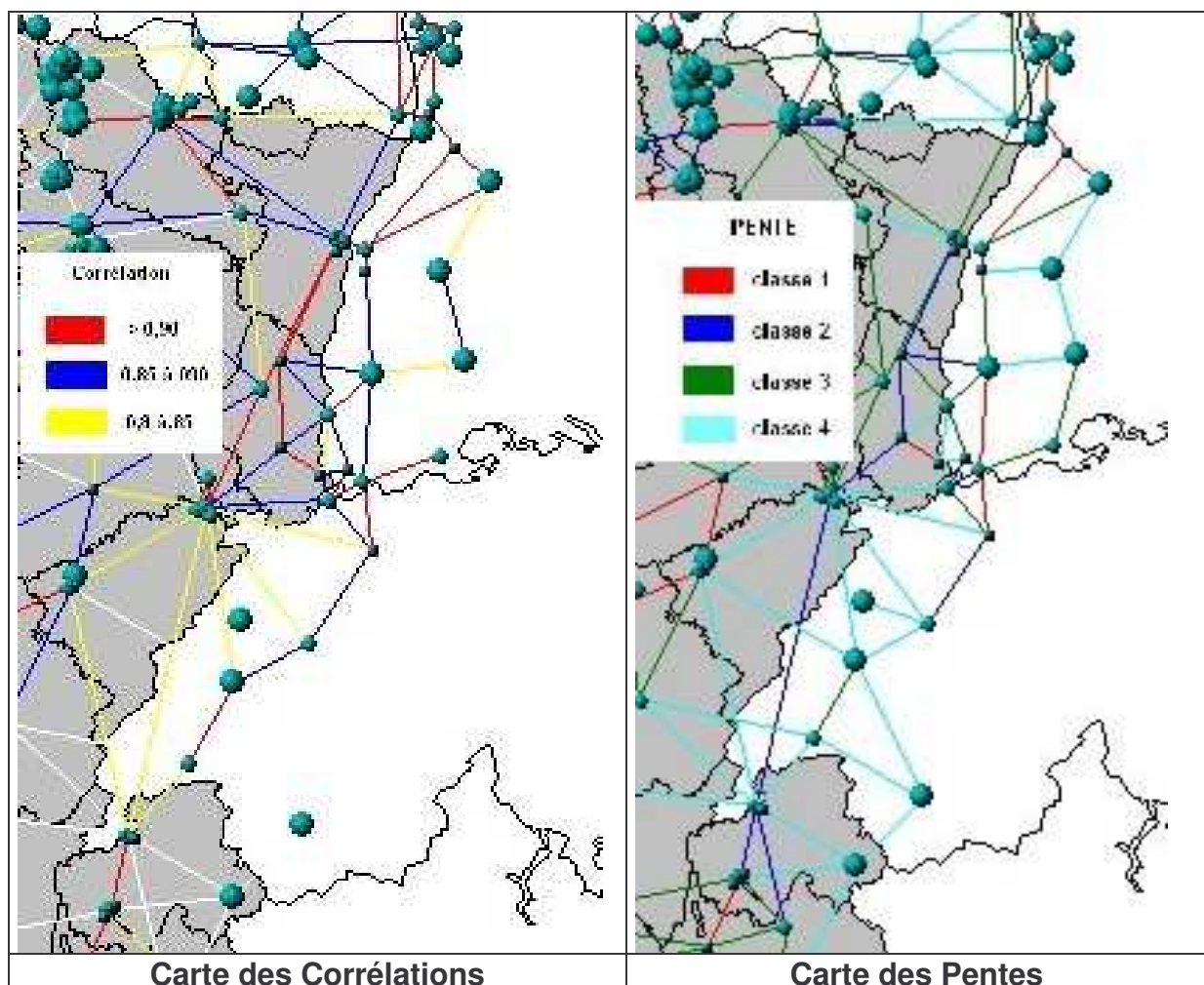
9.2 A l'est : Bade-Würtemberg et Suisse

Les liens intra-ville n'apparaissent pas sur ces cartes à grande échelle ; mais on a noté des liens forts entre les stations allemandes, et aussi entre les 4 stations du plateau suisse entre elles et avec une continuité vers le nord dans la partie allemande de la vallée du Rhin.

Les deux cartes de la Figure 15 montrent entre la France et la Suisse des corrélations de classes 3 ou 4, c'est-à-dire plutôt mauvaises ; les reliefs doivent en être une des causes principales. La fréquence élevée de classe 4 pour les pentes des régressions est surtout dues d'une part au **facteur de correction (1,3 ?)** utilisé sur les données suisses, et d'autre part au fait que les données allemandes obtenues étaient faites **par gravimétrie**.

Les statistiques sont par contre bien meilleures entre l'Alsace et la partie allemande de la vallée du Rhin. On notera en Allemagne une diminution des liens statistiques entre les stations de la vallée rhénane et celles situées à l'est dans les reliefs de la forêt noire.

Figure 15 : Relations entre France et pays voisins à l'est



10. CONCLUSIONS

Une recherche des zones présentant une certaine homogénéité dans les niveaux de PM_{10} mesurés, a été entreprise en 2005 à partir des données des années 2002 et 2003 de presque 300 stations de mesure sur le territoire français, et de 83 stations au-delà des frontières du nord et de l'est, quelle que soit leur typologie, afin de délimiter les zones où les données issues des groupes d'appareils automatiques pourraient être assujetties à une correction mathématique ou instrumentale commune ou spécifique.

Les stations ne présentant aucun de ces liens avec aucune station voisine n'ont pas été retenues. Il s'agit en général de stations souffrant d'une proximité particulière. Cela concernait essentiellement des stations industrielles et/ou sous influence maritime, quelques stations sous haute influence du trafic automobile et enfin plusieurs autres stations sans raison connue.

Ces paramètres statistiques ont été répartis en quatre classes dont seules les meilleures ont été retenues.

Des regroupements de départements reliés par la même classe de chaque paramètre utilisé ont été réalisés sur les données d'hiver et d'été.

L'étude a montré que des stations d'une même ville peuvent atteindre des corrélations supérieures à 0,95 et des pentes de régression proche de l'unité. Certaines stations présentent la même comparabilité entre villes éloignées. Cela prouve la robustesse des tests réalisés.

Par contre, on a noté que les stations situées sur les littoraux présentent beaucoup moins de liens statistiques que les stations situées plus dans l'intérieur des terres.

Il en est de même des stations situées en zone industrielle dense.

Les jauges Bêta sont moins bien reliées statistiquement que les TEOM.

L'étude de relations statistiques entre les données journalières des PM_{10} sur ces deux années regroupées, a permis de délimiter à l'aide de cartes, des zones d'homogénéité par rapprochement de stations voisines présentant des liens statistiques significatifs parmi les suivants :

- les pentes des droites de régression représentant l'aspect plutôt spatial,
En cas de correction au jour le jour, le mode de zonage basé sur les pentes des droites de régression serait à privilégier ;
- les corrélations représentant l'aspect plutôt temporel,
En cas d'étude des pointes de pollution, ce mode de zonage serait à privilégier ;
- les intervalles de confiance de reproductibilité regroupant les deux aspects,
Ce mode de zonage plus global est à privilégier dans le cas d'étude de dépassements dans les zones réglementaires.

Les nombres de zones sont plus élevés en hiver, ou exprimé différemment, les zones homogènes sont plus vastes en été.

Ce zonage peut permettre une approche de la connaissance des zones d'homogénéité de données obtenues, qui pourraient subir les mêmes principes de traitement, soit de correction mathématique zonale, ou de recalage spécifique dans chaque zone par rapport à un appareil de référence ou par modélisation.

Cependant, les stations étant pratiquement toutes urbaines, ce zonage ne prétend donc pas refléter des homogénéités de zones entières, mais plutôt des homogénéités dans les villes de ces zones.

Cependant, la variabilité des données en zones non urbaines étant réputée plus faible, on peut émettre l'hypothèse que l'homogénéité entre des villes d'une zone donnée, implique une certaine homogénéité dans toute cette zone.

Des corrections des données PM_{10} basées sur des concentrations de composés volatiles (mesurées ou estimées) serait mal adaptées dans la mesure où ces composés se trouvent essentiellement dans la fraction $PM_{2,5}$.

Un certain nombre de comparaisons entre stations voisines dans une même ville mais de typologies différentes (fond urbain et trafic) se sont révélées très bonnes, même pour les régressions linéaires ; cela montre dans ce cas que des stations annoncées sous influence du trafic le sont moins que prévu.

ANNEXE A – MOYENS STATISTIQUES

A1 - Introduction

La détermination des caractéristiques de performance d'une méthode de mesure passe par une procédure d'évaluation (NFX 20-300, ISO 9169), mettant en oeuvre des mesures répétées de matériaux de référence.

En ce qui concerne les particules en suspension dans l'air ambiant, ou tout paramètre pour lequel il n'existe pas de matériaux de référence, les mesures ne peuvent être réalisées que sur des échantillons d'air ambiant, ce qui implique l'impossibilité de faire des mesures répétées du même échantillon. On ne peut donc évaluer de telles méthodes de mesure que par comparaison avec une autre méthode sur des échantillons d'air ambiant. Les deux méthodes à comparer peuvent être identiques ou différentes :

- dans le premier cas, on peut accéder à une forme de répétabilité intra-méthode, bien qu'il s'agisse de deux appareils identiques mais séparés,
- dans le deuxième cas, on détermine une forme de comparabilité d'une méthode par rapport à l'autre, en tenant compte des répétabilités respectives de chaque méthode si des mesures dupliquées préalables l'ont permis.

Ainsi, le protocole idéal est de mettre en oeuvre chaque méthode en double ou plus, et de la comparer avec une autre méthode. Le but initial d'une comparaison est de déterminer de combien une méthode de mesure s'écarte d'une autre. Sachant que l'idéal est l'égalité des mesures appariées, l'étude comparative de valeurs centrales et d'un modèle linéaire entre deux méthodes semble bien adaptée, après validation des données de base. Ensuite, les déterminations de la répétabilité, de la comparabilité et des intervalles de confiance viennent compléter l'étude des données.

A2 - Présentation et interprétation des résultats

A2.1 - Calculs des répétabilités et/ou des reproductibilités

Il convient de différencier 3 cas.

A2.2 - Cas de un seul type d'appareil dupliqué sur le même site

On dispose de n couples de données simultanées $x_{1,i}$ et $x_{2,i}$ provenant d'un seul type d'appareil de mesure dupliqué. On calcule la variance de répétabilité « S_r^2 » puis l'intervalle de confiance « IC_r » ainsi que la répétabilité « r » selon :

$$S_r^2 = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2 \quad IC_r = t.S_r \quad r = \sqrt{2}.t.S_r$$

où :

$t_{n-2,1-\alpha/2}$ est le coefficient de Student-Fischer relevé dans les tables avec "v = n-2" degrés de liberté au seuil de confiance bilatéral $(1-\alpha/2)=97,5\%$,
 IC_r est l'intervalle de confiance attaché à un mesurage individuel,
 r est la déviation maximale entre deux mesurages dupliqués sur un même site.

Selon la norme EN 12341, un appareil de mesure des PM_{10} est admis comme référence si $IC_r \leq 5\mu g.m^{-3}$; à fortiori, une méthode de mesure alternative peut en théorie être considérée comme candidate à l'équivalence si cette condition est remplie.

A2.3 - Cas de plusieurs séries d'appareils dupliqués sur le même site

Si on dispose de « p » couples d'appareils numérotés « j = 1 à p » et des séquence de mesure « i = 1 à n » , on a les couples de mesure $x_{i,j,1}$ et $x_{i,j,2}$; on calcule pour chaque séquence « i » leurs écarts « $w_{i,j} = x_{i,j,1} - x_{i,j,2}$ » , leurs moyennes par couple $\bar{y}_{i,j}$ et les moyennes de l'ensemble par séquence $\bar{\bar{y}}_i$. On calcule la

variance de répétabilité interne à chaque couple Sr_i^2 (cf 2.1.1) et la variance dite

$$Sr_i^2 = \frac{1}{2.p} \sum (w_{i,j})^2 \quad \text{et} \quad S_{L_i}^2 = \frac{1}{(p-1)} \sum (\bar{y}_{i,j} - \bar{\bar{y}}_i)^2 - \frac{Sr_i^2}{2}$$

« inter-méthode » $S_{L_i}^2$:

On calcule enfin la variance de reproductibilité externe « S_R^2 » et la reproductibilité « R » selon ISO 5725-2 :

$$S_R^2 = \frac{1}{n} \sum Sr_i^2 + \frac{1}{n} \sum S_{L_i}^2 \quad IC_R = t.S_R \quad R = \sqrt{2}.IC_R$$

où :

$t_{n-2,1-\alpha/2}$ est le coefficient de Student-Fischer relevé dans les tables avec "v = n-2" degrés de liberté au seuil de confiance bilatéral $(1-\alpha/2)=97,5\%$,
 IC_R est l'intervalle de confiance attaché à un mesurage individuel,
 R est la déviation maximale entre deux mesurages dupliqués sur un site.

A2.4 - Cas de deux appareils voisins sur des sites différents

Si on dispose de n couples de données simultanées x_i et y_i , provenant de deux appareils de mesure X et Y non dupliqués, on calcule une autre forme de la variance de répétabilité « S_r^2 » :

$$S_r^2 = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2$$

Par extension, on appliquera cette formule à celles décrites en 0, à deux appareils (ou aux moyennes de deux groupes d'appareils) situés sur des sites différents pour démontrer l'homogénéité des teneurs en PM_{10} sur une zone donnée. On utilisera dans ce cas, la notion de reproductibilité.

On utilisera aussi dans ce cas un modèle linéaire de régression ainsi que le coefficient de corrélation.

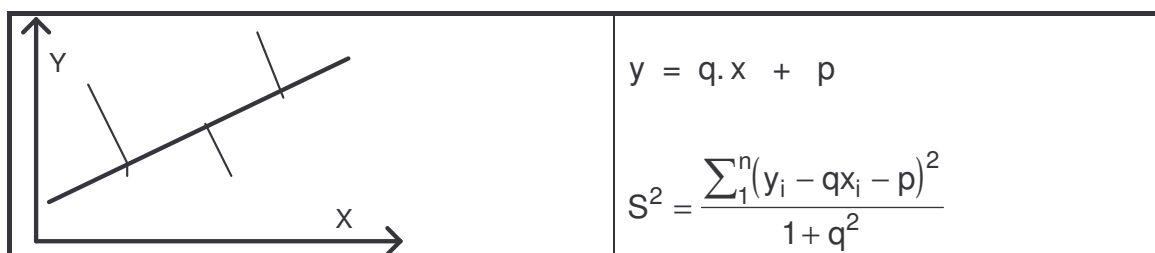
A3 - Modèle linéaire

Plusieurs modes de régression linéaire peuvent être réalisés. La régression orthogonale a été choisie ; le mode de calcul est présenté ci-après.

A3.1 - Régression linéaire orthogonale

La régression quadratique ci-dessous semble plus appropriée pour la comparaison de données indépendantes car au contraire de la régression linéaire classique, elle ne dépend pas du sens dans lequel les variables sont prises.

On cherche l'équation de la droite $y = q \cdot x + p$ telle que la somme des carrés des écarts quadratiques S^2 soit minimale :



$$\frac{\partial S^2}{\partial p} = \frac{\sum_1^n (y_i - qx_i - p)}{1 + q^2} = 0 \quad , \quad \text{on en tire } p = \bar{y} - q\bar{x}$$

la droite passe par le point moyen \bar{x}, \bar{y} .

$$\frac{\partial S^2}{\partial q} = \frac{\sum_1^n [(y_i - \bar{y}_i) - q(x_i - \bar{x})]}{1 + q^2} = 0$$

La résolution des dérivées partielles par rapport à « p » puis à « q » conduit à une équation du second degré dont la racine positive est :

$$q = \frac{SCE_y - SCE_x + \sqrt{(SCE_y - SCE_x)^2 + 4SPE_{xy}^2}}{2SPE_{xy}}$$

où :

SPE_{xy} est la somme des produits des écarts entre les x_i, y_i et leurs moyennes respectives,

SCE_y est la somme des écarts entre les y_i et leur moyenne.

SCE_x est la somme des écarts entre les x_i et leur moyenne.

A3.2 - Coefficient de corrélation

Le coefficient de corrélation est égal à :

$$r = \frac{\text{SPE}_{xy}}{\sqrt{\text{SCE}_x \cdot \text{SCE}_y}} = \frac{\sum_1^n [(y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})]}{\sqrt{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_1^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Le coefficient de corrélation est symétrique en x et en y . Son estimation est une variable aléatoire qui permet de déceler l'existence d'une liaison entre les variables x et y . Il faut connaître sa loi de distribution pour évaluer la confiance de cette estimation pour par exemple la comparer à des valeurs théoriques telles que 0 ou 1. En fait, le coefficient de corrélation est surtout efficace pour vérifier l'absence de liaison entre les variables x et y , c'est-à-dire s'il est inférieur à une valeur prédéterminée. Il n'est pas assez précis pour vérifier si la liaison entre x et y est forte. Cependant, il est d'usage de considérer en matière de mesurage qu'un coefficient supérieur à 0,9 montre une bonne dépendance des variables, et qu'il permet d'affecter à une série de comparaisons multiples un ordre de classement.

**Extrait de l'annexe technique de la convention avec le
MEDD relative aux travaux LCSQA 2005**

EQUIVALENCE ET REPRESENTATIVITE DES METHODES DE SURVEILLANCE DES PARTICULES

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Ces travaux s'inscrivent dans le programme animé par l'ADEME sur la mesure des PM₁₀ et des PM_{2.5} dans les AASQA. Les objectifs de cette étude sont :

- la détermination du degré d'équivalence des mesures automatiques par rapport à une méthode gravimétrique de référence,
- l'application du document « Demonstration of equivalency » sur les données PM10 et PM2.5 nationales et européennes,
- la détermination des zones de représentativité des mesures des PM10,
- l'estimation des incertitudes globales sur les moyennes et les nombres de dépassements des valeurs limites et vérification du respect des objectifs de qualité stipulés dans les Directives Européennes.

TRAVAUX EN COURS

Les travaux en cours concernent le programme de comparaison entre les mesures gravimétriques des PM₁₀ avec des préleveurs Partisol et les mesures continues obtenues par les jauges Bêta MP101M développées par Environnement SA dans leur configuration d'origine, puis équipées du système RST de régulation de température.

Les travaux en cours concernent également la détermination de l'incidence de l'application de coefficients de correction sur les données PM₁₀ stockées dans la BDQA

TRAVAUX PROPOSES POUR 2005

Des essais comparatifs de jauges Bêta modifiées avec la gravimétrie, seront élargis à la détermination de l'équivalence de ce type d'appareil à l'aide de mesures dupliquées en collaboration avec l'INERIS, AIRPARIF et l'assistance du constructeur Environnement S.A. .

Le document « Demonstration of equivalency » sera appliqué aux mesures issues des campagnes nationales (PM10) et européennes (PM2.5 - PrEN 14907). La répétabilité des TEOM-PM10 sera estimée par l'exploitation des données disponibles des TEOM et jauges Bêta, dupliqués en station s'il en est, et entre stations voisines afin d'approcher les notions d'incertitude globale.

L'estimation de la représentativité géographique des stations PM10 et PM2.5 sera réalisée à partir des données des AASQA contenues dans la BDQA, et des réseaux de mesures des pays voisins au nord et à l'est de la France. L'homogénéité des zones couvertes par des stations de mesure sera également étudiée à l'aide des notions de « bassins d'air », et par l'exploitation des écarts « PM10 - PM2.5 », en hiver et en été.

La veille technologique sur les nouveaux analyseurs par radiométrie bêta (OP SIS, Thermo Electron) fera aussi l'objet d'une attention permanente.

COLLABORATIONS

- Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'air
- INERIS, MEDD, ADEME.