



# **Analyse descriptive du comportement de l'ozone sur l'Arc Atlantique**



## INTRODUCTION

L'ozone, situé dans la troposphère jusqu'à 15 km d'altitude, est un polluant complexe. Ce composé n'est pas directement émis dans l'air, mais se forme, sous l'effet du rayonnement ultraviolet du soleil, à partir de deux familles de polluants, dits « précurseurs », essentiellement d'origine automobile et industrielle : les oxydes d'azote et les composés organiques volatils.

Ce polluant est nocif à fortes concentrations, ou lors d'expositions prolongées. Néfaste pour la santé humaine et sur la végétation, il constitue un des facteurs essentiels de la dégradation de la qualité de l'air. Pour cette raison, les réglementations européennes et françaises ont fixé des normes pour ce polluant qui portent à la fois sur des niveaux moyens et sur des niveaux de pointes. Les Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) sont chargées de surveiller ces valeurs sur l'ensemble du territoire français. Pour cela, elles développent en permanence des outils permettant de mesurer, modéliser et prévoir les niveaux d'ozone dans l'air ambiant extérieur.

L'ozone est un polluant qui peut migrer sous l'action des vents et dont les concentrations peuvent fortement varier en fonction des conditions météorologiques locales. La pollution par l'ozone peut donc toucher de larges zones du territoire. Durant l'été 2003, lors de l'épisode de canicule, des records de pollution ont été enregistrés sur une grande partie du territoire français ainsi que sur de nombreux pays limitrophes.

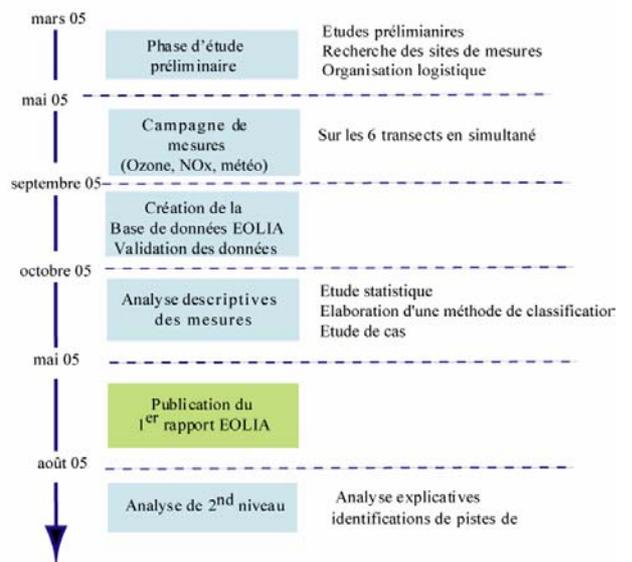
La bordure littorale atlantique évoque instinctivement l'air pur. Toutefois, comme les autres régions plus continentales, elle n'est pas forcément épargnée par des pointes de pollution à l'ozone. Afin d'approfondir les connaissances sur le comportement spécifique de l'ozone en bordure littorale, les quatre réseaux de surveillance de la qualité de l'air des régions de la façade atlantique (AIRAQ ATMO Aquitaine, ATMO Poitou-Charentes, Air Pays de la Loire et Air Breizh) ont mis en œuvre, un programme d'Etude de l'Ozone sur le Littoral Atlantique : EOLIA durant l'été 2005.

Les finalités du programme E O L I A se déclinent en deux phases :

- améliorer la compréhension du comportement particulier de l'ozone en bordure Atlantique (grâce à un dispositif complet de mesure de l'ozone). Ces données permettront également de mieux prévoir les niveaux d'ozone.
- réaliser une surveillance de la pollution en zones très touristiques. En période estivale, le littoral atlantique fait partie des zones françaises les plus fréquentées et voit sa population augmenter de façon considérable. Dans un souci d'information de la population, il est important de réaliser une surveillance plus pointue de la qualité de l'air sur l'ensemble du littoral atlantique en cette période de l'année.

Le programme EOLIA se déroule en plusieurs phases :

- une phase préliminaire de définition d'un programme commun, d'organisation et de logistique,
- une seconde phase qui consiste en la réalisation d'une campagne de mesure de l'ozone sur l'ensemble de l'arc atlantique durant l'été 2005,
- une troisième étape vise à la validation et l'analyse descriptive de l'ensemble des données recueillies,
- suite à cette analyse descriptive du comportement de l'ozone, une analyse explicative des phénomènes mis en jeu sera menée en collaboration avec des organismes de recherche spécialisés.



Ce document conclut l'étude descriptive du programme. Il présente successivement :

- une étude sur la spécificité de l'ozone sur le littoral atlantique basée sur l'analyse des données de pollution enregistrées par les AASQA du réseau ATMO,
- une description du dispositif de mesures mis en place durant l'été 2005,
- un aperçu général du comportement de l'ozone sur la façade atlantique,
- une étude statistique large visant à définir des comportements typiques d'ozone,
- une étude sur la distribution spatiale de l'ozone de l'océan vers l'intérieur des terres par une méthode de classification,
- des études de cas qui visent à analyser l'évolution spatio-temporelle de l'ozone lors de régimes météorologiques contrastés.



<b><u>INTRODUCTION</u></b>	<b>2</b>
<b><u>CHAPITRE I : SPECIFICITE DU LITTORAL ATLANTIQUE</u></b>	<b>5</b>
<b><u>CHAPITRE II : LE DISPOSITIF MIS EN OEUVRE</u></b>	<b>16</b>
<b><u>CHAPITRE III : APERÇU GENERAL DES NIVEAUX D'OZONE SUR L'ARC ATLANTIQUE</u></b>	<b>26</b>
<b><u>CHAPITRE IV : ETUDE STATISTIQUE DEFINITION DE TYPOLOGIES DE SITES EN FONCTION DU COMPORTEMENT DE L'OZONE</u></b>	<b>38</b>
<b><u>CHAPITRE V : ETUDE DE CLASSIFICATION DES NIVEAUX D'OZONE LE LONG DES TRANSECTS</u></b>	<b>54</b>
<b><u>CHAPITRE VI : ETUDE DE CAS</u></b>	<b>77</b>
<b><u>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</u></b>	<b>85</b>



# Chapitre I : Spécificité du littoral Atlantique

L'objectif de ce chapitre est d'étudier le comportement de l'ozone sur le littoral Atlantique par comparaison à ce qui est observé à l'intérieur des terres. Il s'agit donc de mettre en évidence et de quantifier l'impact du littoral Atlantique sur les concentrations d'ozone.

<b>II.1. IMPACT DU LITTORAL SUR LES CONCENTRATIONS EN OZONE A L'ECHELLE NATIONALE</b>	<b>6</b>
II.1.1 Impact du littoral sur la médiane	8
II.1.2 Impact du littoral sur le centile 98	10
<b>II.2. L'OZONE SUR LES DIFFERENTES ZONES LITTORALES</b>	<b>11</b>
<b>II.3. L'OZONE SUR LE LITTORAL ATLANTIQUE</b>	<b>12</b>
II.3.1 Etude de la répartition des valeurs	12
II.3.2 Etude des profils journaliers	13
<b>II.4. CONCLUSION</b>	<b>15</b>

Une première partie est consacrée à la caractérisation des concentrations d'ozone de toutes les stations françaises selon une typologie géographique : littorale, montagne et continentale. Cette étude porte sur les médianes et les percentiles annuels. Une seconde partie concerne uniquement les mesures des régions de Bretagne, Pays de La Loire, Poitou-Charentes et Aquitaine, elle porte sur l'étude des concentrations horaires entre 2000 et 2005.

## I.1. Impact du littoral sur les concentrations en ozone à l'échelle nationale

Cette étude se base sur les données issues de la Banque de Données de la Qualité de l'Air de l'ADEME qui centralise l'ensemble des données de qualité de l'air enregistrées de 2000 à 2004 par les réseaux de surveillance sur les sites permanents. L'ADEME a mis en place des critères de classification des sites de mesures, ainsi l'ensemble des stations de mesures françaises répondent à ces critères, et sont donc classées comme urbaine, périurbaine, industrielle, rurale .... Une classification complémentaire (typologie géographique) a été déterminée afin de traduire l'appartenance à une zone géographique propre :

- **sites à caractère littoraux** : les stations éloignées de moins de 20 km de la côte
- **sites à caractères montagneux** : les stations dont l'altitude est supérieure à 250 mètres.
- **sites à caractère continentaux** : toutes les autres stations de mesures.

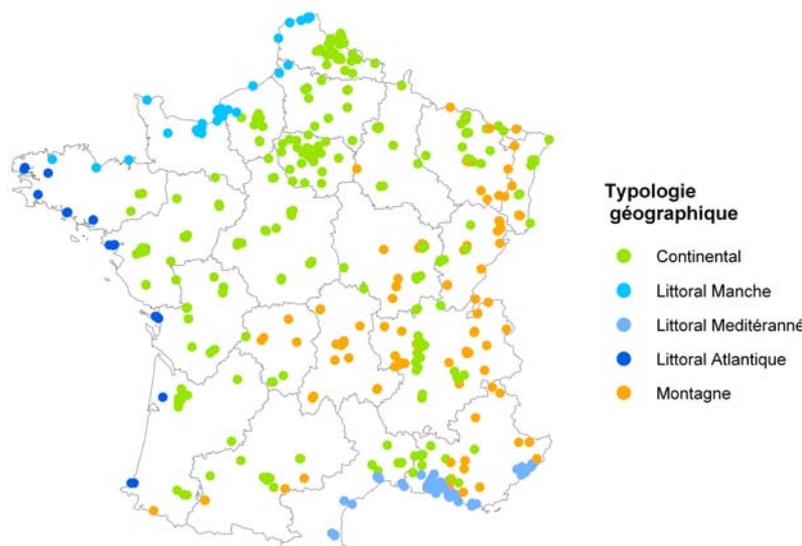


Figure I-1 : typologie géographique des stations de mesures

Le seuil de 250 mètres est à rapporter à la problématique étudiée ici, c'est-à-dire le littoral atlantique. Il s'agit donc de regrouper toutes les mesures pour lesquelles l'altitude a une influence sur l'ozone

Cette exploitation porte sur 465 stations de mesures de l'ozone réparties comme suit :

- 239 de type « urbaine »
- 125 de type « périurbaine »
- 53 de type « rurale »
- 26 de type « industrielle »
- 22 de type autres (observation spécifique ...)

Les données utilisées ici sont issues de la Banque de Données de la Qualité de l'Air de l'ADEME. En considérant qu'une moyenne annuelle est valide à partir de 75% de représentativité, **il y a 1770 données disponibles sur la période 2000-2004**

La caractérisation des concentrations d'ozone sur les différents sites sera réalisée par l'analyse de deux indicateurs :

La médiane : la médiane est la valeur située au milieu d'une séquence ordonnée de données. En l'absence de valeurs égales, la moitié des observations sera inférieure et la moitié sera supérieure à la médiane. La médiane n'est affectée par aucune observation extrême dans un ensemble de données

Le 98<sup>ième</sup> Centile : en statistique descriptive, un percentile ou un centile est chacune des 99 valeurs qui divisent les données triées en 100 parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/100 de l'échantillon de population. Le centile 98 représente donc 98% de l'échantillon de la population. Cet indicateur traduit donc l'effet de pointe.

Le Tableau I-1 donne les statistiques générales sur ces deux indicateurs pour l'ensemble des stations de mesures regroupées en fonction de la typologie géographique.

		Continental	Littoral	Montagne	Représentation graphique
<b>Nb de mesures</b>		1015	356	399	
<b>Médiane</b>	Médiane <sup>1</sup>	43	55	50	
	Moyenne <sup>2</sup>	43.3	53.7	52.9	
	Ecart- <sub>3</sub> type	9.5	10	15	
<b>Centile 98</b>	Médiane <sup>4</sup>	120	126	129	
	Moyenne	121.7	122.9	130.9	
	Ecart-type	16.9	20.1	17.0	

Tableau I-1 : statistiques globales

La médiane des stations littorales étant significativement (test de Student au seuil de confiance de 5%) supérieure. A ce stade de l'analyse, il ne semble pas se dégager de tendances spécifiques sur le centile 98.

Concernant les médianes, il semble déjà se dégager une caractéristique différente entre les stations « continentales » et « littorales »

Cette représentation tient compte des stations urbaines, c'est à dire des stations à proximité desquelles les émissions d'oxydes d'azote peuvent être importantes et donc perturber les concentrations d'ozone.

<sup>1</sup> Analyse de la médiane des médianes des concentrations d'ozone relevées sur le réseau fixe entre 2000 et 2004

<sup>2</sup> Analyse de la moyenne des médianes des concentrations d'ozone

<sup>3</sup> Analyse de l'écart-type des médianes des concentrations d'ozone

<sup>4</sup> Analyse du 98<sup>ème</sup> centile des médianes des concentrations d'ozone

### **I.1.1 Impact du littoral sur la médiane**

Le Tableau I-2 donne les statistiques générales sur les mesures en fonction de la typologie géographique et de la typologie ADEME du site (rurale et périurbaine et uniquement rurale).

	Stations rurales et périurbaines			Stations rurales uniquement		
	Continental	Littoral	Montagne	Continental	Littoral	Montagne
<i>Nb de mesures</i>	397	91	202	98	24	90
Médiane	46	<b>59</b>	57	51.5	<b>61</b>	74
Moyenne	45.7	<b>57.2</b>	60.3	51.4	<b>60.6</b>	73.4
Ecart-type	8.9	<b>9.1</b>	16	7.3	<b>4.8</b>	14.4
Représentation graphique						

**Tableau I-2 : statistiques globales de la médiane selon la typologie ADEME**

Les tests de Student indiquent que dans les deux cas (rurale et périurbaine ou rurale uniquement), il existe une différence significative entre les niveaux moyens des zones continentale et littorale mais également entre les zones littorale et montagne.

L'analyse des stations de typologie ADEME « rurale » montre une différence entre les niveaux médians des zones littorale, continentale et montagne :

- la médiane ( $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la zone littorale se situe entre celles des zones continentale ( $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et montagne ( $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- des niveaux plus stables (moins de dispersion autour de la médiane) sur la zone littorale.

La Figure I-2 représente l'histogramme par classes de niveaux d'ozone pour les 3 typologies de sites. Le nombre de stations enregistrant une classe donnée de concentrations d'ozone est reporté en ordonnées. Elles ont été établies à partir de l'ensemble des données disponibles (1770 médianes) réparties en fonction de la typologie géographique.

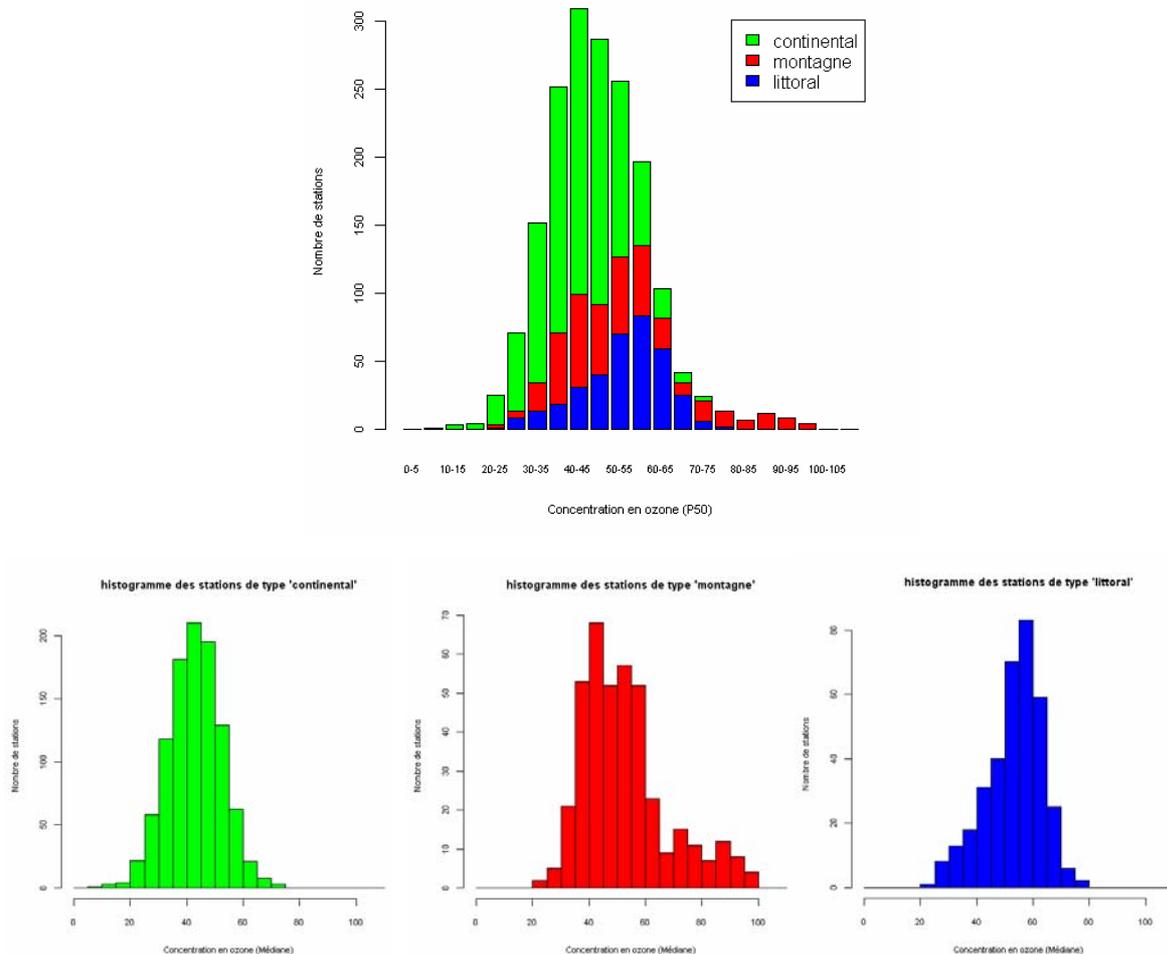


Figure I-2 : Histogrammes des médianes selon la typologie géographique

L'histogramme des stations de type « continental » est plutôt « normal » c'est-à-dire que nous avons une répartition plus ou moins équivalente des faibles et hauts niveaux médians d'ozone de part et d'autre du mode (classe de concentration la plus fréquemment mesurée).

L'histogramme pour les sites montagnes présente une dissymétrie vers les hautes valeurs d'ozone ; en d'autres termes nous observons plus fréquemment sur ce type de site des médianes plus élevées en ozone.

Enfin les sites littoraux se caractérisent par un histogramme de fréquence également dissymétrique mais inversé par rapport à la typologie montagne avec une fréquence plus élevée pour les faibles niveaux.

Il est également à noter que l'histogramme des stations de type « littoral » montre une rupture importante sur la classe des médianes 65-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ; les classes supérieures étant très peu représentées.

### I.1.2 Impact du littoral sur le centile 98

Le Tableau I-3 donne les statistiques générales sur les mesures en fonction de la typologie géographique et de la typologie ADEME du site (rurale et périurbaine et rurale uniquement).

P98	rurale et périurbaine			rurale uniquement		
	Continental	Littoral	Montagne	Continental	Littoral	Montagne
Nb de mesures	397	91	202	98	24	90
Médiane	122	128	133	123	121.5	138
Moyenne	124.8	124.3	135.6	125.1	119.5	140.4
Ecart-type	16.5	17.4	17.4	16.5	12.6	17.5

Représentation graphique	rurale et périurbaine			rurale uniquement		

Tableau I-3 : statistiques globales du centile 98 selon la typologie ADEME

Le Tableau I-4 donne la médiane du centile 98 des concentrations d’ozone selon la typologie ADEME et la typologie géographique

Centile 98	Continental	Littoral	Montagne
Urbaine	118	127	125
Périurbaine	122	131	129
Rurale	123	121.5	138
Rurale - Urbaine	5	9.5	6

Tableau I-4 : Impact de la typologie ADEME sur les concentrations en ozone

Contrairement à l’étude de la médiane, il ne se dégage pas de différences significatives du centile 98 en fonction de la typologie ADEME ou géographique des sites.

## I.2. L'ozone sur les différentes zones littorales

Le même type d'étude est mené en s'intéressant à 3 différents types de littoral. Le type géographique « littoral » de chaque site de mesures est donc décliné en un sous type :

- Littoral Manche/ Mer du Nord : soit 94 données disponibles sur 29 stations
- Littoral Méditerranée : soit 212 données disponibles sur 49 stations
- Littoral Atlantique : soit 67 données disponibles sur 16 stations.

Afin de disposer de suffisamment de données, l'ensemble des sites sera pris en compte sans distinction de leur typologie ADEME. Le Tableau I-5 donne les statistiques globales selon la zone littorale.

	Atlantique	Manche Mer du Nord	Méditerranée
Nb de mesures	67	94	212
Médiane	59	49	57
Moyenne	57.8	47.1	56
Ecart-type	6.4	9.2	10.7

Tableau I-5 : statistiques globales des niveaux d'ozone selon le littoral

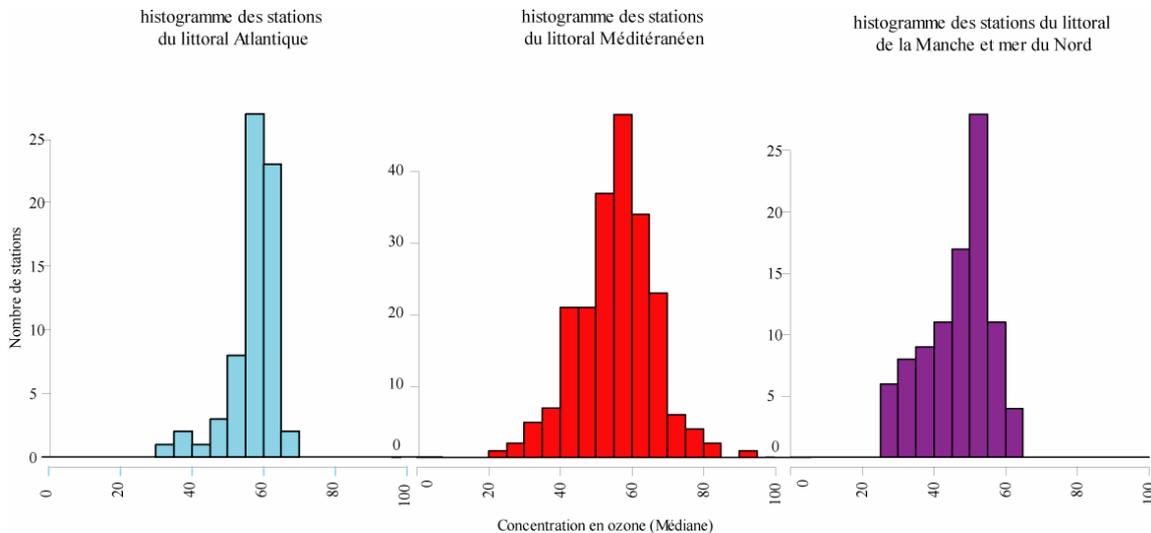


Figure I-3 : statistiques globales des niveaux d'ozone selon le littoral

La Figure I-3 montre une différence de comportement de l'ozone entre les zones littorales (Atlantique, Manche- Mer du Nord et Méditerranée). La zone atlantique se caractérise par une plus faible dispersion des niveaux d'ozone autour de la médiane par rapport aux autres zones. La distribution des classes des niveaux d'ozone montre une dissymétrie au profit des niveaux faibles pour les zones Atlantique et Manche/Mer du Nord tandis que l'histogramme sur le littoral méditerranéen montre une symétrie autour du mode principal.

Les stations des zones littorales Atlantique et Manche- Mer du Nord montrent une rupture sur les classes 60-65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et 65-70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ce phénomène est très marqué sur le littoral Atlantique où l'écart type est faible.

### I.3. L'ozone sur le littoral atlantique

L'étude porte, à présent, exclusivement sur les stations des régions de Bretagne, Pays de la Loire, Poitou-Charentes et Aquitaine.

Les données prises en compte couvrent la période 2000-2005, les données valides sur les 68 sites représentent un échantillon d'environ 1 200 000 de données. Parmi ces 68 sites permanents, 16 sont localisés sur la bordure littorale (0-20km). Afin de simplifier la représentation graphique, deux groupes de stations de mesures sont définis :

- Le groupe « atlantique » : il représente la moyenne des indicateurs sur les 16 stations littorales
- Le groupe « continentale » : il représente la moyenne des indicateurs des 52 autres sites de mesures.

#### I.3.1 Etude de la répartition des valeurs

La Figure I-4 montre l'évolution des niveaux d'ozone en fonction du centile sur différentes périodes (toute l'année, été mai- septembre et hiver et octobre à avril).

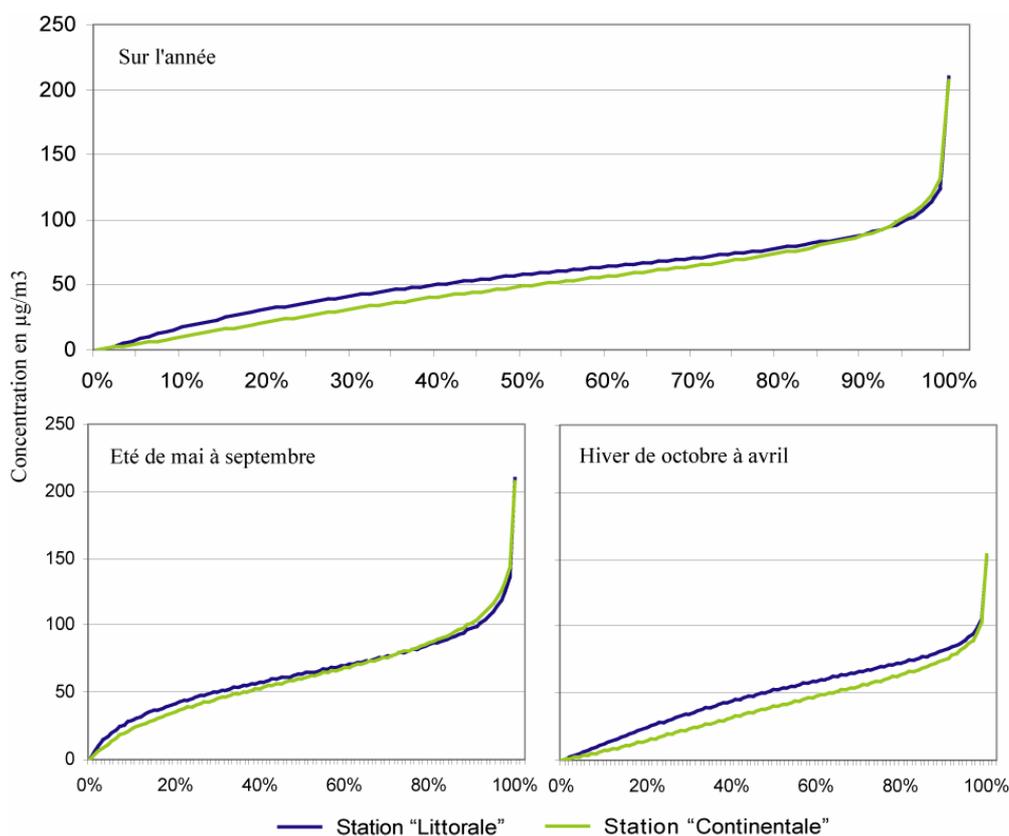


Figure I-4 : Evolution des centiles sur les stations "littorale" et "continentale"

Sur l'année, les concentrations d'ozone sont globalement supérieures sur le littoral atlantique. Il faut atteindre les niveaux de pointe (centile 98) pour avoir des niveaux sensiblement égaux entre les deux zones.

Cette supériorité des niveaux littoraux a tendance à diminuer sur les périodes estivales. En effet durant l'été (mai –septembre) les niveaux médians deviennent proches. La position des courbes s'inverse à partir du centile 80 qui traduit des niveaux de pointe devenant cette fois ci plus élevés en zones continentales.

Si l'on considère uniquement les mois de juillet- août cette évolution s'accroît ; les courbes s'inversent à partir du centile 70, cela indique qu'à partir de ce niveau les teneurs en ozone

deviennent supérieures en zones continentales. Sur la période hivernale, la situation s'inverse avec des niveaux d'ozone supérieurs sur le littoral quel que soit le centile considéré.

**Le littoral Atlantique a donc une action d'écrêtage des concentrations maximales d'ozone**

Paradoxalement, durant la période estivale il apparaît que la valeur maximale se retrouve sur les stations littorales. Cette remarque est surtout vraie sur la région Pays de la Loire et pourrait traduire l'effet des brises de mer. Cette hypothèse n'est basée que sur très peu de données et devra être approfondie, elle traduit toutefois la rareté de l'impact des effets de brise sur les concentrations d'ozone.

### **I.3.2 Etude des profils journaliers**

Le profil moyen journalier permet de suivre l'évolution moyenne au cours de la journée sur les groupes « atlantique » et « continental ». La Figure I-5 présente le profil moyen sur l'ensemble des données de 2000 à 2005, sur les 5 mois d'été (mai–septembre) et sur la période hivernale).

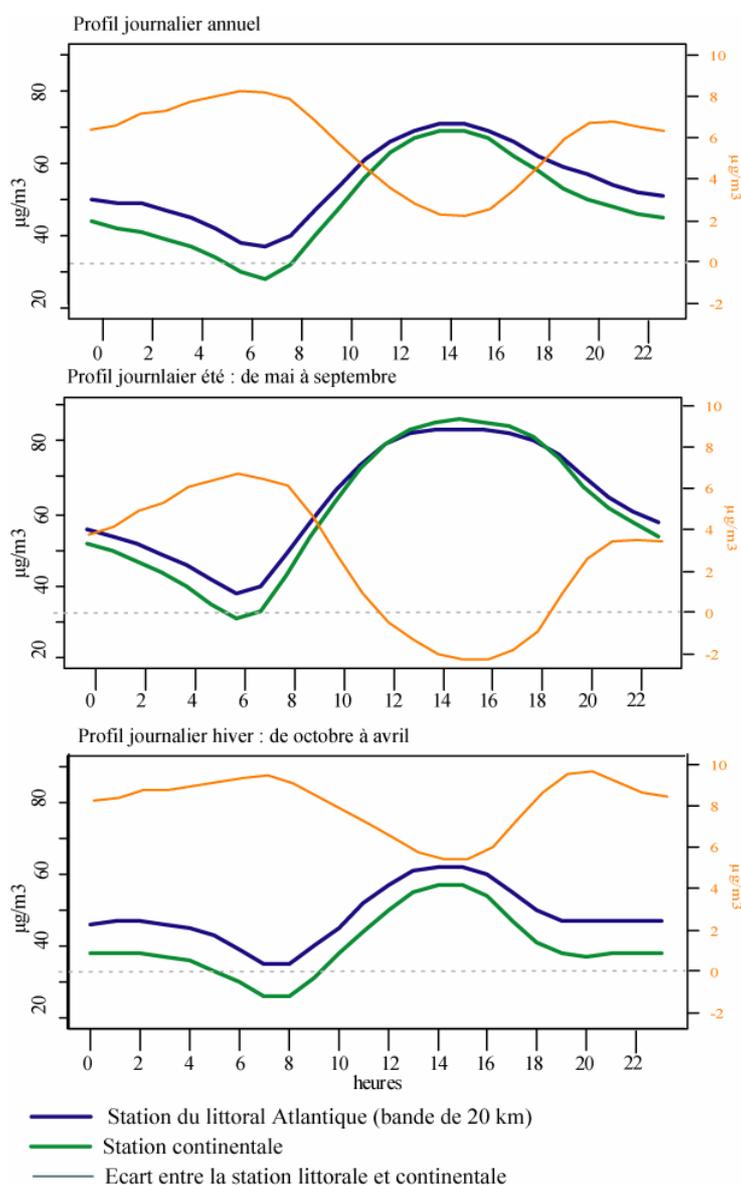


Figure I-5 : Evolution des profils moyens journaliers

Sur la période 2000-2005, les concentrations moyennes sont respectivement de  $54.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et  $44.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les groupes « atlantique » et « continental ». Quelle que soit l'heure de la journée, les concentrations d'ozone sont plus importantes sur le littoral atlantique que sur les terres. L'écart est plus important en période nocturne, lorsque les concentrations d'ozone sont les plus faibles.

Les réactions photochimiques de production d'ozone sont très actives en période estivale. A la mi-journée, on observe généralement des augmentations importantes des concentrations d'ozone, responsables des pics de pollution. Sur cette période de l'année, les concentrations moyennes en ozone sont respectivement de  $63.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et  $60.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les groupes « atlantique » et « continental ». En milieu de journée, les concentrations du groupe « continental » sont légèrement supérieures à celles du groupe « atlantique ».

En hiver, les concentrations moyennes en ozone sont les plus faibles avec respectivement  $48.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et  $40.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les groupes de stations « atlantique » et « continental ».

Comme précédemment, l'analyse de ces graphiques montre des niveaux d'ozone littoraux globalement supérieurs aux continentaux et une atténuation de cette différence pour les périodes estivales. Les profils journaliers complètent ces observations. En effet les niveaux moyens en ozone sur l'année sont supérieurs sur le littoral quelle que soit l'heure de la journée. Cette différence est particulièrement visible la nuit et le matin. L'été nous retrouvons des niveaux nocturnes et matinaux plus élevés en zone littorale. En revanche les niveaux continentaux deviennent supérieurs l'après midi. Enfin, en période hivernale la supériorité des niveaux littoraux est accentuée quelque soit l'heure de la journée.

---

## I.4. Conclusion

L'exploitation des données d'ozone enregistrées de 2000 à 2004 par les réseaux de surveillance membres de la fédération nationale ATMO en distinguant 3 typologies de sites (littoral, continental et montagne) a permis de mettre en évidence un comportement différent de l'ozone sur ces 3 zones.

Le niveau médian d'ozone sur le littoral ( $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) est statistiquement supérieur à celui calculé en zone continentale ( $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Le littoral se caractérise par des niveaux plus stables autour de la médiane par rapport aux 2 autres zones.

La distribution en fréquence des niveaux d'ozone montre sur le littoral une dissymétrie autour du mode avec une prépondérance des niveaux faibles. Ce type de dissymétrie est observé ni sur la zone continentale (symétrie autour du mode) ni en zone montagne où une dissymétrie inverse est observée (prépondérance des niveaux élevés).

Au sein de la zone littorale nous avons pu mettre également en évidence des différences de comportement entre le littoral atlantique, manche /Mer du nord et méditerranéen. Sur ces 3 zones littorales les niveaux médians sont différents avec une plus grande stabilité autour de la médiane des niveaux d'ozone sur le littoral atlantique.

L'étude de la distribution en fréquence montre également une différence entre d'une part le littoral atlantique-mer du nord et d'autre part le littoral méditerranéen. Les littoraux atlantique et manche –Mer du nord présentent une dissymétrie vers les valeurs inférieures au mode et une baisse importante de la fréquence d'apparition entre  $60$  et  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

L'étude s'est ensuite focalisée sur le littoral atlantique par la prise en compte de l'ensemble des données d'ozone mesurées par les sites permanents dans les régions Bretagne- Pays de la Loire, Poitou-Charentes et Aquitaine. En hiver les teneurs en ozone sont plus élevées en bordure littorale qu'à l'intérieur des terres quel que soit le niveau considéré (niveaux faibles médians ou de pointe). Cette tendance diminue au cours de l'été où l'on observe toujours des niveaux plus élevés sur le littoral la nuit et le matin mais des niveaux sur les zones continentales qui deviennent supérieurs l'après midi.



## Chapitre II : Le dispositif mis en oeuvre

L'approche technique du projet EOLIA consiste à mettre en place de façon temporaire des mesures d'ozone selon un dispositif permettant le suivi temporel et spatial de l'ozone sur une large bande littorale. L'accès à ces deux catégories d'informations est primordial pour permettre d'expliquer les spécificités de la pollution à l'ozone sur la bordure littorale.

<b>II.1. DESCRIPTION DU DOMAINE D'ETUDE</b>	<b>17</b>
<b>II.2. LOCALISATION DES SITES DE MESURES</b>	<b>18</b>
II.2.1 Définition de la notion de transect	18
II.2.2 Implantation des points de mesures	19
<b>II.3. CARACTERISTIQUE DES SITES DE MESURES</b>	<b>22</b>
II.3.1 Respect des contraintes géographiques	22
II.3.2 Contraintes (ruralité, altitudes) : description test mesures NO2	22
II.3.3 moyens mis en oeuvre	24
<b>II.4. CAMPAGNE DE MESURE LIDAR</b>	<b>25</b>

Une autre particularité de ce projet est de prendre en compte un vaste domaine d'étude englobant 4 espaces régionaux différents en terme de qualité de l'air.

Le dispositif de mesures doit donc permettre de suivre les évolutions de l'ozone en tenant compte d'objectifs bien précis :

- caractériser son comportement dans la durée grâce à des mesures en continu sur une période de 4 mois durant l'été 2005 (de juin à septembre).
- fournir des données qui permettent de caractériser la dynamique d'échange entre l'océan et l'intérieur des terres, par l'utilisation de transects de mesures
- obtenir des informations sur les phénomènes dynamiques de l'atmosphère en altitude, grâce à un couplage des données au sol avec des mesures par LIDAR
- obtenir des mesures représentatives des spécificités locales rencontrées sur cette vaste zone d'étude, par un choix précis des sites de mesures
- mesurer l'impact des paramètres météorologiques sur les niveaux d'ozone, grâce à la mise en place d'un réseau de mesures secondaires spécifique.

La campagne de mesure EOLIA est également valorisée par la création d'une base de données constituée par l'ensemble des mesures. Cette base de données devra permettre d'analyser les phénomènes étudiés tant au niveau local que sur l'ensemble de la zone de l'arc atlantique.

## II.1. Description du domaine d'étude

L'objectif de la campagne EOLIA est de documenter de la façon la plus complète possible le comportement de l'ozone à l'interface terre/ mer sur l'ensemble du littoral atlantique. Pour ce faire le dispositif de mesures doit être capable de faire ressortir aussi bien les phénomènes globaux que les particularités locales.

Le littoral atlantique présente en effet de nombreuses disparités topologiques (présence de la forêt des Landes, découpage des côtes Bretonnes) qui peuvent fortement influencer les mécanismes de formation de la pollution photochimique. Il s'est donc avéré nécessaire de mettre en place un dispositif de mesures permettant l'analyse des phénomènes sur l'ensemble de la zone atlantique et simultanément d'évaluer pour chacune des zones l'impact des spécificités locales (hétérogénéités topologiques, géographique et localisation de sources d'émissions).

Pour cette raison, un maillage géographique du littoral a été réalisé : quatre fenêtres d'étude ont été définies, à l'intérieur desquelles, des dispositifs de mesures de surface spécifiques ont été déployés :

A l'intérieur de chaque zone, la mise en place et le suivi spécifique des mesures ont été pris en charge par les quatre AASQA chargées de la surveillance de la qualité de l'air des territoires correspondants. Cette répartition permet de mettre à profit la connaissance des spécificités locales des AASQA pour que le dispositif le plus adapté soit mis en place.

Cette collaboration inter-régionale permet ainsi de couvrir de façon optimale un vaste territoire par la mise en commun de moyens techniques adaptés.

Dénomination de la zone	AASQA Responsable de la mesure	Particularité(s) de la zone
Zone Bretagne	AIRBREIZH	- Côtes découpées - Présence de zones agricoles
Zone Pays de la Loire	AIR Pays de la Loire	- Peu de relief -Forêt domaniale des pays de Monts - Présence de zones agricoles
Zone Poitou Charente	ATMO Poitou-Charentes	- présence de zones marécageuses
Zone Aquitaine	AIRAQ	-Présence de la forêt des Landes

Tableau II-6 : Particularités de la zone d'étude

## II.2. Localisation des sites de mesures

### II.2.1 Définition de la notion de transect

Afin de pouvoir suivre finement l'évolution de la pollution par l'ozone entre l'océan et l'intérieur des terres, les moyens de mesures ont été disposés en « transect », c'est à dire que les analyseurs ont été implantés transversalement par rapport au trait de côte.

A titre d'exemple, la Figure II-1 décrit l'implantation des moyens de mesures sur le transect PC (Poitou-Charentes).

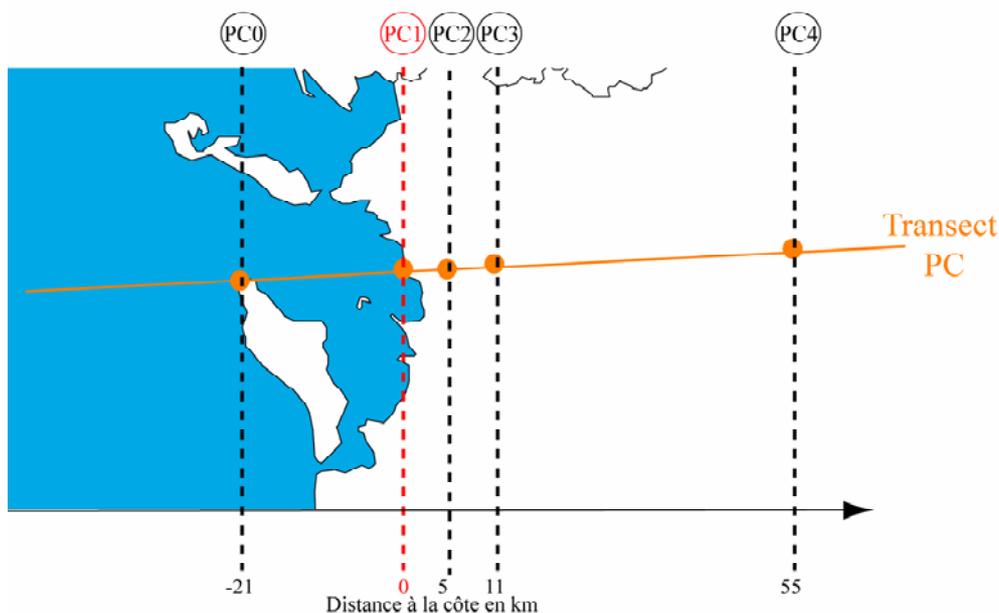


Figure II-1 : Description du transect PC

Une codification des sites de mesures a été mise en place pour faciliter la lecture des transects. Le code du transect se compose du nom de la région (BR pour la Bretagne, PC pour les Poitou-Charentes, PL pour les Pays de la Loire, AQ pour l'Aquitaine) et d'un chiffre qui traduit la position du point de mesures par rapport à la côte.

Les sites « 0 » sont des sites de mesures implantés sur des îles.

Les sites « 1 » sont des sites de mesures implantés sur la bordure littorale à quelques mètres de la plage.

Les sites « 2 » à « 6 » sont implantés dans les terres, leur distance à la côte augmente lorsque l'indice croît.

## II.2.2 Implantation des points de mesures

La Figure II-2 décrit les 6 transects répartis dans les 4 zones d'études pendant les 4 mois de la campagne de mesures.

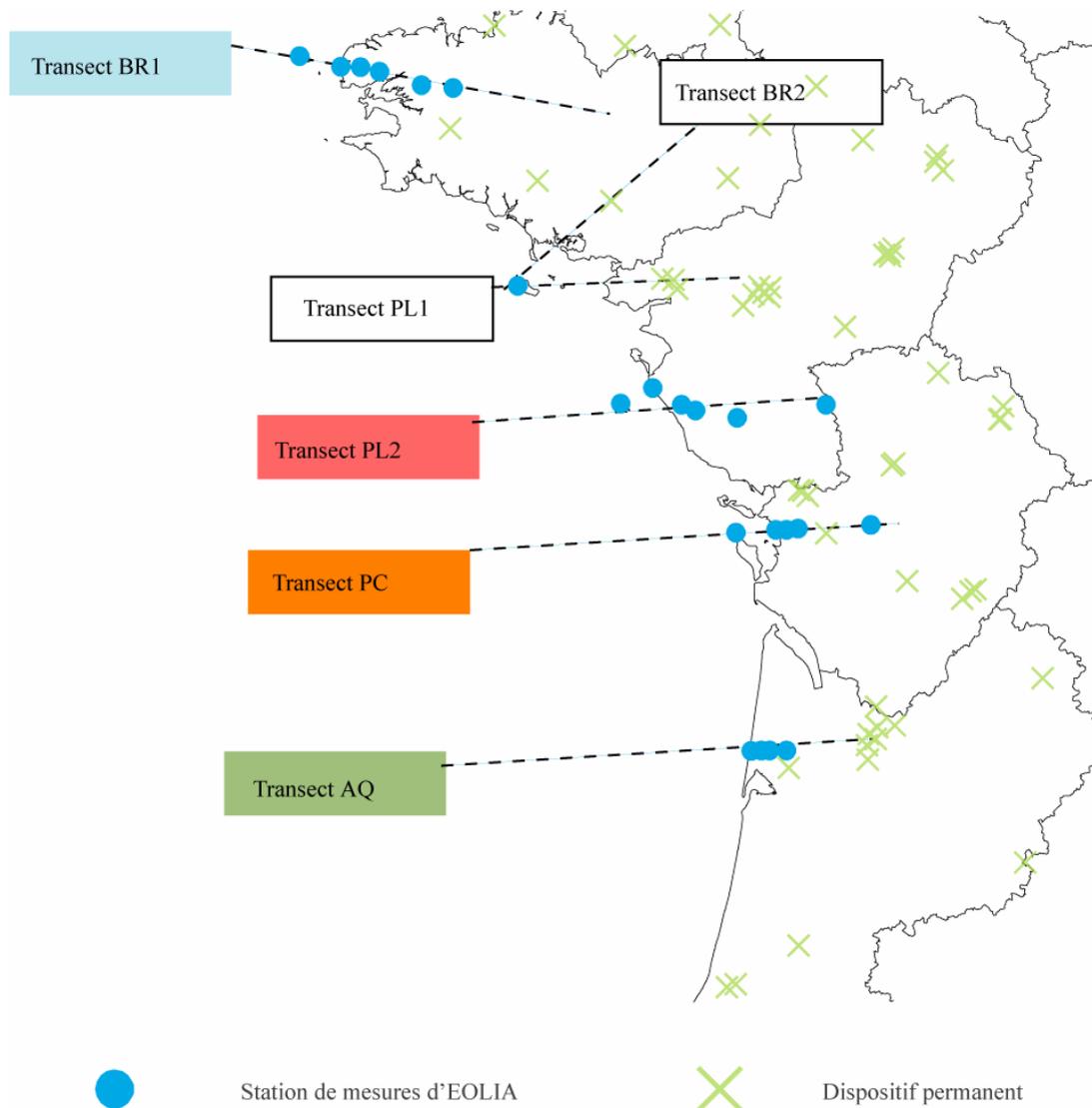


Figure II-2 : description des transects de la campagne EOLIA

Quatre transects correspondent précisément aux critères d'implantations de la campagne EOLIA :

- BR1 : de l'île d'Ouessant à Brennilis (6 sites),
- PL2 : de l'Île d'Yeu à la Tardière (7 sites),
- PC : de l'Île d'Oléron à Le Thou (5 sites),
- AQ : de la plage du Porge à Ambès 2 (5 sites).

Afin de caractériser au mieux les concentrations d'ozone, des mesures ont été réalisées par Air Breizh sur « Belle Ile », ce site est référencé BR2\_0, il permet donc de considérer deux transects secondaires :

- BR2 : de Belle-Île à Guipry (3 sites),
- PL1 : de Belle-Île à St Nazaire (4 sites).

La Figure II-3 décrit la position des points de mesures sur les quatre transects principaux (BR1, PL2, PC et AQ).

- En mer : 4 sites de mesures ont été choisis afin de connaître les niveaux d’ozone avant leur entrée à l’intérieur des terres : Phare du Creach’ (Île d’Ouessant), Grand Phare de Belle-Île, Grand Phare de l’Île d’Yeu, Phare de Chassiron (Île d’Oléron).
- Entre 0 et 20 km : selon les transects, trois à quatre stations de mesures, généralement distante de 5 Km ont été installées sur cette bande
- Au-delà de 20 km à l’intérieur des terres : 3 stations de mesures ont été installées. Ce sont des sites préférentiellement localisés en zones rurales éloignés des éventuelles sources de pollution parasites pouvant perturber la structure naturelle de l’ozone.

Il faut noter que sur les deux transects secondaires (BR2 et PL1) le nombre réduit de sites de mesures ne permet pas de respecter les critères énumérés ci-dessus.

Cette disposition particulière des sites de mesures a pour principal objectif :

- d’obtenir et de comparer des mesures de niveaux d’ozone sur des sites géographiques spécifiques (sur l’océan, en bordure immédiate des côtes ou encore à l’intérieur des terres).
- de pouvoir observer d’éventuels échanges de polluants entre les zones terrestres et maritimes.

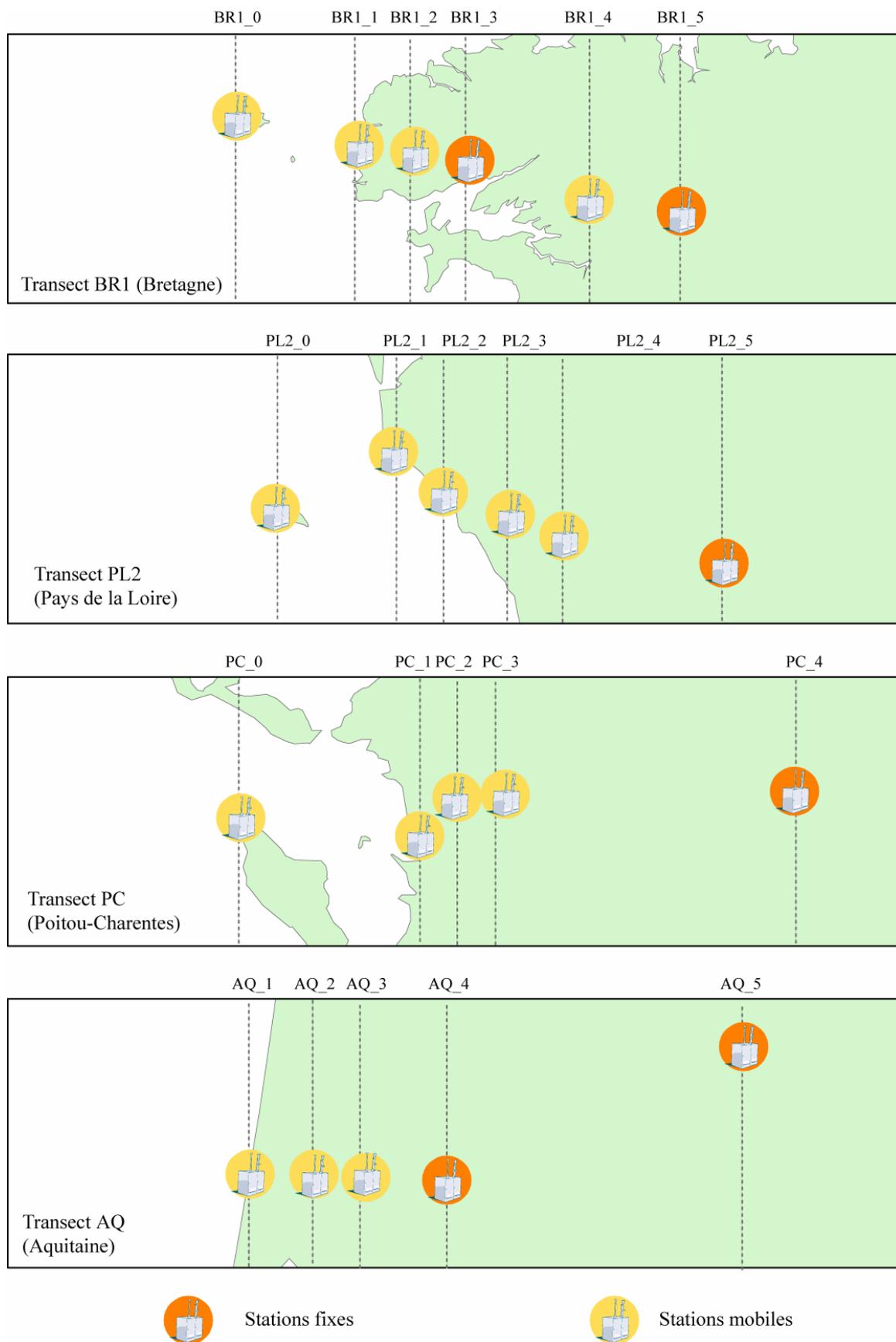


Figure II-3 : Implantation des points de mesures

Le transect PL2 est complété par PL2\_6 (La Tardière) à 52 km de la côte.

---

## **II.3. Caractéristique des sites de mesures**

Les sites choisis pour l'étude EOLIA se doivent de répondre principalement à deux critères précis :

- ils doivent respecter des critères de localisation géographique, notamment leurs situations par rapport au positionnement sur le transect : sites insulaires, sites en bordure océanique (entre 0 et 20 km), sites situés plus à l'intérieur des terres (au-delà de 20 km).
- ils doivent être le plus possible caractérisés par un environnement de type rural, c'est à dire être éloignés des éventuelles sources de pollution parasites pouvant perturber la structure naturelle de l'ozone,

### **II.3.1 Respect des contraintes géographiques**

Le respect des critères géographiques est facilement vérifiable par leurs coordonnées géographiques permettant d'établir la distance entre le site de mesures et la côte atlantique. Compte tenu du découpage des côtes bretonnes, la distance à la côte reste floue pour le transect BR1, il sera donc parfois privilégié de travailler avec la distance au site de référence océanique.

### **II.3.2 Contraintes de ruralité**

Dans la mesure du possible et compte tenu des contraintes d'installation, l'ensemble des sites de mesures choisis pour l'étude EOLIA doit :

- répondre aux critères d'implantation des sites ruraux de l'ADEME. Pour cela chaque AASQA s'est assurée que les critères reportés dans les documents de référence de l'ADEME ont été respectés.
- respecter un seuil minimal en teneurs de dioxyde d'azote (fixé en moyenne à  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur l'ensemble de la période de mesure). La présence de teneurs plus importante tend à indiquer la présence de sources de pollution anthropique risquant de perturber le comportement de l'ozone. Pour cela chaque AASQA a réalisé des études préliminaires par tubes passifs, avant l'implantation des moyens de mesures.
- répondre à un test de ruralité défini à partir des mesures d'ozone. Ce test, réalisé à posteriori, consiste à vérifier par visualisation des profils hebdomadaires le caractère rural de chaque site. En effet, si une différence est constatée entre jours ouvrés et jours de chômés, il pourrait y avoir une influence d'une pollution anthropique, comme peut l'être celle d'origine automobile.

Les résultats de chacun de ces critères sont reportés de façon synthétique dans le Tableau II-1

Transect	Nom du site	Code sites	distance à la cote (Km)	Typologie géographique	Test de ruralité		
					Critères ADEME	Niveau NO2	Test O3
BR_1	Ouessant	BR1_0	-25	O			
	Corsen	BR1_1	0,3	L			
	Saint-Renan	BR1_2	9	L/C			
	Brest Nattier	BR1_3	3,5	C			
	Saint-Eloy Brennilis	BR1_4 BR1_5	10 28	C C			
BR_2	Belle Ile	BR2_0	-52	O			
	Vannes	BR2_1	4	L/C			
	Guipry	BR2_2	61	C			
PL_1	Belle Ile	PL1_0	-52	O			
	Pornichet	PL1_1	0	L/C			
	Bouaye	PL1_2	26	C			
PL 2	Ile d'Yeu	PL2_0	-22	O			
	Saint-Jean de Mont	PL2_1	0	L			
	Saint-Hilaire de Riez	PL2_2	0	L			
	Le fenouiller	PL2_3	5	L/C			
	Coex	PL2_4	12,5	L/C			
	La Roche Sur Yon La Tardière	PL2_5 PL2_6	30 52	C C			
PC	Oléron	PC_0	-21	O			
	Les Boucheleurs	PC_1	0	L			
	Thairé	PC_2	5	L/C			
	Le Thou	PC_3	11	L/C			
	Chizé	PC_4	55	C			
AQ	La Plage	AQ_1	0	O			
	intermédiaire	AQ_2	5	L/C			
	Le Porge	AQ_3	10	L/C			
	Le Temple	AQ_4	15	L/C			
	Ambès 2	AQ_5	53	C			
<b>ruralité avérée</b>							
<b>ruralité discutable</b>							
<b>ruralité rejetée</b>							

Tableau II-1 : Test de ruralité

Les deux transects BR2 et PL1 intègrent les stations urbaines permanentes de Vannes (BR2\_1), Pornichet (PL1\_1) et Bouaye (PL1\_2) et de fait la ruralité des sites n'est pas vérifiée. Afin de ne pas biaiser l'analyse descriptive qui est proposée dans ce document, ces deux transects seront peu traités.

### **II.3.3 Moyens mis en oeuvre**

Chaque site de mesure est équipé d'analyseurs permettant la mesure en continu de l'ozone (O<sub>3</sub>). La plupart ont également été pourvus d'appareils de mesures des oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>). Ces équipements ont été placés dans des armoires de mesures, des laboratoires mobiles, des stations fixes utilisées en permanence par les AASQA, ou des abris locaux adaptés. Les moyens nécessaires au suivi des paramètres météorologiques (vitesse et direction du vent, température) ont été placés quant à eux, directement sur les moyens mobiles (quand cela était possible) ou sont issues de stations de mesures spécifiques mises en place par les AASQA ou des stations existantes de Météo-France.

Les analyseurs employés pour cette étude sont conformes aux indications techniques précisées en annexe des directives européennes (n°1999/30/CE et n°2002/3/CE). Toutes les techniques utilisées respectent également les objectifs de qualité métrologique définis à l'échelle nationale (raccordement à la chaîne d'étalonnage et réalisation des maintenances préventives).

## II.4. Campagne de mesure LIDAR

Afin de compléter le dispositif de mesures au sol, un dispositif spécifique de mesures par la technologie du LIDAR a également été placé sur un des transects déployés au cours de l'étude, en partenariat avec l'ADEME et l'INERIS. Ces mesures ont permis d'avoir accès à la structure verticale du champ d'ozone.



Afin de documenter l'état de la structure verticale de l'ozone en zone « continentale » et en zone « océanique », deux appareils ont été installés sur le transect PC (le choix du transect a été défini notamment par des facilités d'accès au site îlien) :

- le profiler vertical d'ozone sur site PC\_0 de l'île d'Oléron
- le LIDAR UV11 sur le site PC\_3 de « Le Thou »

La Figure II-4 décrit la localisation retenue pour les mesures LIDAR.

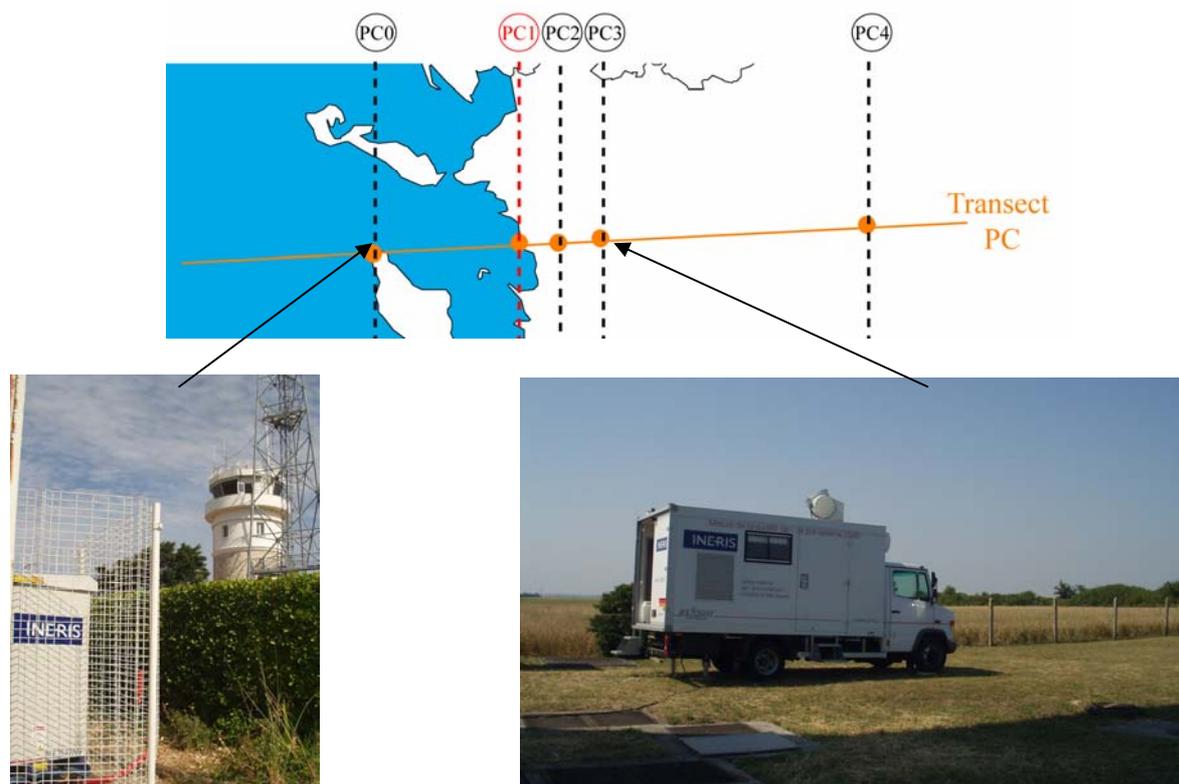


Figure II-4 : Implantation du Profiler d'ozone vertical (gauche) et du LIDAR UV11 (droite)

La campagne de mesures s'est déroulée du 10 juillet au 11 août 2005. Les données sont en cours de traitement, il est donc difficile d'avancer un taux de fonctionnement précis. Néanmoins, aucune anomalie technique n'a été détectée durant la campagne de mesures.



# Chapitre III : Aperçu général des niveaux d'ozone sur l'arc atlantique

L'objectif de cette partie est de dresser un premier constat sur les concentrations d'ozone mesurées pendant la campagne EOLIA sur les transects principaux BR1 (Bretagne), PL2 (Pays de la Loire), PC (Poitou-Charentes) et AQ (Aquitaine). Toutefois afin de compléter la description des concentrations océaniques, le site de mesures BR2\_1 (Belle Ile) est intégré à cette analyse.

## III.1 Situation vis à vis de la réglementation 27

## III.2. Etudes des concentrations moyennes sur la période de mesures 28

### III.3. ETUDE DU PROFIL MOYEN JOURNALIER 30

III.2.1 Etude des concentrations nocturnes sur l'arc Atlantique 31

III.2.2 Etude des concentrations diurne sur l'arc Atlantique 31

### III.4. COMPARAISON INTER TRANSECT 33

III.3.1 Comparaison des sites insulaires 33

III.3.2 Comparaison des sites de la zone de transition 34

III.3.3 Etude des roses de pollution 35

III.3.4 Etude des données horaires 37

### III.1. Situation vis à vis de la réglementation

Ce premier chapitre ne correspond pas à une analyse des niveaux d’ozone mais établit site par site la situation par rapport à la réglementation. Bien que les taux de fonctionnement des différents sites soient bons, certaines périodes ne disposent pas de l’ensemble des mesures de tous les sites. Aussi, il est nécessaire de prendre des précautions avant toute comparaison d’un site par rapport aux autres.

Sites	Taux de fonctionnement	Moyenne valeurs horaires	Valeur maximale horaire	Nb D « 65 » 24 h <sup>5</sup>	Nb J avec D « 110 » 8 h <sup>6</sup>	Nb J avec D « 180 » 1h <sup>7</sup>	Nb J avec D « 240 » 1h <sup>8</sup>
BR1_0	0.76	69	132	57	3	0	0
BR1_1	0.99	56	129	36	4	0	0
BR1_2	0.98	65	154	59	13	0	0
BR1_3	0.96	55	154	33	6	0	0
BR1_4	1.00	63	154	44	10	0	0
BR1_5	1.00	60	162	41	15	0	0
BR2_0	0.99	80	217	93	35	4	0
BR2_1	0.98	63	196	48	19	2	0
BR2_2	0.99	60	170	44	26	0	0
PL1_0	0.99	80	217	93	35	4	0
PL1_1	1.00	69	202	69	25	1	0
PL1_2	0.94	70	211	54	33	2	0
PL2_0	0.74	77	184	60	23	1	0
PL2_1	0.74	74	186	59	26	1	0
PL2_2	0.73	81	199	66	37	2	0
PL2_3	0.70	68	166	38	22	0	0
PL2_4	0.66	72	180	42	28	1	0
PL2_5	0.98	70	173	63	33	0	0
PL2_6	0.99	73	169	69	36	0	0
PC_0	0.99	78	170	87	35	0	0
PC_1	0.93	69	156	63	25	0	0
PC_2	0.80	67	152	42	22	0	0
PC_3	0.88	71	171	60	31	0	0
PC_4	0.98	67	172	61	31	0	0
AQ_1	0.66	87	177	70	38	0	0
AQ_2	0.96	65	175	58	33	0	0
AQ_3	0.93	68	208	64	37	1	0
AQ_4	0.83	63	165	47	27	0	0
AQ_5	0.88	76	175	78	38	0	0

Tableau III-1 : Informations générales sur les sites

<sup>5</sup> Nombre de dépassement de l’objectif de qualité pour la protection de la végétation défini dans le décret 2002-213 et fixé à 65 µg/m<sup>3</sup> sur 24h.

<sup>6</sup> Nombre de jour avec dépassement de l’objectif de qualité pour la protection de la santé humaine défini dans le décret 2002-213 et fixé à 110 µg/m<sup>3</sup> sur 8h.

<sup>7</sup> Nombre de jour ayant connu un dépassement du seuil de recommandation et d’information fixé à 180 µg/m<sup>3</sup> sur 1h par le décret 2003-1085.

<sup>8</sup> Nombre de jour ayant connu un dépassement du premier seuil d’alerte fixé à 240 µg/m<sup>3</sup> sur 1h par le décret 2003-1085.

### III.2. Etudes des concentrations moyennes sur la période de mesures

La base de données contient les mesures du 1<sup>er</sup> juin à 30 septembre 2006, cependant compte tenu des taux de fonctionnement de chaque site de mesures, il est délicat de traiter globalement les données sur cette période (10% de mesures simultanées sur l'ensemble des sites). Une approche par transect sera donc privilégiée. Le Tableau III-2 donne donc les moyennes par transect.

Transect BR	<i>id</i>	<i>BR1_0</i>	BR1_1	<i>BR1_2</i>	<i>BR1_3</i>		<i>BR1_4</i>	<i>BR1_5</i>
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )	71.9	58.3	64.5	55.71		63.7	63.2
Transect PL	<i>id</i>	<i>PL2_0</i>	<i>PL2_1</i>	PL2_2	PL2_3	<i>PL2_4</i>	<i>PL2_5</i>	<i>PL2_6</i>
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )	77.8	75.2	69	69	72.3	74.9	76.45
Transect PC	<i>id</i>	<i>PC_0</i>	<i>PC_1</i>	PC_2	<i>PC_3</i>		<i>PC_4</i>	
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )	78.7	69.8	66.1	71.8		67.2	
Transect AQ	<i>id</i>		AQ_1	AQ_2	<i>AQ_3</i>	AQ_4		<i>AQ_5</i>
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )		86.4	64.8	69.3	64.1		78.5

Tableau III-2 : Moyenne sur les sites EOLIA

La concentration moyenne la plus élevée est relevée sur le site AQ\_1 (Eolia Plage) avec 86.4µg/m<sup>3</sup>. Sur les 3 autres transects (BR, PL et PC), les concentrations moyennes maximales sont retrouvées sur les sites océaniques BR1\_0, PL2\_0 et PC\_0 (respectivement Ouessant, Ile d'Yeu et Ile d'Oléron). En complément le site BR2\_0 (Belle Ile) indique une concentration moyenne de 79.6 µg/m<sup>3</sup>.

Si on excepte le site BR1\_3 (Brest Nattier) qui ne peut être considéré comme représentatif des concentrations rurales de fond, la plus faible concentration est relevée sur le site BR1\_1 (Corsen) avec 58.3µg/m<sup>3</sup>.

Le long de chaque transect, les concentrations d'ozone semblent être perturbées, ainsi une diminution, qui peut apparaître brutale, est observée sur :

- BR1\_1 pour le transect breton BR1
- PL2\_2 et PL2\_3 pour le transect PL2
- PC\_2 pour le transect PC
- AQ2 pour le transect AQ

La Figure III-1 donne une représentation cartographique de l'évolution des concentrations moyennes de l'ozone sur chacun des sites de chaque transect. La comparaison entre transect n'a donc pas de sens.

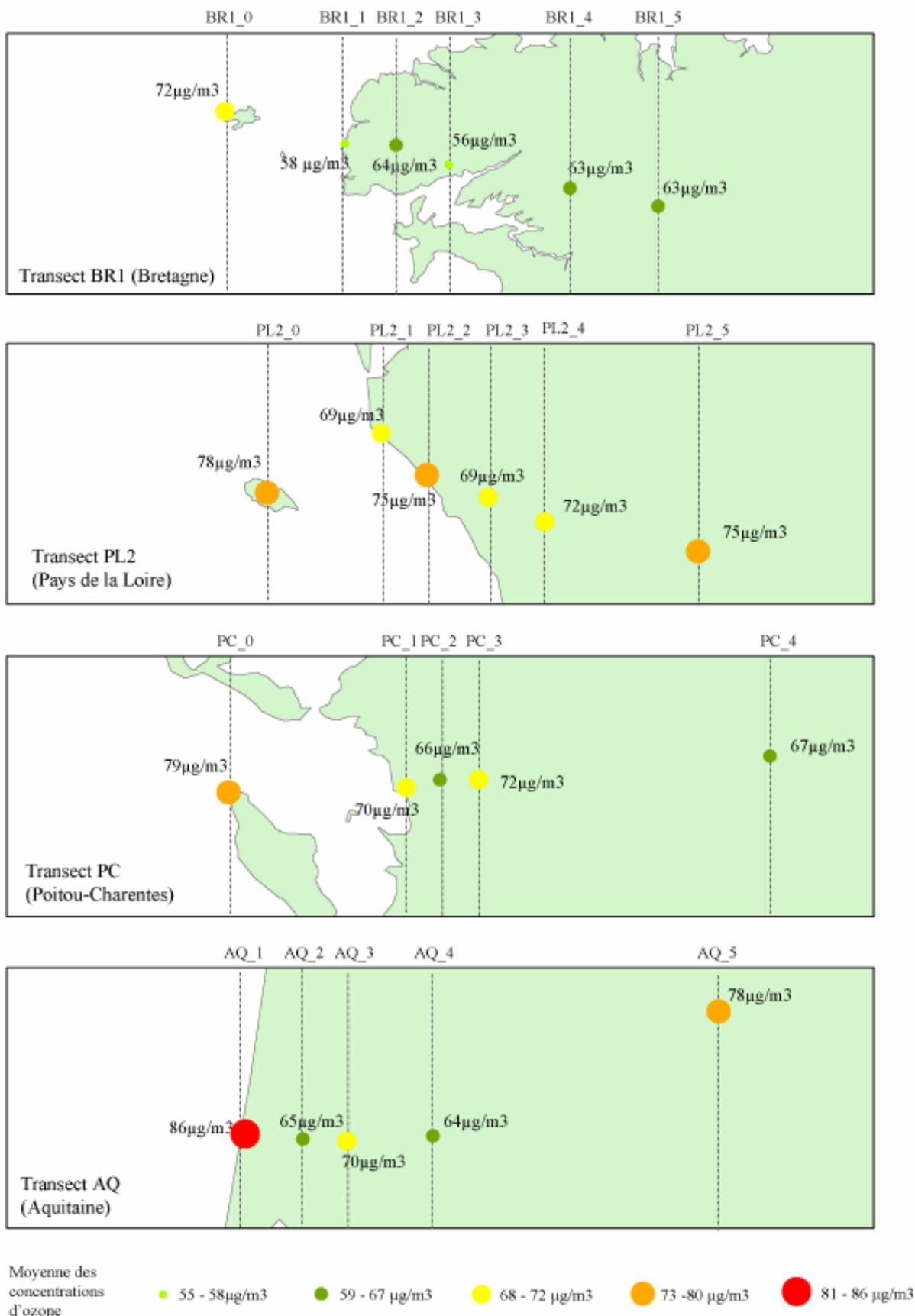


Figure III-1 : Cartographie des moyennes par transect

### III.3. Etude du profil moyen journalier

Le profil journalier moyen permet de suivre le comportement moyen de l’ozone sur une journée type.

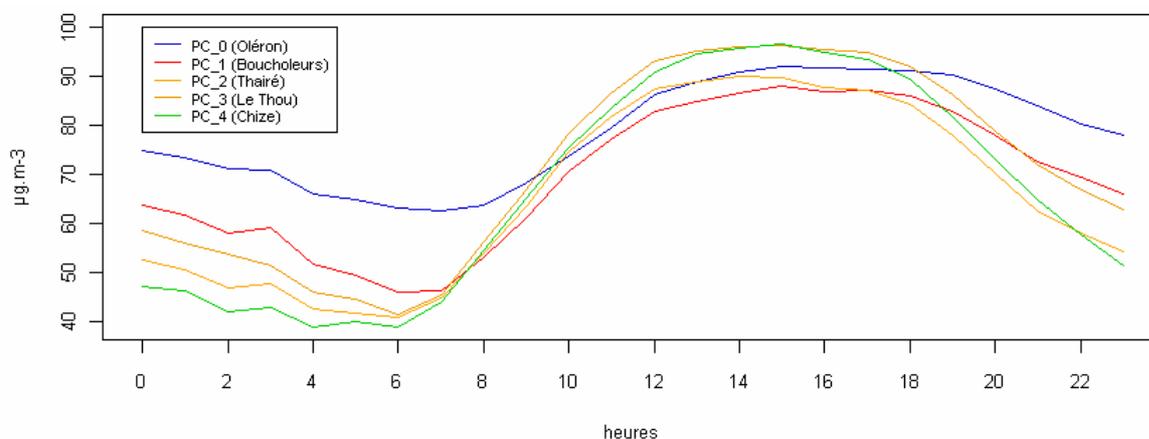


Figure III-2 : profil moyen journalier sur le transect PC

- Entre 22h et 6h, on observe le maximum d’hétérogénéité entre les mesures, sur cette période on a :

Transect PC	PC 0	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
Moyenne nuit	71.3	58.4	48.3	53.5	45.1

Tableau III-3 : Evolution des concentrations moyennes nocturnes sur le transect PC

On relève une différence entre le site PC\_0 et PC\_2 de 23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur une distance d’environ 25 km. Les concentrations les plus faibles sont relevées sur le site PC\_2. Une pré-étude d’EOLIA réalisée en 2001 sur le même transect a mis en évidence que les concentrations d’ozone en mer sont homogènes jusqu’à moins de 5 km de côte. Ainsi il est possible d’affirmer que cette diminution des concentrations d’ozone se produit sur quelques kilomètres. Cette remarque va à l’encontre des constatations usuelles où les concentrations sont très homogènes sur des zones rurales.

- Entre 12 et 18 heures, on remarque une seconde phase de stabilité, durant cette période les concentrations moyennes sont :

Transect PC	PC 0	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
Moyenne jour	90.3	86.0	87.9	94.7	93.6

Tableau III-4 : Evolution des concentrations moyennes diurnes sur le transect PC

Durant cette période, les moyennes sur les différents sites sont beaucoup plus homogènes avec au maximum une différence de 4.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Contrairement à précédemment la concentration la plus faible est relevée sur PC\_1.

Cet exemple sur le transect PC (Poitou-Charentes) laisse donc apparaître des comportements distincts de l’ozone selon la période de la journée.

### III.3.1 Etude des concentrations nocturnes sur l'arc Atlantique

Le Tableau III-5 donne les moyennes nocturnes (entre 22h et 6h) relevées pour les quatre transects de l'arc atlantique :

Transect BR	<i>id</i>	<i>BR1_0</i>	<i>BR1_1</i>	<i>BR1_3</i>	<i>BR1_4</i>	<i>BR1_5</i>	
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )	69.5	54.1	49.3	55.7	52.5	
Transect PL	<i>id</i>	<i>PL2_0</i>	<i>PL2_1</i>	<i>PL2_3</i>	<i>PL2_4</i>	<i>PL2_5</i>	<i>PL2_6</i>
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )	70.3	61.7	52.1	54.1	60.4	60.8
Transect PC	<i>id</i>	<i>PC_0</i>	<i>PC_1</i>	<i>PC_2</i>	<i>PC_3</i>	<i>PC_4</i>	
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )	71.3	58.4	48.3	53.5	45.1	
Transect AQ	<i>id</i>		<i>AQ_1</i>	<i>AQ_2</i>	<i>AQ_3</i>	<i>AQ_4</i>	<i>AQ_5</i>
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )		75.3	39.6	43.5	38.4	60.7

Tableau III-5: Evolution des concentrations moyennes nocturnes sur tous les transects

Pour les sites insulaires, les concentrations sont très homogènes avec des valeurs d'environ 70 µg/m<sup>3</sup>. Les mesures réalisées sur BR2\_0 (Belle Ile) donnent une concentration moyenne du même ordre de grandeur, 75 µg/m<sup>3</sup>.

En période nocturne, les concentrations en zone océanique sont très homogènes à l'échelle de la Bretagne, Pays de la Loire et Poitou-Charentes avec une valeur comprise entre 70 et 75 µg.m<sup>-3</sup>.

Pour les sites continentaux, les concentrations moyennes nocturnes sont plus dispersées selon le transect. Sur la zone de transition, les 4 transects laissent apparaître un puits d'ozone, il semble être le plus marqué sur une distance de 10 km à la côte (sites 1 à 3 selon les transects).

### III.3.2 Etude des concentrations diurne sur l'arc Atlantique

Le Tableau III-6 suivant donne les moyennes diurnes (entre 12h et 18h) relevées pour les quatre transects de l'arc Atlantique :

Transect BR	<i>id</i>	<i>BR1_0</i>	<i>BR1_1</i>	<i>BR1_2</i>	<i>BR1_4</i>	<i>BR1_5</i>	
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )	77.9	66.5	67.1	75.6	77.2	
Transect PL	<i>id</i>	<i>PL2_0</i>	<i>PL2_1</i>	<i>PL2_2</i>	<i>PL2_4</i>	<i>PL2_5</i>	<i>PL2_6</i>
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )	88.9	91.1	88.1	93.6	93.6	96.1
Transect PC	<i>id</i>	<i>PC_0</i>	<i>PC_1</i>	<i>PC_2</i>	<i>PC_3</i>	<i>PC_4</i>	
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )	90.3	86	87.9	94.7	93.6	
Transect AQ	<i>id</i>		<i>AQ_1</i>	<i>AQ_2</i>	<i>AQ_3</i>	<i>AQ_4</i>	<i>AQ_5</i>
	O3 (en µg/m <sup>3</sup> )		100.3	91.3	96.3	91.5	102.4

Tableau III-6 : Evolution des concentrations moyennes diurnes sur tous les transects

En période diurne, les concentrations moyennes retrouvent un comportement plus commun avec des valeurs plus importantes au sud de la zone d'étude (AQ > PC > PL2 > BR1)

En complément le site BR2\_0 (Belle Ile) indique une concentration moyenne de 90.9 µg/m<sup>3</sup>.

Les Figure III-3 et Figure III-4 décrivent le profil spatial le long des quatre transects sur ces deux périodes.

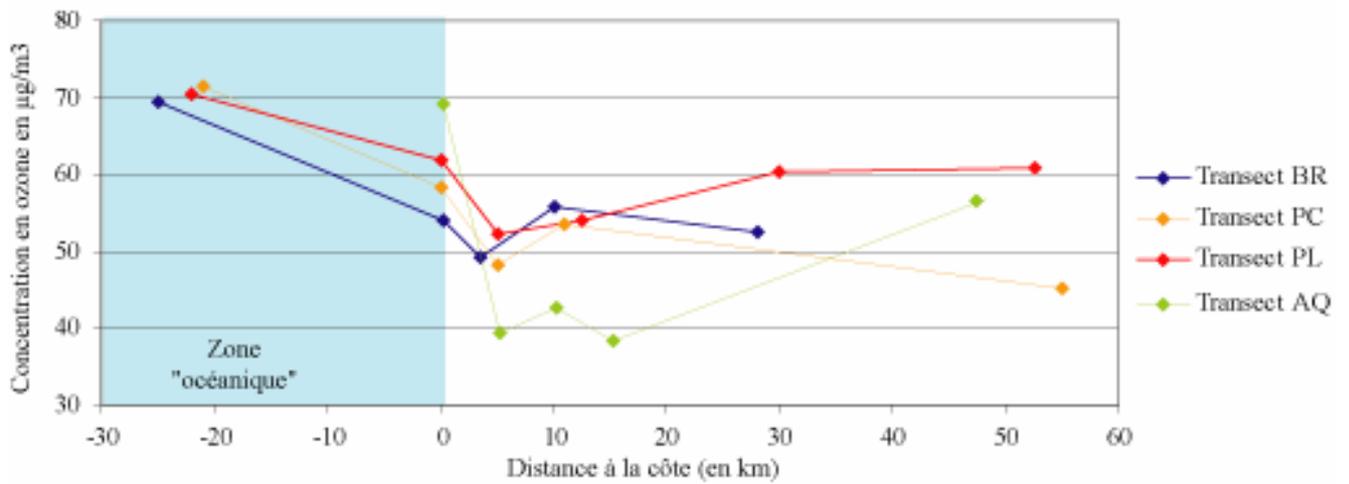


Figure III-3 : Evolution des concentrations par transect en période nocturne

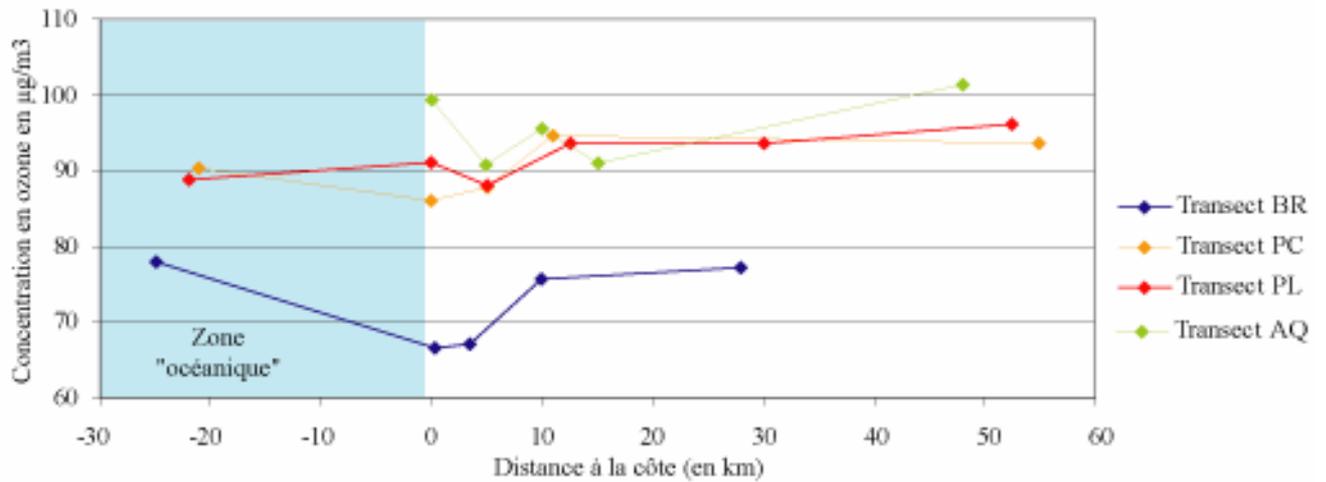


Figure III-4 : Evolution des concentrations par transect en période diurne

Ces graphiques montrent de fortes similarités entre les différents transects, ils laissent apparaître une zone très perturbée à faible distance du littoral atlantique.

## III.4. Comparaison inter transect

### III.4.1 Comparaison des sites insulaires

Les sites insulaires sont identifiés 0 sur les 4 transects BR1, PL2 et PC. En complément des mesures ont été réalisées sur « Belle Ile », ce site est identifié BR2\_0.

L'absence d'île sur le transect AQ (Aquitaine) conduit à l'absence de référence insulaire sur ce transect. Ce site sera comparé ici aux sites insulaires.

Afin de permettre une comparaison cohérente, seules les heures pour lesquelles une mesure valide est disponible sur l'ensemble des sites sont conservées. Cela ne représente que 25.6% de la base de données complète. Le Tableau III-7 donne les statistiques générales sur les sites insulaires et AQ1

	BR1_0	BR2_0	PL2_0	PC_0	AQ_1
Moyenne	68.2	78	75.4	77	84.5
25 <sup>ème</sup> centile	55	58	59	61	67
Minimum	28	26	31	18	7
Médiane	66	72	68	71	82
75 <sup>ème</sup> centile	82	92	90	91	100
Ecart-type	19	28.8	26	24.2	27.7
Maximum	125	180	184	162	177

Tableau III-7 : Statistique générale sur les sites "océaniques"

La Figure III-5 donne les profils moyens journaliers sur les 4 sites insulaires et sur AQ\_1 :

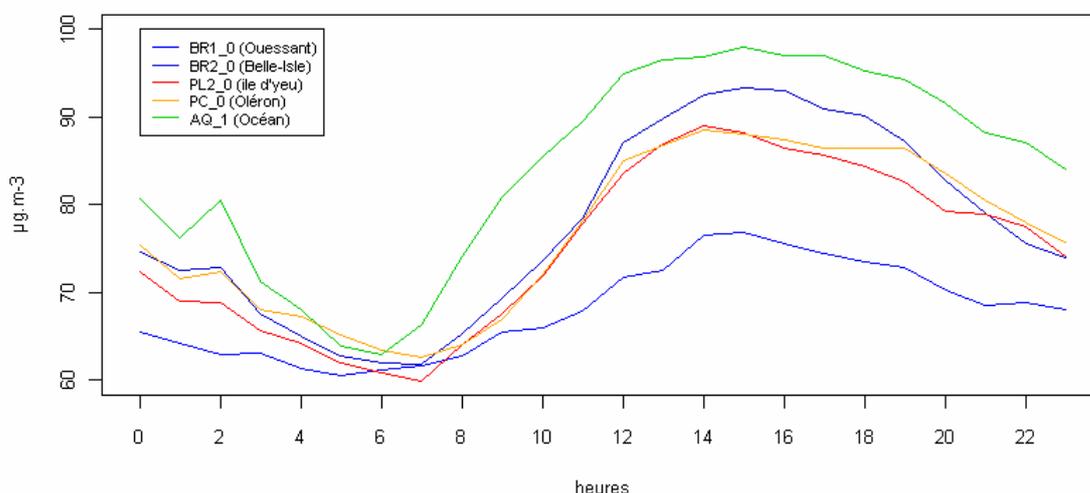


Figure III-5 : Profil moyen sur les océaniques

Le site insulaire du transect BR1 (Bretagne) apparaît plus plat. En moyenne sur la journée, les concentrations en ozone varient entre 60 et 76  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ceci se traduit par un écart-type plus faible sur les valeurs horaires (19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Les sites de référence océanique PL1\_0 (Ile d'Yeu), BR2\_0 (Belle Ile) et PC\_0 1 (Ile d'Oléron) montrent des fortes similitudes :

- les courbes sont très semblables
- les concentrations moyennes nocturnes sont de l'ordre de 72.3 et 75.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- le minimum est observé à 7 heures (contre 5h pour le site BR1\_0 et 6h pour le site AQ\_1)

### III.4.2 Comparaison des sites littoraux

Les sites littoraux ont été implantés sur le littoral, c'est à dire à quelques dizaines de mètres de l'océan, ils se localisent donc au niveau de l'interface terre-mer.

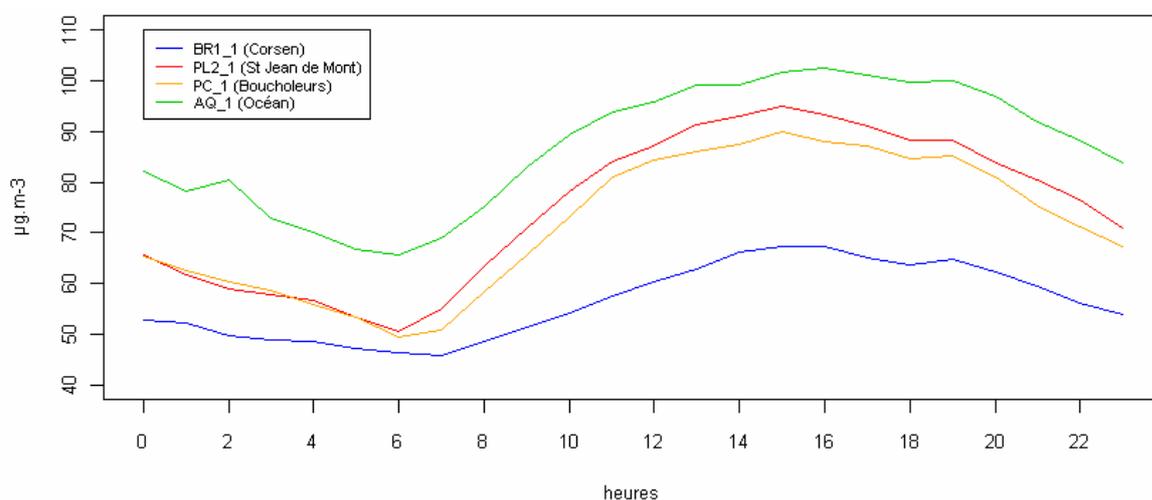


Figure III-6 : Profil moyen sur les sites implantés en bordure littorale

Sur ces sites, les profils moyens journaliers montrent une forte similitude entre les sites PL2\_1 et PC\_1

La Figure III-7 donne les profils moyens journaliers pour les sites de mesures situées entre 5 et 10Km de la côte.

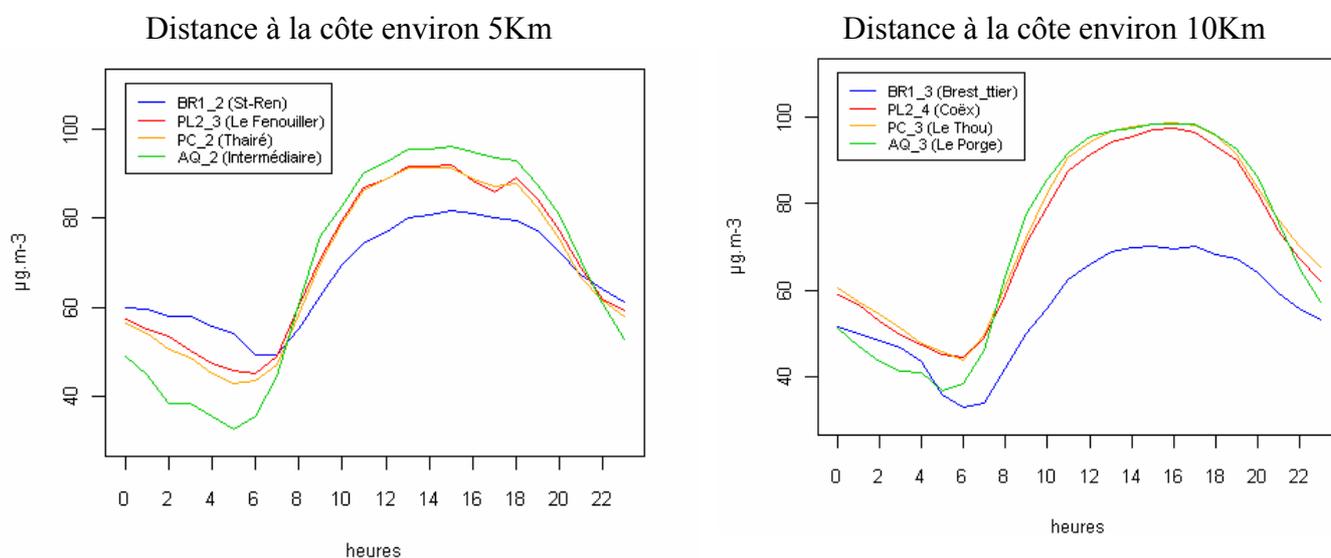


Figure III-7 : Profils moyens journaliers sur les sites de 5 à 10 km de la côte

Sur les trois transects PL2, PC et AQ, le profil moyen journalier montre que les concentrations s'homogénéisent lorsque que la distance à la côte augmente.

Les concentrations entre BR1\_2 (Saint-Renan) et BR1\_3 (Brest Natier) sont sensiblement différentes, l'étude de la ruralité des sites a mis en évidence que le site BR1\_3 est influencé par les émissions de l'agglomération de Brest.

### III.4.3 Etude des roses de pollution

Figure III-8 donne les roses des pollutions sur les sites océaniques des transects BR1, PL2 et PC.

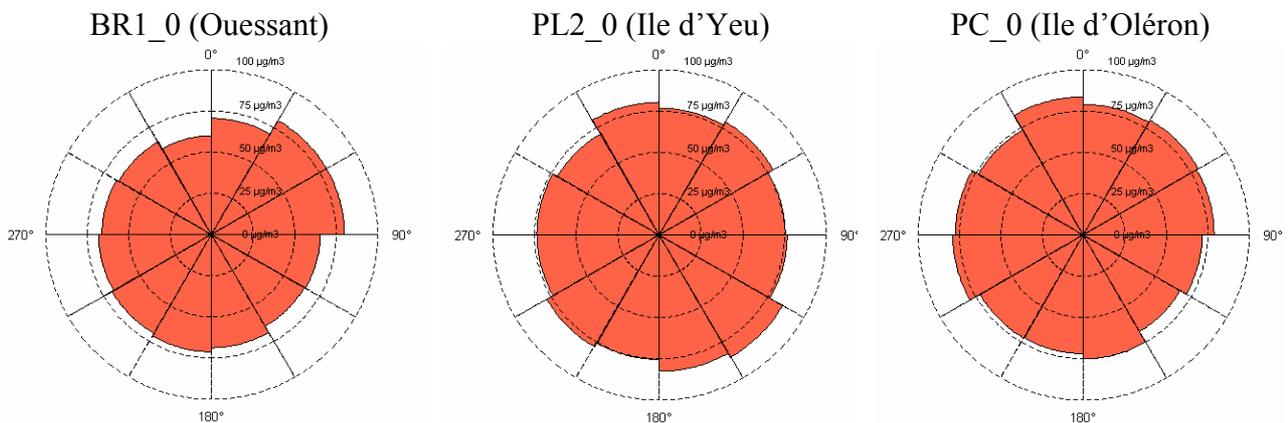


Figure III-8 : Rose des pollutions sur les sites océaniques

Les roses des pollutions des sites océaniques PL2\_0 et PC\_0 sont très proches, cela confirme la similarité des deux sites, déjà observée précédemment. Quelles que soient les directions concernées, ces roses des pollutions montrent une forte homogénéité des concentrations, la valeur moyenne oscille autour de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La rose des pollutions du site BR1\_0 met en avant une augmentation significative des concentrations d'ozone dans un secteur [0°-90°], comparativement au secteur [90°-360°], cette augmentation peut être estimée à environ  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il s'agit peut être de l'impact de la circulation maritime dans le rail d'Ouessant, cette hypothèse devra bien évidemment être approfondie.

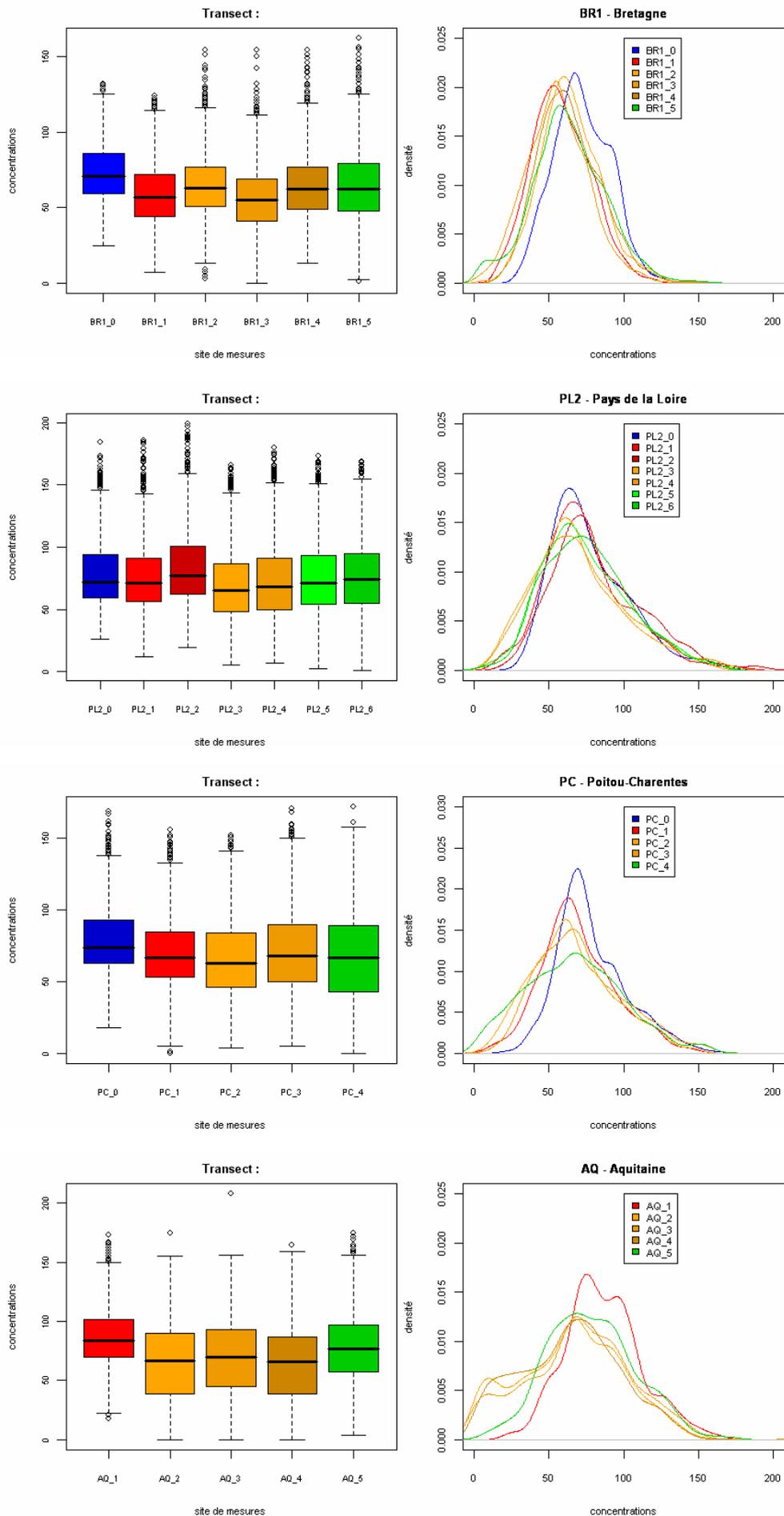


Figure III-9 : Etude des données horaires

#### **III.4.4 Etude des données horaires**

Une première approche d'exploitation de la base de données consiste à comparer les distributions des concentrations horaires sur l'ensemble de la campagne. Cette comparaison doit permettre de dégager des différences notables entre les sites d'un même transect. Pour cela, deux représentations de la distribution ont été réalisées : le boxplot et la densité de probabilité.

Le boxplot ou « boîtes à moustaches » est un graphique synthétique qui permet de représenter sur une seule figure, la plupart des grandeurs statistiques usuelles : médiane, quartiles, déciles (valeurs minimales et maximales, centiles : 10, 25, 50, 75, 90). Aussi, il rend compte de la dispersion des données et des valeurs extrêmes de la distribution.

La densité de probabilité est une courbe qui permet de visualiser la répartition des concentrations horaires d'un site. La forme de cette courbe généralement observée est celle de la loi normale. Cependant, elle peut être plus ou moins pointue et plus ou moins décalée suivant les sites.

Sur la Figure III-9, le graphique de gauche présente les boxplot de chaque site du transect alors que le graphique de droite représente les densités de probabilité.

L'observation des boxplot montre que les niveaux d'ozone sur les îles se positionnent légèrement au-dessus des autres sites du transect et que leurs amplitudes sont plus faibles. En effet, la hauteur de la boîte représentant l'intervalle entre le premier quartile (centile 25) et le troisième quartile (centile 75) c'est-à-dire l'intervalle dans lequel se trouve 50% des données centrées est plus petite pour les sites insulaires.

La comparaison des densités conduit à la même constatation. La distribution est plus pointue sur les îles c'est-à-dire plus centrée autour de la moyenne (courbe noire) et légèrement décalée sur la droite par rapport à ceux-ci ce qui signifie que les concentrations y sont globalement plus élevées.

Par ailleurs, des tests de normalité de la distribution ont été réalisés et ont conclu à l'absence de normalité des données.

Cette première analyse permet de montrer que les sites insulaires BR1\_0, PL1\_1, PL2\_2, PC\_0 (Ouessant, Belle-île, Yeu, Oléron) se distinguent des autres sites par un comportement plus « océanique », c'est-à-dire avec une moyenne plus élevée et un écart-type plus faible que les autres sites du même transect. Le site AQ\_1 « La Plage » présente quant à lui un comportement atypique : tout en étant un site littoral, le comportement de l'ozone présente des similarités avec les sites implantés sur les îles.



## **Chapitre IV : Etude statistique définition de typologies de sites en fonction du comportement de l'ozone**

L'objectif de ce chapitre est de dégager à partir de tests statistiques des comportements similaires entre sites de manière à définir une typologie de sites en trois catégories (océanique, littoral, continental). Cette typologie aura l'avantage d'être basée sur les concentrations mesurées en ozone et non pas sur la seule position géographique du site.

<b>IV.1. TEST DE FRIEDMAN</b>	<b>39</b>
<b>IV.2. COMPARAISON DES PROFILS JOURNALIERS</b>	<b>40</b>
IV.2.1 Comparaison graphique	40
IV.2.2 Comparaison statistique	41
IV.2.3 Conclusion	45
<b>IV.3. CORRELATION ENTRE LES SITES – EXEMPLE SUR LE TRANSECT PL</b>	<b>46</b>
<b>IV.4. PROCEDURE DE DUNN</b>	<b>47</b>
<b>IV.5. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES</b>	<b>48</b>
<b>IV.6. CLASSIFICATION DES SITES PAR LA METHODE CART</b>	<b>50</b>
<b>IV.7. CONCLUSIONS DE L'ETUDE STATISTIQUE</b>	<b>51</b>

Ce chapitre est une synthèse d'un document complet décrivant l'ensemble des tests sur la totalité des six transects.

## IV.1. Test de Friedman

Le test non paramétrique<sup>9</sup> de Friedman permet de vérifier s'il existe des différences significatives entre les échantillons de données des sites de chaque transect. Pour ce faire l'hypothèse H<sub>0</sub> (il n'existe pas de différence significative entre les sites d'un transect) est posée. Si la p value est inférieure au niveau de confiance (5 %) alors l'hypothèse H<sub>0</sub> est rejetée. On en déduit alors qu'il existe au moins deux sites présentant des différences statistiquement significatives.

Test de Friedman / Test bilatéral :						
	Ouessant-Brennilis	Belle Ile-Guipry	Belle Ile-Nantes	Ile d'Yeu-La Tardière	La Plage-Ambès	Oléron-Chizé
K (Valeur observée)	3772	3641	1739	5045	2004	2384
K (Valeur critique)	11	6	6	13	9	9
DDL	5	2	2	6	4	4
p-value (bilatérale)	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Niveau de confiance (alpha)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Tableau IV-1 : Test de Friedman sur les 6 transects EOLIA

Sur l'ensemble des transects, la p-value est inférieure au seuil de confiance de 5 %. Pour chaque transect il existe au moins deux sites statistiquement différents.

<sup>9</sup> C'est-à-dire non basés sur un paramètre caractérisant la distribution comme la moyenne ou la variance.

## IV.2. Comparaison des profils journaliers

La comparaison des profils journaliers des sites d'un même transect peut mettre en évidence des différences de comportement de l'ozone en fonction de la position du site sur le transect.

Une première comparaison peut être réalisée à partir de la représentation des profils journaliers sous forme de boîtes à moustaches. En effet, ceux-ci donnent une information plus complète sur la distribution des concentrations à chaque heure de la journée que le profil journalier moyen notamment sur la dispersion des valeurs. Ensuite, une comparaison statistique des profils journaliers de chaque couple de sites d'un même transect viendra compléter cette comparaison visuelle.

### IV.2.1 Comparaison graphique

La Figure IV-2 présente un exemple du transect BR1 (Bretagne).

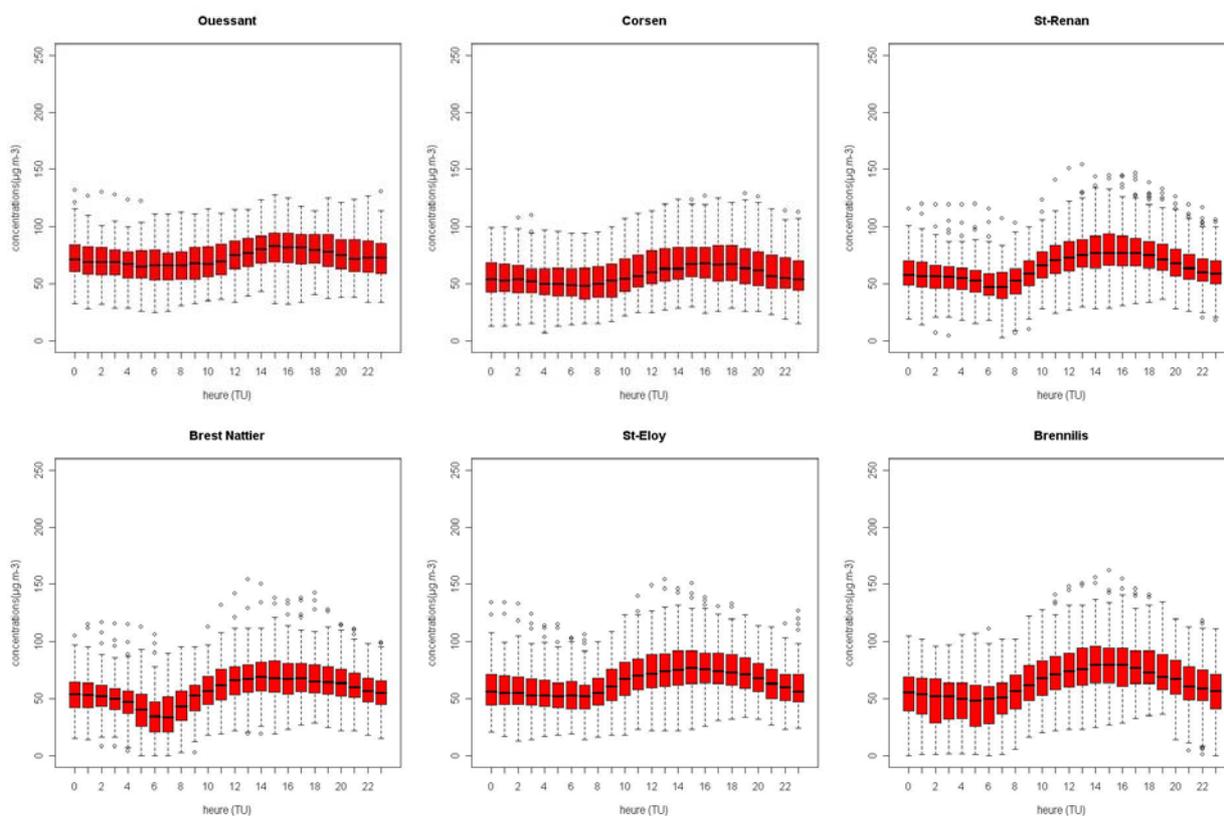


Figure IV-2 : profil moyen journalier sur le transect BR1

Tous les sites présentent la même évolution au cours de la journée : élévation de la concentration d'ozone dans l'après-midi. Cependant, les sites BR1\_0 (Ouessant) et BR1\_1 (Corsen) évoluent de manière moins marquée que les sites plus continentaux BR1\_2 à BR1\_5, (respectivement Saint Renan, Brest Nattier, Saint Eloy et Brennilis). Les sites BR1\_3 (Brest Nattier) et dans une moindre mesure BR1\_2 (Saint Renan) présentent une baisse plus sensible du niveau d'ozone entre 6h et 8h.

La comparaison graphique des profils journaliers déterminés pour l'ensemble des sites de chaque transect permet de dégager les remarques suivantes :

- les variations d'ozone au cours de la journée sont moins marquées sur les îles par rapport aux autres sites des transects.
- le comportement de l'ozone sur le site AQ\_1 (La Plage) présente des similitudes avec celui observé sur les îles.

Cette étude visuelle confirme l'étude précédente en isolant les sites insulaires et le site AQ\_1 (La Plage) par rapport aux autres sites. Le caractère « océanique » de l'évolution de l'ozone sur les îles et sur le site AQ\_1 (Plage) peut être alors affiné. Il se caractérise par des niveaux moyens plus élevés et moins dispersés et une évolution au sein de la journée moins marquée par rapport aux autres sites.

#### IV.2.2 Comparaison statistique

La comparaison graphique des profils journaliers a mis en évidence des différences entre les sites d'un même transect en particulier entre les sites océaniques et les autres. Cette comparaison est étudiée plus précisément dans cette partie. En effet, les moyennes horaires du profil journalier vont être comparées par le biais d'un test de Student pour chaque couple de sites du transect considéré. Chaque test conduit à une valeur de p-value qui s'interprète comme suit :

*Si la p-value est supérieure à 5% alors on ne peut pas rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes.*

L'application de ce test exige la vérification de l'hypothèse de normalité des échantillons et l'homogénéité des variances. Ces paramètres ont été contrôlés.

Les résultats sont présentés sous la forme de deux graphiques : le premier présente les courbes de profils journaliers des sites et le second (test de comparaison) affiche les p-value résultant des tests de Student pour chaque heure de la journée.

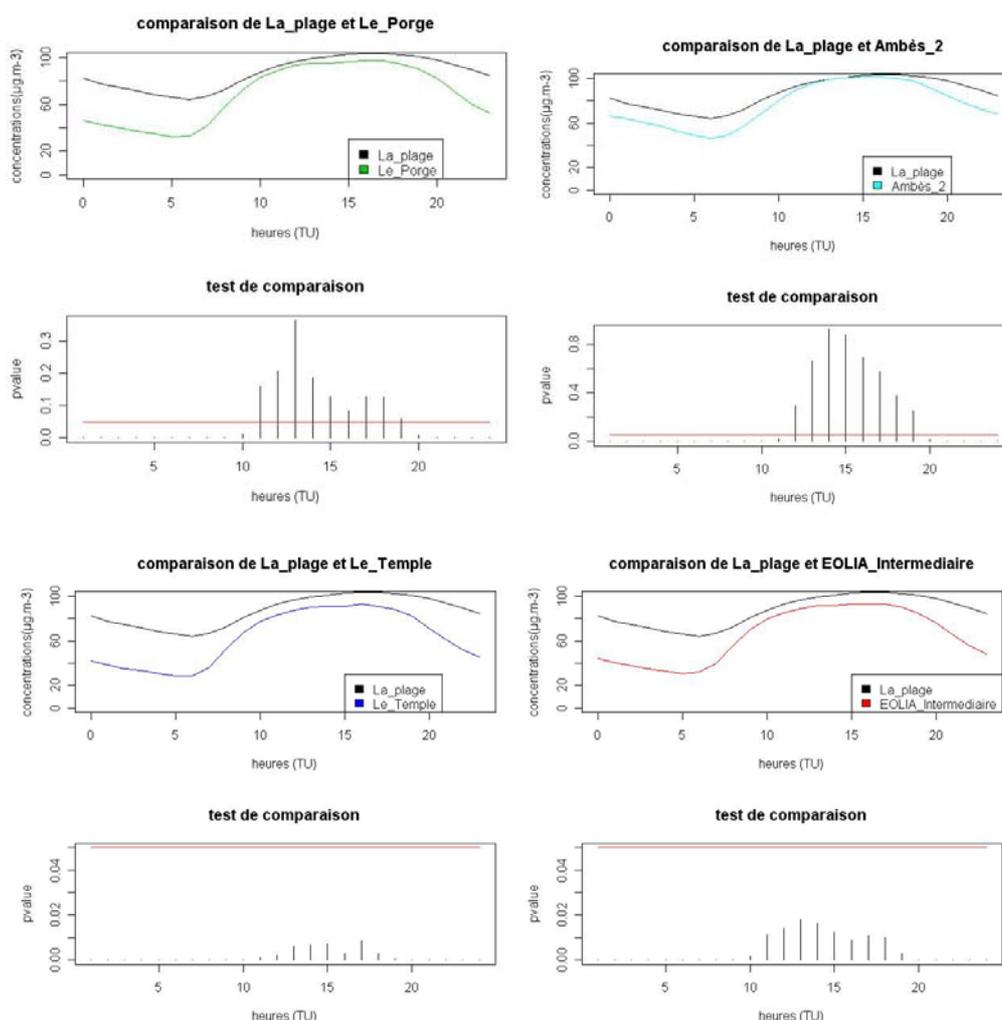


Figure IV-2 : Comparaison des profils moyens journaliers sur le transect AQ

Le site AQ\_1 (La Plage) apparaît comme proche des sites AQ\_3 (Le Porge) et AQ\_5 (Ambès 2) uniquement sur quelques heures au cours de l'après-midi (12h-18h). Il est différent de AQ\_2 (Intermédiaire) et de AQ\_4 (Le Temple) à toute heure. Ce site localisé sur le rivage aquitain présente donc un comportement d'ozone atypique qui n'est pas comparable à ceux enregistrés sur les autres sites localisés entre 5 et 15 km à l'intérieur des terres.

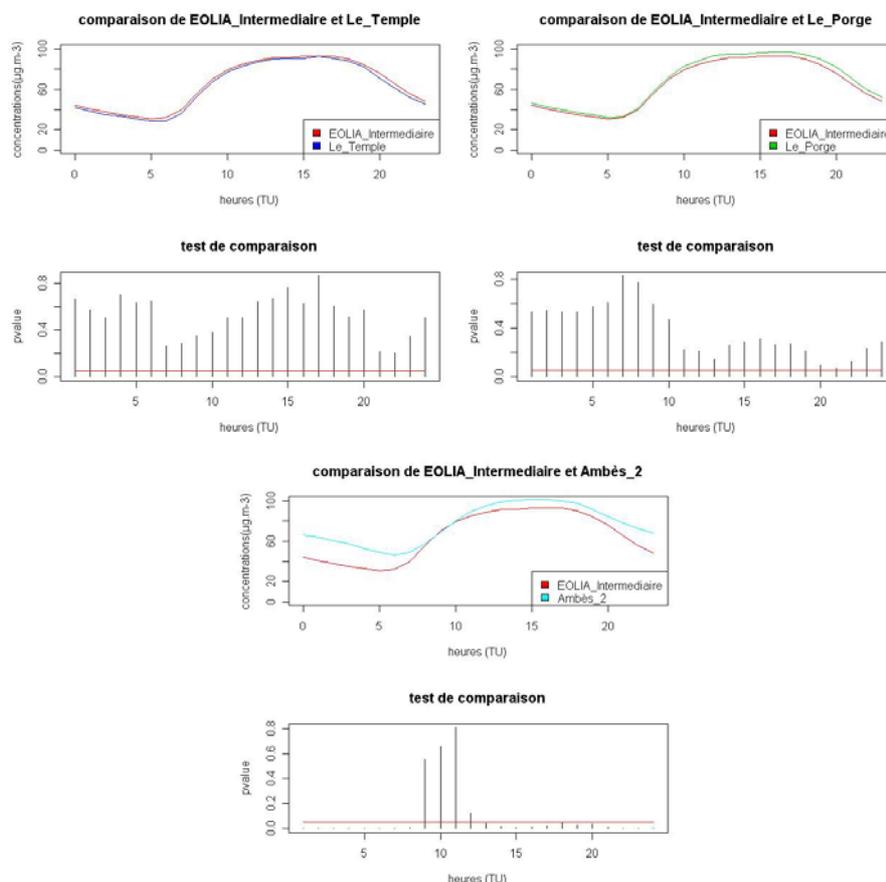


Figure IV-3 : Comparaison des profils moyens journaliers sur le transect AQ

Le site AQ\_2 (Intermédiaire) est en phase avec AQ\_3 (Le Porge) et AQ\_4 (Le Temple) et il se distingue clairement du site AQ\_5 (Ambès 2).

Sur le transect aquitain, la répartition en trois zones proposée à ce stade de l'analyse est la suivante :

AQ_1 La plage	AQ_2- Intermediaire	AQ_3 Le Porge	AQ_4 Le Temple	AQ_5 Ambès_2
Océanique	Littoral	littoral ou continental	littoral	continental

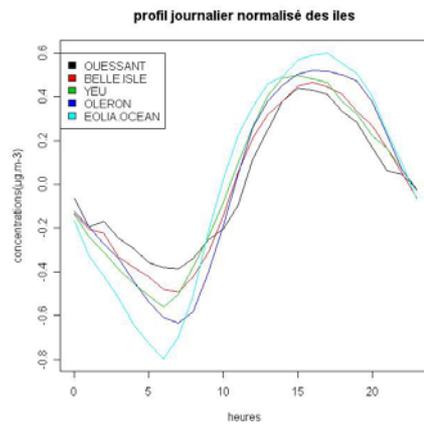
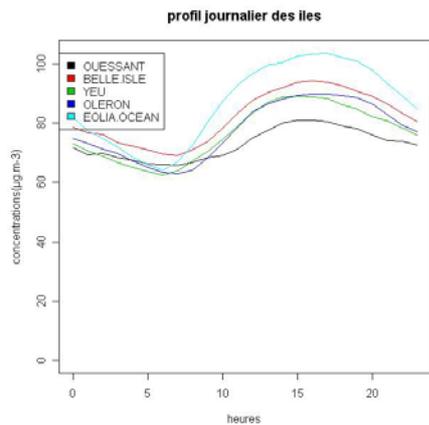
Tableau IV-2 : Interprétation des tests de Friedman pour le transect aquitain

Une confirmation du caractère océanique de l'ozone sur le site de la Plage peut être établie par la comparaison statistique entre le profil journalier sur ce site et ceux observés sur les îles. Les niveaux d'ozone dépendent des conditions météorologiques et notamment de l'ensoleillement. Afin de s'affranchir de la différence Nord Sud et de s'intéresser uniquement à la forme du profil journalier il est nécessaire de normaliser<sup>10</sup> les données avant de réaliser le test de comparaison des moyennes horaires.

La Figure IV- montre les profils journaliers moyens avant et après normalisation sur les îles et le site de la plage. Le premier graphique illustre bien la différence Nord Sud dans les niveaux d'ozone. Les niveaux moyens les plus élevés se retrouvent en Aquitaine les plus faibles sur

<sup>10</sup> Normaliser : centrer (soustraire la moyenne) et réduire (diviser par l'écart-type) les données de manière à comparer des échantillons de même moyenne (m=0) et de même écart-type (s=1).

BR1\_0 (Ouessant). Les niveaux à PL1\_1 (Belle Ile), PL2\_0 (île d'Yeu) et PC\_0 (île d'Oléron) sont proches et se situent entre ces deux extrêmes.



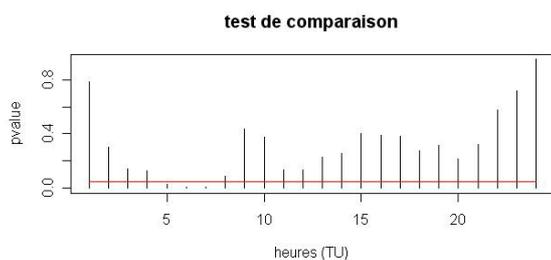
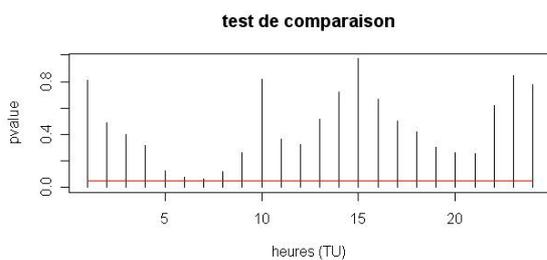
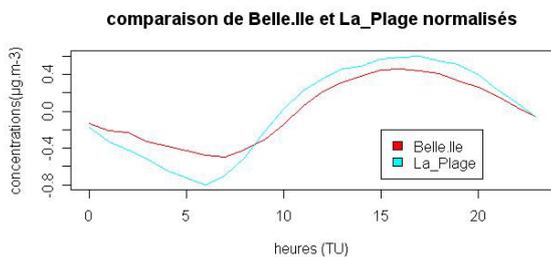
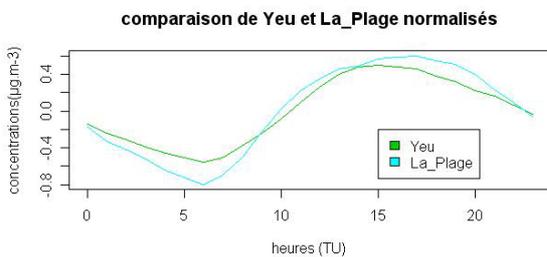
Evolution journalière de l'ozone sur les îles et sur le site de la plage (avant normalisation)

Evolution journalière de l'ozone sur les îles et sur le site de la plage (après normalisation)

**Figure IV-5 : Profil moyen journalier sur les sites océaniques et sur AQ\_1 (avant et après normalisation)**

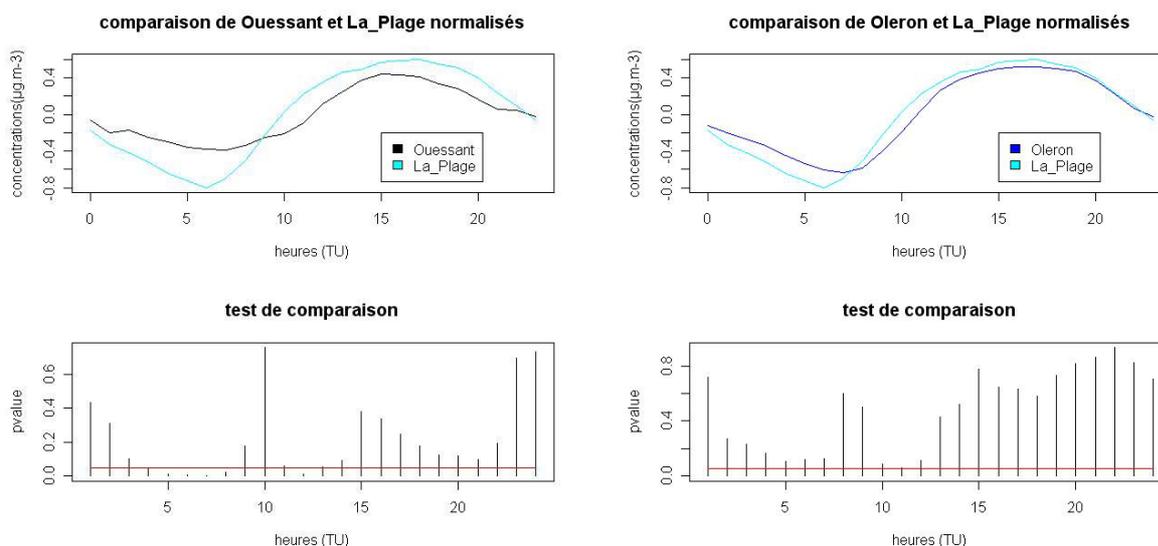
Après normalisation, le site AQ\_1 (La Plage) présente des similitudes de profil journalier avec les sites des îles. AQ\_1 semble cependant être le site qui présente la plus forte amplitude entre 5 heures et 18 heures.

Le test de Student appliqué sur AQ\_1 par rapport à PL1\_0, BR2\_0 et PC\_0 indique que les concentrations moyennes ne peuvent être jugées significativement différentes (cf. graphiques suivants).



Profil journalier moyen sur l'île de Yeu et la plage et test de student associé

Profil journalier moyen sur Belle île et la plage et test de student associé



*Profil journalier moyen sur Ouessant et la plage et test de student associé*

*Profil journalier moyen sur Oléron et la plage et test de student associé*

**Figure IV-6 : Tests de Friedman pour les sites insulaires et le site La Plage**

### **IV.2.3 Conclusion**

La comparaison graphique des profils journaliers sous forme de boxplots a conduit à isoler les sites insulaires des autres. Le site AQ\_1 (La Plage) est sur le rivage aquitain et présente un comportement d'ozone atypique qui se rapproche de celui enregistré sur les îles.

Le caractère « océanique » de l'évolution de l'ozone sur les îles et sur le site AQ\_1 (La plage) a pu être affiné. Il se caractérise par des niveaux moyens plus élevés, moins dispersés et une évolution au sein de la journée moins marquée par rapport aux autres sites.

La comparaison statistique des profils moyens a permis d'étudier plus précisément les similitudes de profils entre sites d'un même transect. Une étude plus approfondie du site la Plage a également permis de montrer que l'évolution de l'ozone sur ce site pouvait être considérée comme « océanique » malgré sa localisation sur le rivage.

Un premier regroupement basé sur l'évolution de l'ozone sur les sites peut être alors envisagé, ce regroupement est présenté dans le Tableau IV-7.

### IV.3. Corrélation entre les sites – Exemple sur le transect PL

L'étude de la corrélation entre les sites permet de mettre en relation des sites qui ont un comportement similaire dans le temps. La matrice de corrélation de Pearson a été calculée pour chaque transect, les sites présentant des coefficients de corrélation les plus élevés ont été considérés comme similaires.

L'exemple sur le transect PL (Pays de la Loire) est décrit dans la matrice de corrélation est reportée dans le tableau suivant :

	PL2_0	PL2_1	PL2_2	PL2_3	PL2_4	PL2_5	PL2_6
PL2_0	1	0.897	0.921	0.856	0.871	0.840	0.776
PL2_1	0.897	1	0.956	0.890	0.902	0.862	0.772
PL2_2	0.921	0.956	1	0.934	0.942	0.901	0.821
PL2_3	0.856	0.890	0.934	1	0.961	0.919	0.860
PL2_4	0.871	0.902	0.942	0.961	1	0.949	0.897
PL2_5	0.840	0.862	0.901	0.919	0.949	1	0.886
PL2_6	0.776	0.772	0.821	0.860	0.897	0.886	1

Tableau IV-2: Matrice de corrélation de Pearson

Le Tableau IV-3 récapitule les sites pour lesquels la corrélation de Pearson indique une similarité.

Objet1	Objet2	Similarité
PL2_0	PL2_2	0.921
PL2_1	PL2_2	0.956
PL2_1	PL2_4	0.902
PL2_2	PL2_3	0.934
PL2_2	PL2_4	0.942
PL2_2	PL2_5	0.901
PL2_3	PL2_4	0.961
PL2_3	PL2_5	0.919
PL2_4	PL2_5	0.949

Tableau IV-3 : Similarité des sites sur le transect ile d'Yeu – la Tardière.

La majorité des sites proches l'un de l'autre du transect des Pays de la Loire sont très corrélés entre eux. Ce résultat vient confirmer le constat fait lors de la comparaison des profils journaliers indiquant une forte similitude des sites du transect de l'île d'Yeu à La Tardière. La répartition en trois zones issues de la comparaison des corrélations est la suivante :

Yeu	St-Jean-de-Mont	St-Hilaire-de-Riez	Le Fenouiller	Coex	La_Roche-sur-Yon	La_Tardière
océanique	littoral	Littoral	littoral ou continental	littoral ou continental	continental	continental

Tableau IV-4 : Interprétation des tests de corrélation pour le transect des Pays de la Loire

La répartition des sites en trois zones issues de l'analyse des corrélations est décrite dans le Tableau IV-7.

## IV.4. Procédure de Dunn

La procédure de Dunn basée sur les rangs permet de mettre en évidence des rapprochements entre les sites d'un même transect. La procédure de Dunn fournit donc une classification des échantillons en effectuant des regroupements.

Le Tableau IV-5 suivant récapitule les résultats de la procédure de Dunn appliqué au transect BR1.

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
BR1_3	3554	30951486.500	8708.916	A
BR1_1	3615	33012738.500	9132.154	B
BR1_5	3667	38450851.000	10485.642	C
BR1_4	3668	39528388.000	10776.551	D
BR1_2	3448	37309481.000	10820.615	D
BR1_0	2885	37847758.000	13118.807	E

Tableau IV-5 : Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral

La procédure de Dunn conduit à un seul regroupement qui est celui de Saint-Eloy et de Saint Renan. Ce résultat qui peut paraître surprenant car les deux sites sont distants de 38 km et séparés par l'agglomération brestoise est confirmé par la comparaison des profils journaliers de ces deux sites (les profils des deux sites sont différents seulement sur quelques heures de la matinée). La répartition en trois zones pour ce transect est la suivante :

### Transect BR1

BR1_0 Ouessant	BR1_1 Corsen	BR1_2 St-Renan	BR1_3 Brest_Nattier	BR1_4 St-Eloy	BR1_5 Brennilis
océanique	Littoral	Continental Groupe D	Continental Groupe A	Continental Groupe D	Continental Groupe C

Tableau IV-6 : Classification des sites du transect BR1 selon la procédure de Dunn

La procédure de Dunn a mis en évidence des regroupements de sites possibles. Ces regroupements ne sont pas toujours confirmés par la comparaison des profils journaliers.

La répartition des sites en trois zones issues de la procédure de Dunn est décrite dans le Tableau IV-7.

---

## IV.5. Analyse en Composantes Principales

L'ACP est une technique statistique qui permet de mettre en évidence d'éventuels regroupements entre des sites en fonction d'un certain nombre de paramètres.

Pour comprendre comment cette technique fonctionne, prenons l'exemple d'une analyse portant sur trois variables numériques ou plus :

Lorsque nous sommes en présence de deux variables numériques (par exemple la concentration moyenne et l'écart type), il est aisé d'imaginer une représentation graphique qui restitue toute l'information : un graphique avec deux axes. Si l'on ajoute une troisième variable, par exemple la symétrie de la distribution, il faudrait un graphique en trois dimensions, plus difficile à lire. En ajoutant une quatrième variable, les limites de ce que l'esprit humain est capable d'appréhender visuellement sont dépassées.

Une analyse telle que l'ACP ramène le nuage de points en trois, quatre ou n dimensions à un plan en 2 dimensions. Cependant, les axes choisis ne correspondent pas à l'une ou l'autre des variables mais sont des axes virtuels, issus de combinaisons entre les variables et calculés pour passer le plus près possible de tous les points du nuage. Ce type d'analyse permet de synthétiser l'information apportée par toutes les variables, en minimisant la perte d'information.

Les données vont être « projetées » sur un certain nombre d'axes (autant d'axes que de variables). Chaque axe représente un pourcentage de l'information totale, et permet de mettre en opposition des sites ayant des caractéristiques différentes (exemple : sites ayant une moyenne élevée contre site ayant un écart-type élevé). Le premier axe est celui qui contient le plus d'information. Le dernier axe est rarement pris en compte. Chaque axe doit être pris en compte en fonction des axes précédents. Par exemple, le premier axe peut mettre en opposition des sites ayant une moyenne élevée contre des sites ayant un écart-type élevé. Compte tenu de ces différences, le deuxième axe peut mettre en opposition les sites où la moyenne et l'écart-type sont élevés, contre ceux où les deux paramètres sont faibles.

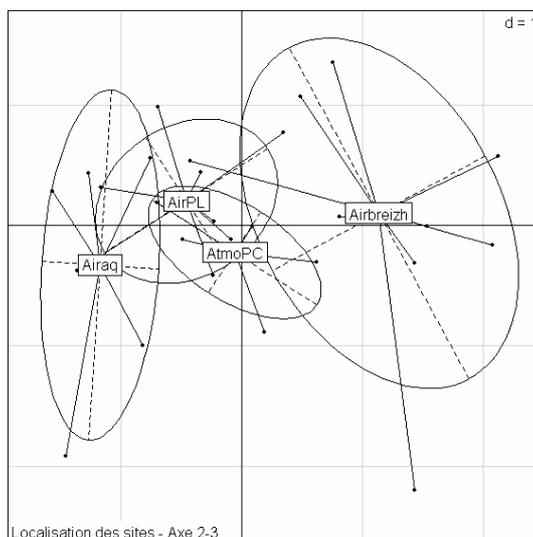
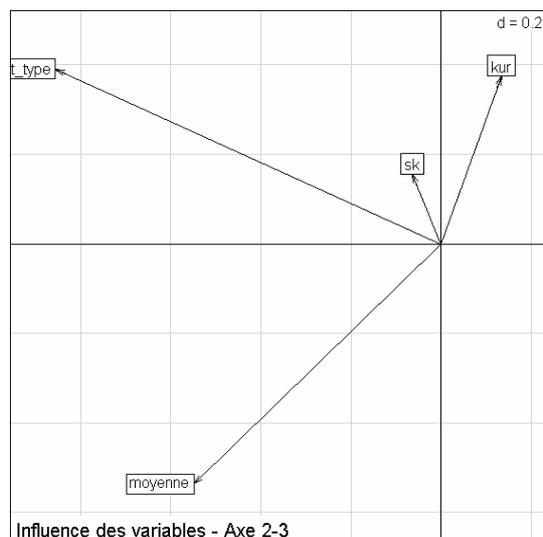
Une ACP a été réalisée sur les 28 sites situés sur les différents transects. Quatre paramètres ont été pris en compte (à partir des données horaires) :

- moyenne des concentrations ;
- écart- type ;
- Skewness : ce paramètre indique si la distribution est symétrique (skewness=0), ou si les concentrations horaires peuvent atteindre des niveaux relativement élevés (skewness>0) ;
- Kurtosis : complémentaire de l'écart- type, ce paramètre indique si la distribution est plus resserrée (kurtosis>3) ou moins resserrée (kurtosis<3) qu'une distribution gaussienne.

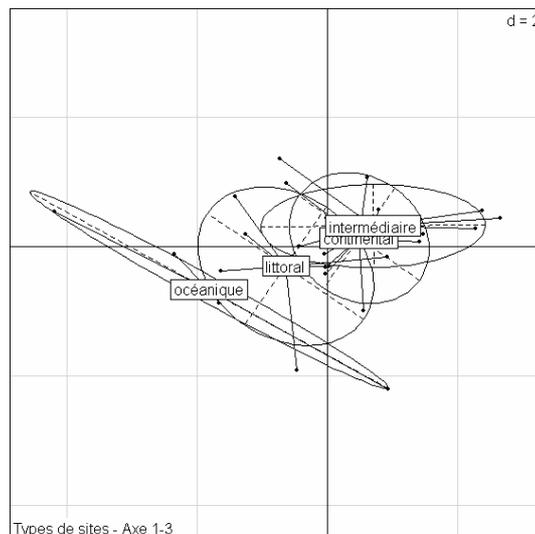
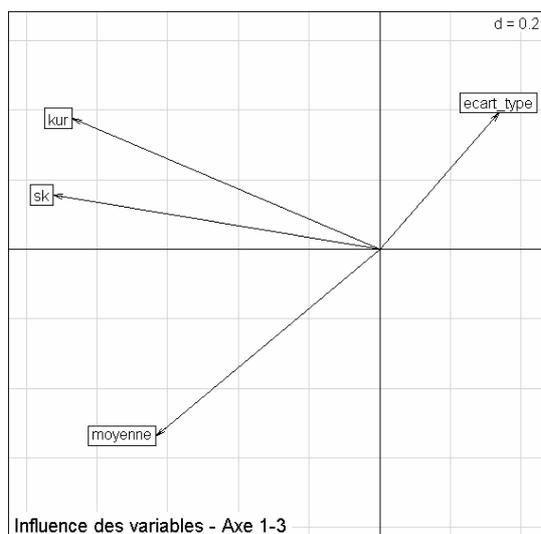
Deux variables qualitatives, non prises en compte dans l'ACP, ont été retenues afin de vérifier si cette analyse permettait de créer des groupes de sites :

- l'AASQA relative au site : AirBreizh, AirPL, AtmoPC ou Airaq ;
- le type de site, selon son éloignement par rapport à la mer selon le référencement suivant :
  - océanique : situé sur une île ;
  - littoral : éloignement < 1km ;
  - intermédiaire : 1km < éloignement < 20km ;
  - continental : éloignement > 20km.

D'après l'analyse précédente, il ressort que la localisation des sites (du Nord au Sud) peut être caractérisée par les axes 2 et 3, alors que le type de site (océanique, littoral, intermédiaire ou continental) est plutôt caractérisé par les axes 1 et 3.



Les axes 2 et 3 permettent en effet de mesurer l'influence Nord-Sud, en isolant les sites aquitains et bretons. Les sites des transects PL2 et PC sont, eux, difficilement dissociables et se situent entre les sites bretons et aquitains.



Les différences observées simultanément sur les axes 1 et 3 s'expliquent assez bien par la typologie des sites. Les sites océaniques ont un comportement particulier, qui semble se retrouver également sur certains sites littoraux. En revanche, il est impossible de distinguer les sites intermédiaires des sites continentaux. Les principales variables permettant de dissocier les sites selon leur type sont la moyenne et l'écart type. 3 sites ont donné des résultats aberrants : ce sont la PL2\_6 (Tardière), AQ5 (Ambès 2) et BR1\_1 (Corsen) qui selon l'ACP se situent plutôt en zone littorale pour les 2 premiers et en zone continentale pour BR1\_1.

La répartition des sites en trois zones issues de l'analyse en composante principale est décrite dans le Tableau IV-7.

## IV.6. Classification des sites par la méthode CART

Dans cette partie, l'objectif est de voir si le type d'un site peut être déterminé a priori en fonction d'un certain nombre de paramètres. Pour ce faire, les informations suivantes ont été calculées pour chaque site :

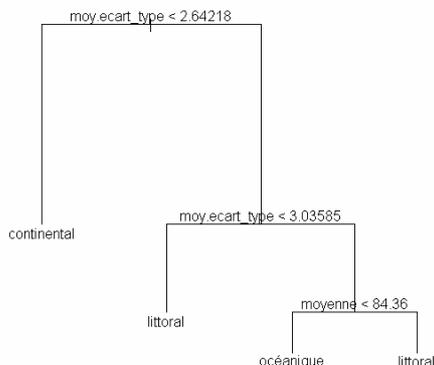
- moyenne ;
- écart-type ;
- skewness ;
- kurtosis ;
- le rapport moyenne/écart-type (afin de mettre l'accent sur ces deux paramètres)

La typologie des sites fixée dans la partie ACP est conservée, soit 4 types (océanique -littoral, intermédiaire, continental). Plusieurs configurations de sites ont été testées

- la plus détaillée : 4 types (océanique, littoral, intermédiaire, continental) ;
- 3 types de sites (océanique, littoral+intermédiaire, continental) ;
- 2 types de sites (océanique+littoral, intermédiaire+continental).

La classification a été réalisée à partir des méthodes CART. Ces méthodes reposent sur une succession de conditions pour classer les données (« si paramètre1<x et paramètre2<y alors type=Z »). Les sites ont été classés par validation croisée, pour chaque configuration, les sites mal classés ont été recensés.

L'analyse des résultats de ces 3 tests (avec 4, 3 et 2 typologies) montre que la typologie à 3 types semble être la plus robuste. Cette configuration est présentée dans la suite.



Sur les 28 sites :

- 19 sont bien classés
- 8 sont mal classés d'une catégorie
- 1 est mal classé de 2 catégories :

St Renan : océanique au lieu de continental

En ne conservant que 3 types de sites, une amélioration notable est constatée. En effet, près de 70% des sites sont bien classés (19 sur 28).

Figure IV-7 : Exemple d'arbre de classification à 3 types

Comme pour la classification précédente, les principales erreurs de classification sont :

- au nord, un décalage vers l'intérieur des terres
- au sud, un décalage vers l'océan. En ne conservant plus que 2 types de sites (littoral et continental), 75% des sites sont à présent bien classés. Ce classement apporte peu d'évolutions par rapport au précédent.

D'après l'ensemble des tests (avec 4, 3 et 2 typologies) il s'avère que la typologie à 3 types semble être la plus robuste. Ceci confirme l'étude menée en ACP qui ne montrait pas de distinction entre les zones littorale (<1 km) et intermédiaire (entre 1et 20km).

La classification par arbre de régression à 3 types permet d'alimenter le Tableau IV-7.

## IV.7. Conclusions de l'étude statistique

L'objectif de ce chapitre était de dégager des comportements similaires entre sites de manière à pouvoir définir une typologie de sites en trois catégories (océanique, littoral, continental) qui pourra ensuite être utilisée dans le chapitre suivant relatif à la classification des transects.

Cette typologie statistique a l'avantage d'être basée sur le comportement de l'ozone et non pas sur la seule position géographique du site.

Les différentes analyses réalisées ont permis de dégager un certain nombre de résultats :

- la distribution des concentrations des sites océaniques se distingue de celles des autres sites du transect : elle est plus étroite c'est-à-dire moins dispersée et globalement décalée vers la droite c'est-à-dire plus élevée ;
- le profil journalier des sites océaniques est plus plat que celui des sites continentaux ;
- le profil journalier des sites océaniques et littoraux est plus dispersé l'après-midi ;
- des regroupements de sites sont envisageables à partir de la comparaison statistique des profils journaliers, des matrices de corrélation et des tests non paramétriques réalisés.

Dans le but de mettre en œuvre, dans la partie suivante une classification des profils d'ozone suivant le transect, il est nécessaire de définir une classification des sites en trois zones : océanique, littorale et continentale. Le tableau ci-dessous suggère une répartition des sites pour chaque transect des résultats obtenus lors des analyses de données suivantes :

- comparaison graphique des profils journaliers ;
- comparaison statistique des profils journaliers ;
- corrélation de Pearson ;
- classification de Dunn ;
- analyse en composante principale ;
- classification par arbre.

Pour chaque analyse, trois types de comportements d'ozone ont été envisagés pour les sites d'un transect :

- océanique (O) : niveaux d'ozone qui se caractérisent par une faible dispersion un profil journalier plat et un niveau moyen plus élevé que les autres types;
- littoral (L) : des niveaux d'ozone qui présentent un profil relativement plat mais moins élevé que les sites océaniques;
- continental (C) : niveaux d'ozone qui ont une dispersion plus marquée et des niveaux de concentration bas plus faibles.

L'ensemble des résultats est synthétisé dans le Tableau IV-7. L'ensemble des tests indique que les sites insulaires ont un comportement océanique mais également le site AQ1 (la Plage). Cette dernière remarque peut paraître surprenante sachant que ce site est situé géographiquement sur le littoral aquitain, ces résultats seront pris en compte dans le paragraphe suivant.

Les sites localisés les plus à l'intérieur des terres ont, d'après la majorité des tests, un comportement d'ozone continental. Les sites qui posent le plus de doutes sont ceux situés entre 5 et 20 km à l'intérieur des terres. Ces sites ont, selon le test considéré, un comportement d'ozone qui se rapproche soit du comportement « continental » soit « littoral ».

Le Tableau IV-7 donne l'ensemble des résultats des tests statistiques sur tous les transects de l'étude EOLIA.

Transect	Site	Code sites	Océanique Littoral Continental			distance à la cote (Km)	comparaison graphique des profils journaliers	comparaison statistique des profils journaliers	corrélation de Pearson	classification de Dunn	analyse en composante principale	classification par arbre
			Océanique	Littoral	Continental							
BR_1	Ouessant	BR1_0	X			-25	O	O	O	O	O	
	Corsen	BR1_1		X		0.3	L	L/O	L	L		
	Saint-Renan	BR1_2		X	X	9	C	C	L	C	C	
	Brest Nattier	BR1_3			X	3.5	C	C	L/C	C	C	C
	Saint-Eloy Brennilis	BR1_4 BR1_5			X X	10 28	C C	C C	C C	C C	C C	C C
BR_2	Belle Ile	BR2_0	X			-52	O	O	O	O	O	O
	Vannes	BR2_1		X	X	4	L	C	C	L	C	C
	Guipry	BR2_3			X	61	C	C	C	C	C	C
PL_1	Belle Ile	PL1_0	X			-52	O	O	O	O	O	O
	Pornichet	PL1_1		X	X	0	L	L	L	C	L	C
	Bouaye	PL1_2			X	26	C	C	C	C	C	C
PL 2	Ile d'Yeu	PL2_0	X			-22	O	O	O	O	O	
	Saint-Jean de Mont	PL2_1		X		0	L	L	L	L	L	
	Saint-Hilaire de Riez	PL2_2		X		0	L	L	L	L	L	L
	Le fenouiller	PL2_3		X	X	5	L	L/C	L/C	L	C	C
	Coex	PL2_4		X	X	12.5	L	L/C	L/C	C	C	C
	La Roche Sur Yon La Tardière	PL2_5 PL2_6			X X	30 52	C C	C C	C C	C C	C C	C C
PC	Oléron	PC_0	X			-21	O	O	O	O	O	O
	Les Boucheleurs	PC_1		X		0	L	L	L	L	L	L
	Thairé	PC_2		X	X	5	L	C	L/C	C	C	C
	Le Thou	PC_3		X	X	11	L	C	L/C	C	C	C
	Chizé	PC_40			X	55	C	C	C	C	C	C
AQ	Océan	AQ_1	X			0	O	O	O	O	O	O
	intermédiaire	AQ_2		X	X	5	L	L	L	L	C	C
	Le Porge	AQ_3		X	X	10	L	L/C	L	L	C	C
	Le Temple	AQ_4		X	X	15	L	L	L	L	C	C
	Ambès 2	AQ_5			X	53	C	C	C	C	C	C

Tableau IV-7 : Résultats complets de l'étude statistique

La Figure IV-7 donne une synthèse des résultats des différents tests réalisés. Elle propose une évolution du caractère « continental » de chaque site en fonction de leur distance à la côte.

Une synthèse de l'ensemble de ces résultats peut être réalisée de façon graphique. Pour chaque test effectué, un coefficient pondérateur variant de 1 à 3 est attribué. Ainsi, aux comportements océaniques, littoraux et continentaux, sont attribués respectivement les coefficients 1, 2 et 3. Un site dont le test révèle un comportement mixte, comme O/L, se verra attribuer un coefficient 1,5.

On dira ainsi qu'un site montre un comportement purement océanique, lorsque les quatre tests statistiques (comparaison statistique des profils journaliers, corrélation de Pearson, classification de Dunn et classification par arbre) indiquent chacun un comportement océanique, soit un coefficient total de 4. Les comportements purement littoraux (ou intermédiaires), et purement continentaux correspondront alors à des coefficients de 8 et 12.

Les coefficients représentés en fonction de la distance du site à la côte permettent alors de mettre en évidence l'existence de 3 zones des transects où le comportement de l'ozone sera spécifique :

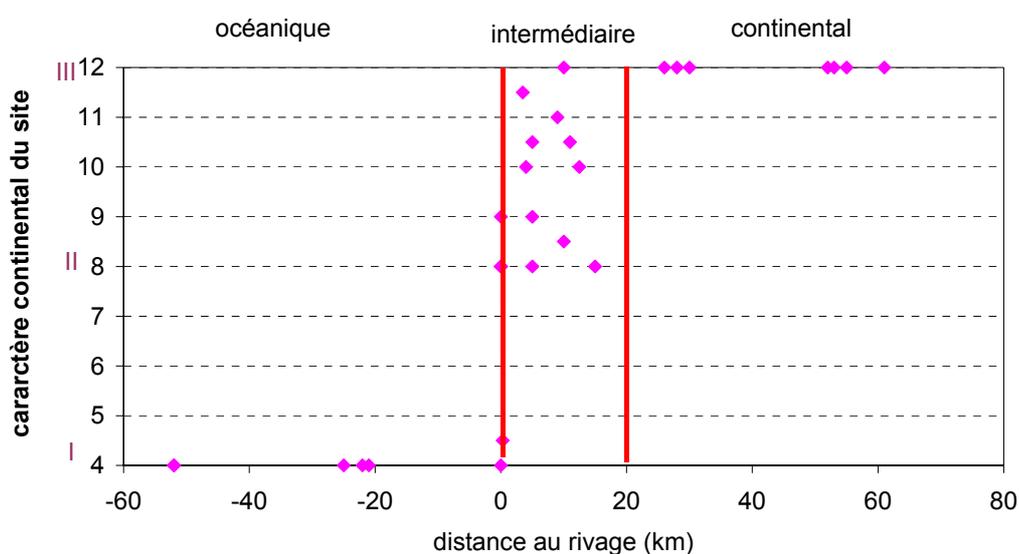


Figure IV-8 : Evolution du caractère « continental » de chaque site en fonction de leur distance à la côte

Si l'on rapproche cette typologie de site basée sur le comportement de l'ozone, de la localisation géographique des sites, 3 zones ressortent :

- une zone océanique (sites insulaires)
- une zone intermédiaire entre 0 et 20 kilomètres à l'intérieur des terres où le comportement de l'ozone est mixte (littoral, continental) suivant les sites.
- une zone continentale constituée des sites distants du rivage de plus de 20 kilomètres.

L'étude de classification portera donc sur ces trois zones



## Chapitre V : Etude de classification des niveaux d'ozone le long des transects

L'objectif de la classification est de regrouper les mesures horaires d'ozone sur les différents transects dans des ensembles cohérents afin de pouvoir ultérieurement déterminer les variables influentes et de quantifier leur impact.

<b>V.1. PRESENTATION DE LA METHODE DE CLASSIFICATION</b>	<b>57</b>
V.1.1 Classification niveau 1 (N1) : caractérisation de la différence océan/continent	57
V.1.2 Classification niveau 2 (N2) : Caractérisation des niveaux d'ozone de la zone intermédiaire	58
V.1.3 Synthèse des classifications : exemple	59
<b>V.2. CLASSIFICATION NIVEAU 1 (N1) : DIFFERENCE OCEAN - CONTINENT</b>	<b>60</b>
<b>V.3. CLASSIFICATION NIVEAU 2 (N2) : SITUATION DE LA ZONE INTERMEDIAIRE</b>	<b>63</b>
V.3.1 Etude de classification moyenne sur la zone intermédiaire	63
V.3.2 Classification niveau N2 détaillée	65
V.3.3 Caractérisation de la zone intermédiaire	66
<b>V.4. BILAN DE LA CLASSIFICATION N1/N2.</b>	<b>68</b>
<b>V.5. CAS DU TRANSECT AQ - LITTORAL AQUITAIN</b>	<b>74</b>

Le chapitre précédent conforte l'hypothèse de l'existence d'une zone « intermédiaire » d'environ 20 km de large dans laquelle le comportement de l'ozone est atypique et dissociable de celui des zones « océanique » ou « continentale ».

Comme l'illustre la Figure V-1, l'évolution des concentrations d'ozone le long de chaque transect apparaît complexe et peut sembler désordonnée.

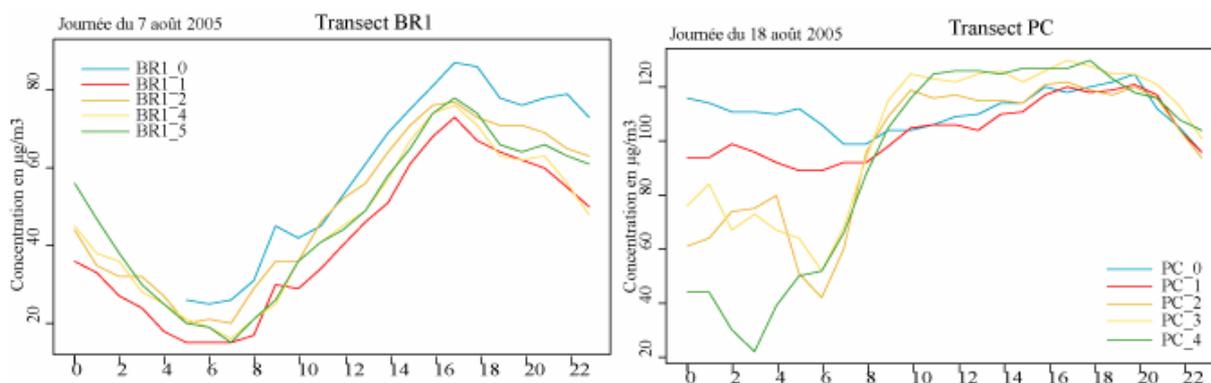


Figure V-1 : Exemple de l'évolution des concentrations d'ozone

Cette étape de classification se place en amont d'une analyse explicative, et consiste à déterminer une méthode qui permettra de :

- synthétiser l'information, en caractérisant pour chaque heure de mesures l'état des concentrations sur le transect par deux classes,
- d'identifier des comportements similaires sur chacun des transects étudiés.

L'étape explicative pourra ensuite s'appuyer sur ces regroupements pour faire ressortir les variables influentes.

Le chapitre précédent conforte l'hypothèse de l'existence d'une zone « intermédiaire » d'environ 20 km de large dans laquelle le comportement de l'ozone est atypique et dissociable de celui des zones « océanique » ou « continentale ». La prise en compte des trois zones « océanique », « intermédiaire » et « continentale » conduit à une classification à 2 niveaux :

- **classification de niveau 1 (N1)** qui permet d'étudier la position relative des niveaux d'ozone entre la zone « océanique » et la zone « continentale ».
- **classification de niveau 2 (N2)** qui permet d'étudier la position relative des niveaux d'ozone dans la zone « intermédiaire » par rapport aux 2 autres.

Dans un premier temps, la méthode de classification ne portera que sur les quatre transects principaux, sur lesquels l'implantation des points de mesures est similaire :

- BR1 : Ouessant – Brenillis
- PL2 : Ile d'Yeu – La Tardière
- PC : Oléron – Chizé
- AQ : La Plage – Ambès2

Les transects BR2 (Belle Ile – Guipry) et PL1 (Belle Ile-Bouaye) sont exclus de cette analyse en effet sur ces deux transects l'unique site de la zone intermédiaire est un site urbain ou périurbain au sens des critères d'implantations définis par l'ADEME.

La typologie géographique adoptée pour chaque site défini à partir de l'analyse statistique précédente est reprise dans Tableau V-1.

Transect	Nom du site	Code du site	Océanique	Intermédiaire	Continental
BR_1	<i>Ouessant</i>	BR1_0	X		
	<i>Corsen</i>	BR1_1		X	
	<i>Saint-Renan</i>	BR1_2		X	
	<i>Brest Nattier</i>	BR1_3			
	<i>Saint-Eloy</i>	BR1_4			X
	<i>Brennilis</i>	BR1_5			X
PL2	<i>Ile d'Yeu</i>	PL2_0	X		
	<i>Saint-Jean de Mont</i>	PL2_1		X	
	<i>Saint-Hilaire de Riez</i>	PL2_2		X	
	<i>Le fenouiller</i>	PL2_3		X	
	<i>Coex</i>	PL2_4		X	
	<i>La Roche Sur Yon</i>	PL2_5			X
	<i>La Tardière</i>	PL2_6			X
PC	<i>Oléron</i>	PC_0	X		
	<i>Les Boucheleurs</i>	PC_1		X	
	<i>Thairé</i>	PC_2		X	
	<i>Le Thou</i>	PC_3		X	
	<i>Chizé</i>	PC_4			X
AQ	<i>La plage</i>	AQ_1	X	X	
	<i>intermédiaire</i>	AQ_2		X	
	<i>Le Porge</i>	AQ_3		X	
	<i>Le TemPLe</i>	AQ_4		X	
	<i>Ambès 2</i>	AQ_5			X

Tableau V-1 : Typologie synthétique des sites de mesures

Les 3 transects BR1 (Bretagne), PL2 (Pays de la Loire), PC(Poitou-Charentes) comptent :

- une référence sur la zone océanique,
- deux à quatre sites de mesures dans la zone intermédiaire,
- une référence sur la zone continentale.

Le cas du transect AQ (Aquitain) est traité séparément compte tenu du caractère atypique du site AQ\_1 (La Plage) qui présente un comportement d'ozone « océanique » malgré une localisation sur le rivage.

## V.1. Présentation de la méthode de classification

### V.1.1 Classification niveau 1 (N1) : caractérisation de la différence océan/continent

La classification niveau 1 (N1) vise à décrire de manière synthétique les différences observées entre les concentrations d'ozone de la zone « Océanique » et celles de la zone « Continentale ».

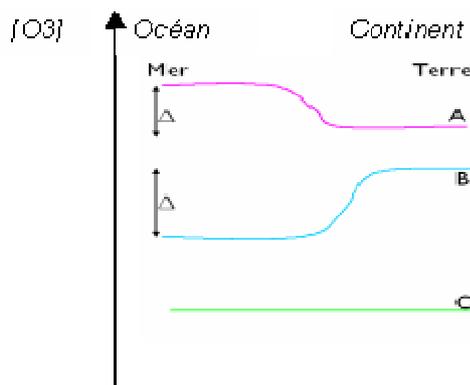
Les concentrations d'ozone sur chacune de ces deux zones sont supposées homogènes à l'échelle des transects étudiés. La moyenne des concentrations horaires d'ozone mesurées dans une zone est donc représentative de cette zone. La classification s'intéresse donc à la différence observée entre les moyennes horaires des deux zones.

La comparaison de ces deux moyennes horaires permet d'obtenir trois cas de figures :

- la moyenne de la zone *océan* est supérieure à celle de la zone *continent*,
- la moyenne de la zone *océan* est inférieure à celle de la zone *continent*,
- les deux moyennes ont un niveau équivalent.

L'implémentation de ces règles de comparaison permet de définir trois classes (A,B,C) qui synthétisent le comportement de l'ozone entre les zones « *océan* » et « *continent* » :

- **classe A** : cas où la moyenne d'ozone en zone *océan* est supérieure à la moyenne d'ozone de la zone *continent*,
- **classe B** : cas où la moyenne d'ozone en zone *océan* est inférieure à la moyenne d'ozone de la zone *continent*,
- **classe C** : cas où les moyennes d'ozone en zone *océan* et *continent* sont équivalentes.



L'équivalence des concentrations sur les deux zones nécessite d'être clairement définie puisqu'elle va déterminer la classe dans laquelle se trouve le transect. Afin que la notion d'équivalence soit identique pour chaque heure de données, un seuil a été défini au-delà duquel les moyennes des concentrations d'ozone ne sont plus considérées comme équivalentes. Ce seuil est exprimé en valeur relative afin de s'affranchir des différences de niveau d'ozone d'une journée à l'autre ou d'un transect à l'autre. Ainsi, les concentrations d'ozone des sites d'un transect sont rapportées à leur moyenne avant d'être comparées au seuil.

La valeur de ce seuil traduit la sensibilité de la classification N1 :

- un seuil de 1%, signifiera qu'au-delà de 1% de différence entre le site « océanique » et le site « continental », les concentrations ne sont plus équivalentes et donc que la situation correspond à une classe N1 A ou B .
- un seuil de 20%, signifiera qu'il faut au moins une différence de 20% entre le site « océanique » et le site « continental », pour obtenir une classe N1 A ou B. Seules les situations de fortes amplitudes seront donc concernées.

Suite à des tests de sensibilité, ce seuil est fixé à 5% par défaut, mais d'autres cas sont étudiés ici.

## V.1.2 Classification niveau 2 (N2) : Caractérisation des niveaux d'ozone de la zone intermédiaire

La classification de niveau 2 (N2) a pour objectif de décrire les niveaux d'ozone relevés dans la zone intermédiaire par rapport aux zones « océan » et « continent »

De même que précédemment, la moyenne des sites situés dans la zone intermédiaire est considérée comme représentative des niveaux d'ozone dans cette zone. La classification N2 traduit les trois situations suivantes :

- la moyenne d'ozone dans la zone *intermédiaire* est supérieure à la moyenne des concentrations des deux zones *océan* et *continent*,
- les concentrations dans la zone *intermédiaire* sont inférieures à la moyenne des concentrations des deux zones *océan* et *continent*,
- la moyenne d'ozone dans la zone *intermédiaire* est équivalente à la moyenne des deux zones *continent* et *océan*.

L'implémentation de ces règles de comparaison permet de définir trois classes supplémentaires qui synthétisent le comportement de l'ozone de la zone *intermédiaire* par rapport aux zones *océan* et *continent*.

A titre d'exemple, le schéma ci-dessous représente une situation de classe A pour le niveau 1 (zone *océan* supérieure zone *continent*) et de classe C pour le niveau 2.

Afin de décrire les éventuelles différences dans les niveaux d'ozone au sein de la zone intermédiaire, la classification de niveau 2 peut être appliquée à chaque site de la zone *intermédiaire* plutôt qu'à la moyenne des sites. Une classe différente pour chaque site peut alors être obtenue, cette classification de niveau 2 détaillée permet de situer les niveaux d'ozone de chaque site localisé dans la zone intermédiaire par rapport au niveau moyen des zones *océan* et *continent*

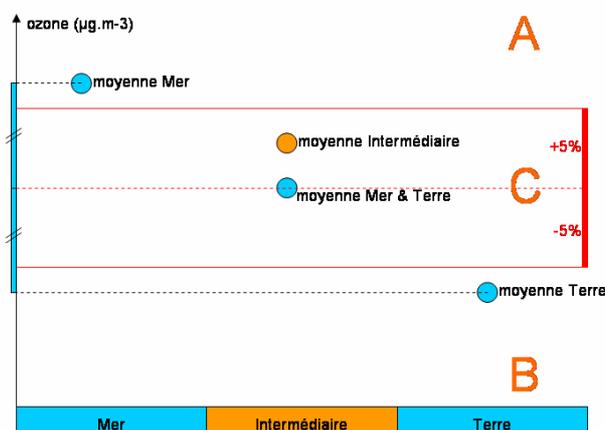


Figure V-2 : définition de la classification de la zone intermédiaire.

Encore une fois, la notion d'équivalence entre les concentrations moyennes nécessite d'être délimitée de manière rigoureuse afin d'éviter toute ambiguïté dans l'exploitation de la classification. L'équivalence des concentrations de la zone intermédiaire avec les autres zones s'appuie sur la définition d'un seuil appliqué à la moyenne des zones *océan* et *continent*. Ce seuil délimite un intervalle de valeurs pour lesquelles la concentration moyenne de la zone *intermédiaire* est considérée comme intermédiaire c'est-à-dire comprise entre celles des deux autres zones. Si la moyenne des concentrations de la zone *intermédiaire* est supérieure à l'intervalle, le premier cas de figure est avéré, si cette moyenne est inférieure à l'intervalle, le deuxième cas de figure est avéré.

La Figure V-3 permet de visualiser les différents types de profils d'ozone le long des transects en fonction de l'ensemble des cas possibles pour les deux niveaux de classification.

Océan	Intermédiaire	Continent	Niv 1	Niv 2
	X		A	A
X	X		A	C
	X	X	A	B
	X		A	
	X		B	A
	X	X	B	C
X	X		B	B
	X		B	
X	X	X	C	A
	X		C	C
	X	X	C	B

Figure V-3 : présentation des différentes classes

### V.1.3 Synthèse des classifications : exemple

Trois niveaux de classification sont ainsi obtenus pour chaque heure sur chaque transect. Pour illustrer les différents niveaux de classification, considérons un transect fictif qui serait constitué de 6 sites de mesures. Ils sont désignés par F0, F1, F2, F3, F4, F5. Le site F0 appartient à la zone *océan*, les sites F1, F2 et F3 à la zone *intermédiaire*, les sites F4 et F5 à la zone *continent*.

heure	F0	F1	F2	F3	F4	F5
0	3	3	4	4	1	1
1	3	2	3	4	1	1
2	3	1	2	3	1	1
3	3	1	1	1	1	1
4	3	0	0	1	1	1
5	1	4	3	4	3	3
6	1	2	4	3	3	3
7	1	3	1	2	3	3
8	1	1	1	1	3	3
9	1	1	1	0	3	3
10	2	3	3	3	2	2
11	2	2	2	2	2	2
12	2	2	0	1	2	2

Tableau V-2: Exemple de concentrations sur un transect

Le tableau qui suit reprend les valeurs des sites fictifs regroupés par zone et indique les classes correspondantes pour les trois niveaux définis auparavant.

heure	Zone océan	Zone intermédiaire Moy(F&,F2,F3)	Zone continent Moy(F4,F5)	Site intermédiaire F1	Site intermédiaire F2	Site intermédiaire F3	Classif. N1	Classif. N2	Classification N2 détaillée		
									F1	F2	F3
0	3	3.7	1	3	4	4	A	A	A	A	A
1	3	3	1	2	3	4	A	A	C	A	A
2	3	2	1	1	2	3	A	C	B	C	A
3	3	1	1	1	1	1	A	B	B	B	B
4	3	0.3	1	0	0	1	A	B	B	B	B
5	1	3.7	3	4	3	4	B	A	A	A	A
6	1	3	3	2	4	3	B	A	C	A	A
7	1	2	3	3	1	2	B	C	A	B	C
8	1	1	3	1	1	1	B	B	B	B	B
9	1	0.7	3	1	1	0	B	B	B	B	B
10	2	3	2	3	3	3	C	A	A	A	A
11	2	2	2	2	2	2	C	C	C	B	C
12	2	1	2	2	0	1	C	B	C	B	B

Tableau V-3: exemple d'application de la classification

Ces résultats de classification sont disponibles pour les transects BR1, PL2 et PC sur l'ensemble de la durée de la campagne EOLIA. En l'absence de site de référence océanique, le transect AQ est traité à part (chap. V.5.).

## V.2. Classification niveau 1 (N1) : différence océan - continent

La classification N1 porte donc exclusivement sur la différence entre zone « *océanique* » et zone « *continentale* ». Le chapitre « *Aperçu général des niveaux d’ozone sur l’arc atlantique* » a mis en évidence des variations importantes sur les concentrations d’ozone entre ces deux zones.

Les sites de mesures concernées sur chaque transect par ce niveau de classification sont précisés dans le Tableau V-4 :

transect	océanique	continental
BR1	BR1_0	Moy (BR1_4, BR1_5)
PL2	PL2_0	Moy (PL2_5, PL2_6)
PC	PC_0	PC_4

Tableau V-4 : Sites retenus pour la classification N1

Sur les transects BR1 et PL2, la concentration d’ozone sur la zone continentale est donnée par la moyenne de deux sites de mesures.

Le Tableau V-5 décrit la répartition de la différence sur les concentrations d’ozone entre les zones « *océanique* » et « *continentale* » au seuil de 5 %.

Classe N1	A	B	C
transect	O <sub>3</sub> Océan > O <sub>3</sub> Continent	O <sub>3</sub> Océan < O <sub>3</sub> Continent	O <sub>3</sub> Océan = O <sub>3</sub> Continent (à 5 %)
BR1	58 %	10 %	33 %
PL2	35 %	24 %	41 %
PC	48 %	18 %	34 %
AQ <sup>11</sup>	49 %	14 %	36 %

Tableau V-5 : Première comparaison entre zone océanique et continentale

A ce stade, il semble déjà se dégager des tendances communes sur les transects, la situation où les concentrations de la zone *océanique* sont supérieures à celles de la zone *continentale* est fortement représentée

En moyenne sur l’ensemble des transects, il apparaît donc que la classe A prédomine sur la classe B.

<sup>11</sup> Ce transect sera traité de façon spécifique, il est donné ici uniquement à titre de comparaison avec AQ1 comme site océanique

La Figure V-4 montre pour chaque transect le profil moyen journalier de fréquence d'apparition de chaque classe. Ce type de graphique représente l'évolution des niveaux d'ozone de la zone « *océan* » par rapport à la zone « *continent* » sur une journée moyenne.

Sur les trois transects, il existe un cycle journalier marqué de la fréquence d'apparition des différentes classes.

Elle se caractérise par une classe A très représentée la nuit, une chute de la fréquence d'apparition de cette classe au profit des classes C et B à partir de 6 heures TU qui atteignent leurs maxima d'apparition l'après midi. En fin d'après midi la fréquence d'apparition de la classe A augmente pour atteindre son maximum en début de matinée 5-6 heures TU.

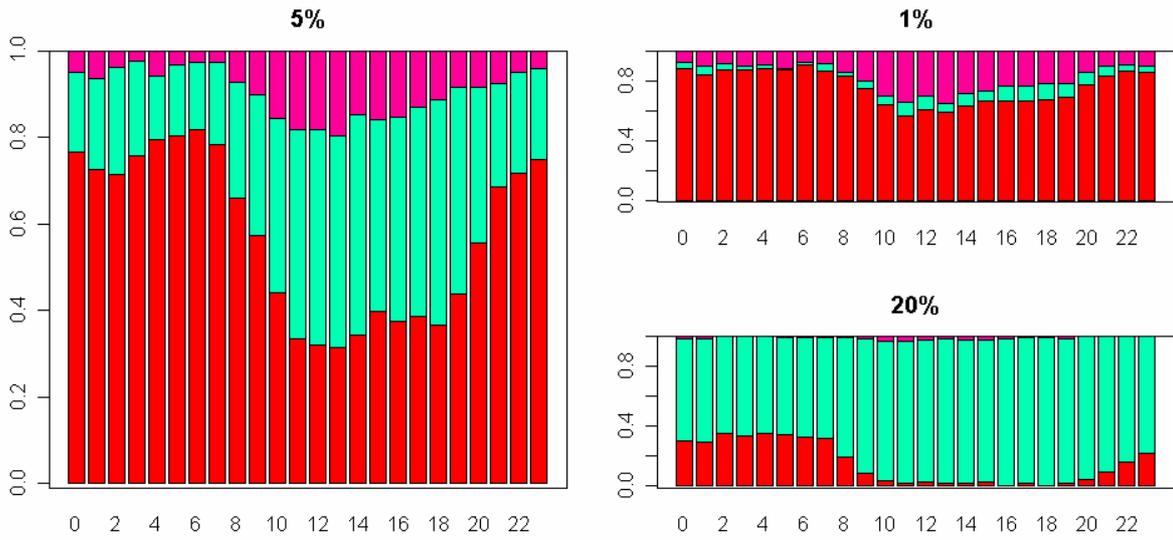
En d'autres termes, les niveaux moyens d'ozone sur la zone océan sont supérieurs la nuit à ceux mesurés sur la zone « *continent* ». Cette différence a tendance à disparaître en début de matinée jusque dans l'après midi où une homogénéisation des niveaux d'ozone est constatée, notamment sur les transects Poitou-Charentes et Pays de la Loire. En soirée, le niveau moyen d'ozone sur la zone « *océan* » a de nouveau tendance à être supérieur.

L'examen des profils moyens journaliers de fréquence d'apparition des classes N1 avec un seuil de 20% montre que les différences entre les deux zones peuvent être très marquées la nuit, avec dans près de 40% des cas, une différence supérieure à 20%. L'après-midi les situations de classe N1 A (Océan > Continent) ou B (Océan < Continent) sont, quant à elles, presque toujours inférieures à 20%. Cela traduit l'homogénéisation des concentrations en cours de journée.

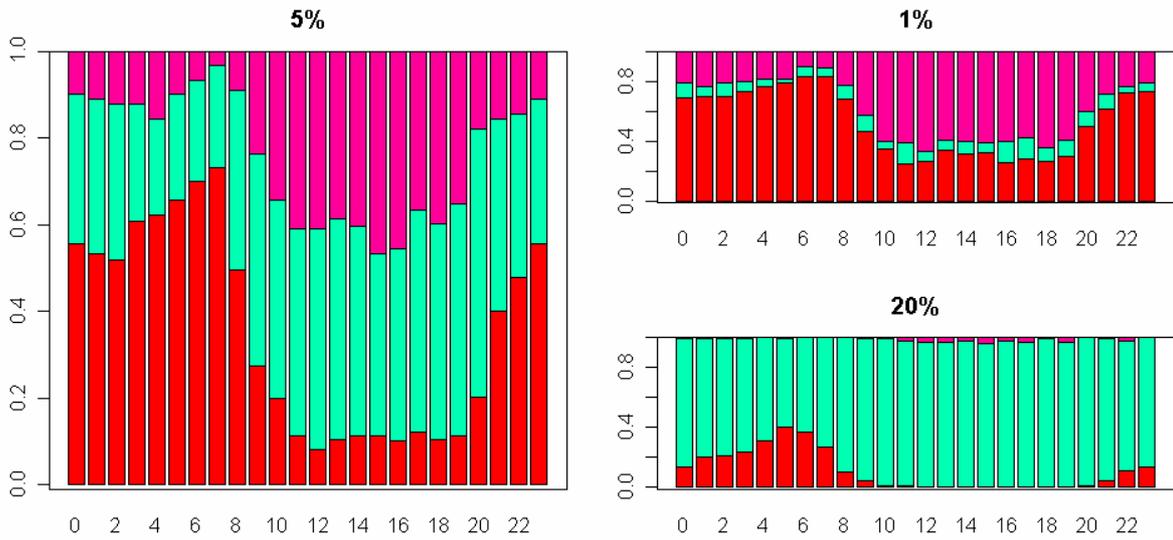
Quelques particularités régionales peuvent néanmoins être mises en évidence sur le transect de Bretagne.

La classe A reste majoritaire sur la journée. La fréquence d'apparition de la classe B l'après midi est nettement plus faible par rapport aux transects de Poitou-Charentes et des Pays de la Loire.

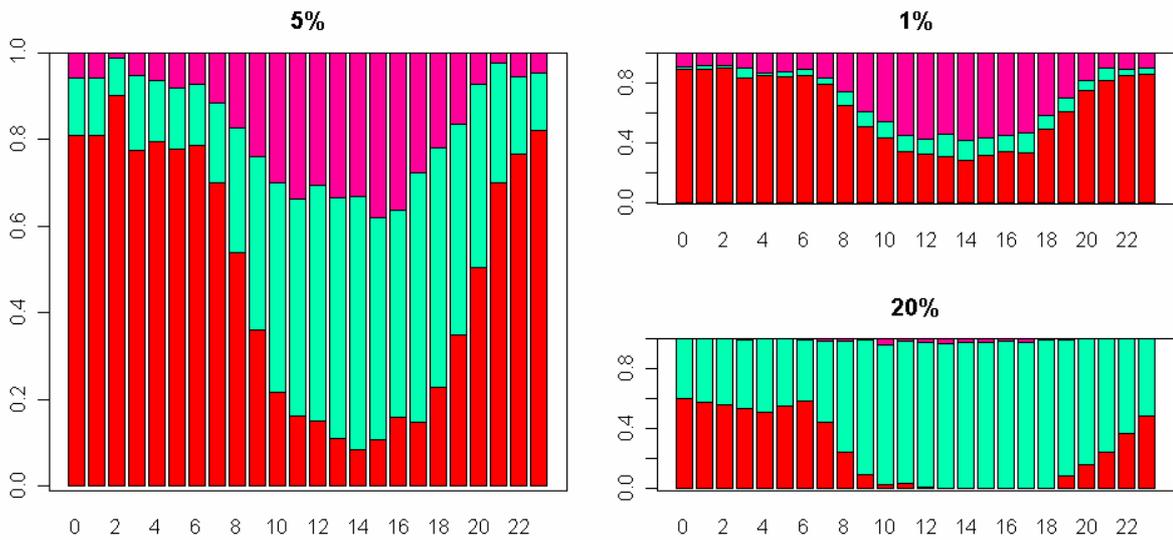
### Classification N1 - Transect BR1 (Bretagne)



### Classification N1 - Transect PL2 (Pays de la Loire)



### Classification deN1 - Transect PC (Poitou-Charentes)



■ Classe A   
 ■ Classe B   
 ■ Classe C

Figure V-4 : Profil moyen journalier de fréquence d'apparition des classes N1

### V.3. Classification niveau 2 (N2) : Situation de la zone intermédiaire

Dans un premier temps, la classification portera donc sur l'état moyen de la zone intermédiaire. Il s'agira ensuite de réaliser une analyse détaillée afin d'affiner la classification du phénomène.

#### V.3.1 Etude de classification moyenne sur la zone intermédiaire

Afin de garantir le caractère « continental » le choix a été fait de conserver la classification précédente, c'est-à-dire le scénario incluant les sites au comportement purement littoral et ceux au comportement mixte (continental ou littoral) dans une seule zone *intermédiaire*. Les sites au comportement purement « continental » sont intégrés dans la zone continentale.

Les sites de mesures concernées sur chaque transect sont précisés dans le Tableau V-6 :

transect	Océanique	Zone Intermédiaire	Continental
BR1	BR1_0	Moy(BR1_1, BR1_2)	Moy (BR1_4, BR1_5)
PL2	PL2_0	Moy(PL2_1, PL2_3, PL2_4, PL2_5)	Moy (PL2_5, PL2_6)
PC	PC_0	Moy(PC_1, PC_2, PC_3)	PC_4

Tableau V-6 : Sites retenus pour la classification N1

La concentration d'ozone sur la zone « *intermédiaire* » est donnée par la moyenne de deux ou trois sites de mesures.

Afin de limiter les biais, le site BR1\_3 (Brest Nattier) implanté dans l'agglomération brestoise et le site PL2\_2 qui présente des particularités très locales, ont été retirés de ce niveau d'analyse.

La classification de la zone intermédiaire permet de dégager des points communs entre les transects quel que soit le scénario de répartition des sites choisis :

- la classe B est majoritaire dans la majorité des cas c'est à dire que le niveau moyen d'ozone sur la zone intermédiaire est inférieur à la moyenne océan- continent
- un pic de la classe A (moyenne d'ozone sur la zone intermédiaire supérieure à la moyenne océan-continent) autour de 9h est observable sur les transects de Poitou Charentes et des Pays de la Loire
- la proportion de la classe C augmente au cours de l'après-midi ce qui suggère une tendance à l'homogénéisation des niveaux d'ozone entre les 3 zones.

Des spécificités régionales peuvent également être mises en évidence. Le transect breton se distingue de ceux des Pays de la Loire et de Poitou-Charentes par une évolution moins marquée des classes B et C au cours de la journée ce qui sous entend une homogénéisation moindre des niveaux d'ozone le long du transect en Bretagne.

Les figures décrivant les profils moyens d'apparition de la classe N2 en fonction de la classe N1 sont réalisées avec un seuil de 1% afin d'obtenir une représentativité suffisante, elles montrent que :

- sur les transects PL2 et PC il existe un lien commun entre les classes N1 et N2.
- sur le transect BR1, l'apparition des classes N2 ne semble pas liée à la classe N1

Le niveau de classification N2 montre, aussi, une cohérence du comportement de l'ozone sur la zone « intermédiaire » entre les différents transects.



### V.3.2 Classification niveau N2 détaillée

La classification de N2 a permis de situer le niveau moyen d’ozone de la zone intermédiaire dans sa globalité par rapport à la moyenne d’ozone océan-continent.

Pour permettre une description plus précise de cette zone, une classification détaillée a été réalisée. Elle consiste en la définition d’une classification individuelle pour chaque site de la zone intermédiaire. Pour étudier l’homogénéité des concentrations d’ozone sur la zone intermédiaire, la concordance entre la classification détaillée (c’est à dire site à site) et la classification moyenne (§ V.3) a été évaluée.

Par exemple, pour le transect breton disposant de 2 sites littoraux, un comptage des heures pour lesquelles les deux sites présentent individuellement la même classe que celle obtenue à partir de leur moyenne est réalisé.

Les graphiques ci-dessous représentent la proportion des heures pour lesquelles 0, 1, 2, 3 sites sont en concordance avec la classe moyenne (classe N2 du § précédent) pour chaque type de classe (A, B ou C).

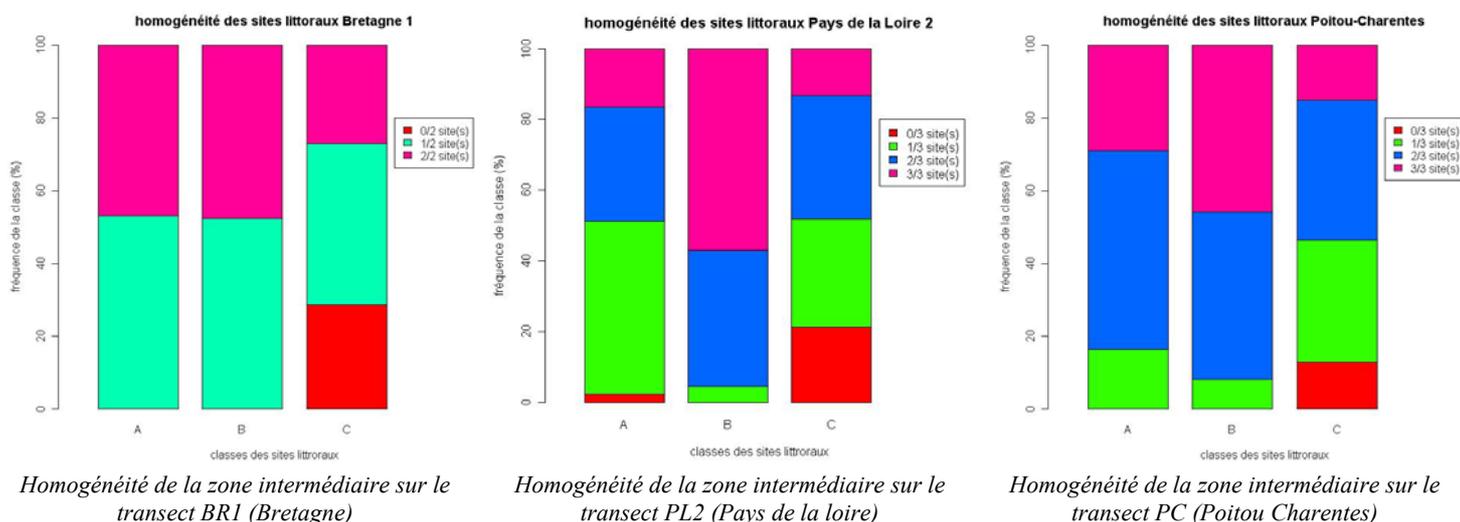


Figure V-6 : Homogénéité sur la zone intermédiaire

Les fréquences représentées sont directement liées au nombre de sites dans la zone intermédiaire. Par conséquent, il ne faut comparer entre eux que les zones intermédiaires ayant le même nombre de sites.

L’observation de ces graphiques montre qu’aucune classe n’est parfaitement homogène. En effet, les portions de couleur rose correspondant à la situation où tous les sites de la zone intermédiaire sont en adéquation avec leur moyenne, ne dépassent pas les 50 % de l’échantillon.

La classe B présente une meilleure homogénéité sur l’ensemble des transects et la classe C la moins bonne. L’homogénéité de la classe B peut s’expliquer par le fait qu’elle est la classe la plus fréquemment observée. L’hétérogénéité de la classe C s’explique du fait qu’elle est issue de la moyenne des sites et inclus beaucoup de cas où une partie des sites est classé B et l’autre partie est classée A.

### V.3.3 Caractérisation de la zone intermédiaire

Malgré cette hétérogénéité de la zone intermédiaire, il existe peut être des similitudes entre les transects sur cette zone.

Les graphiques ci-dessous représentent les classes de niveau 2 détaillées les plus fréquentes pour chaque transect (pourcentage supérieur à 5%).

Les classes sont alors mentionnées par plusieurs lettres qui correspondent à la position individuelle de l’ozone de chaque site de la zone intermédiaire par rapport à la moyenne océan-continent.

Le tableau suivant montre deux exemples de lecture pour le transect PC (Poitou-Charentes)

classe	PC_1	PC_2	PC_3
<b>BBC</b>	[O3] <sub>PC_1</sub> < moy (océan continent)	[O3] <sub>PC_2</sub> < moy (océan continent)	[O3] <sub>PC_2</sub> = moy (océan continent)
<b>ABC</b>	[O3] <sub>PC_1</sub> > moy (océan continent)	[O3] <sub>PC_2</sub> < moy (océan continent)	[O3] <sub>PC_2</sub> = moy (océan continent)

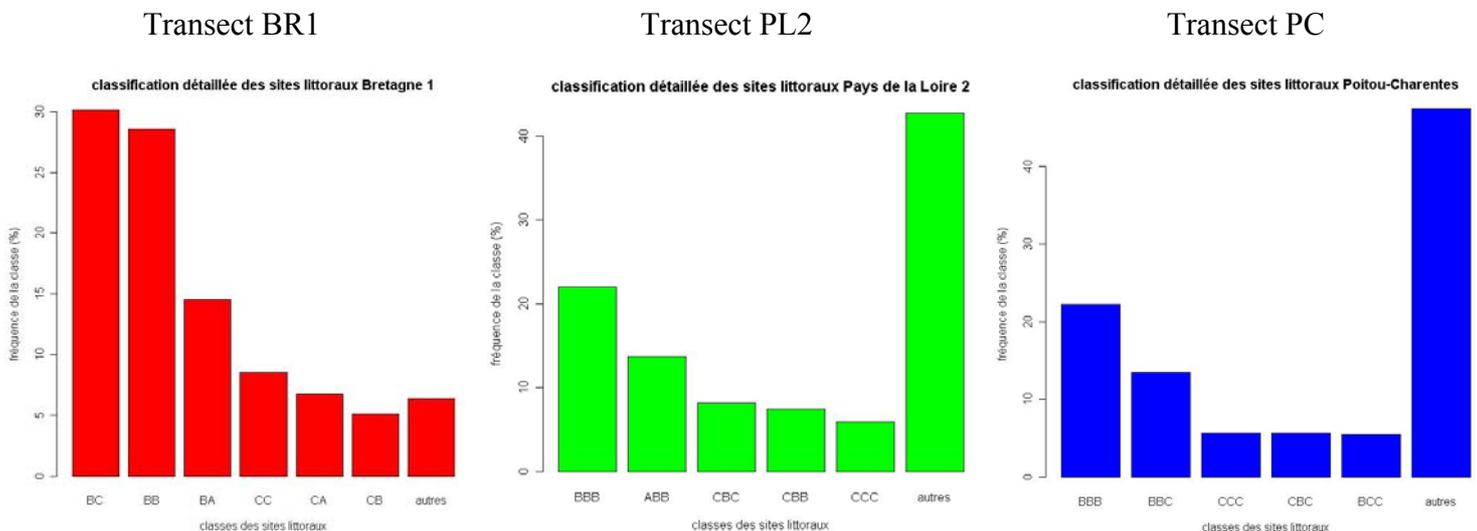


Figure V-7 : Classes de niveau 2 détaillées les plus fréquentes sur les transects Bretagne, Pays de la Loire et Poitou Charentes

La classe homogène en B (BB pour le transect Bretagne, BBB pour les transect Poitou-Charentes et Pays de la Loire) apparaît dans les classes les plus fréquentes de tous les transects ce qui corrobore le fait constaté précédemment que la classe B est la plus homogène.

La classe homogène en C apparaît également dans les classes les plus fortement représentées.

La Figure V-8 représente la répartition de ces classes les plus fréquentes en fonction de l'heure de la journée

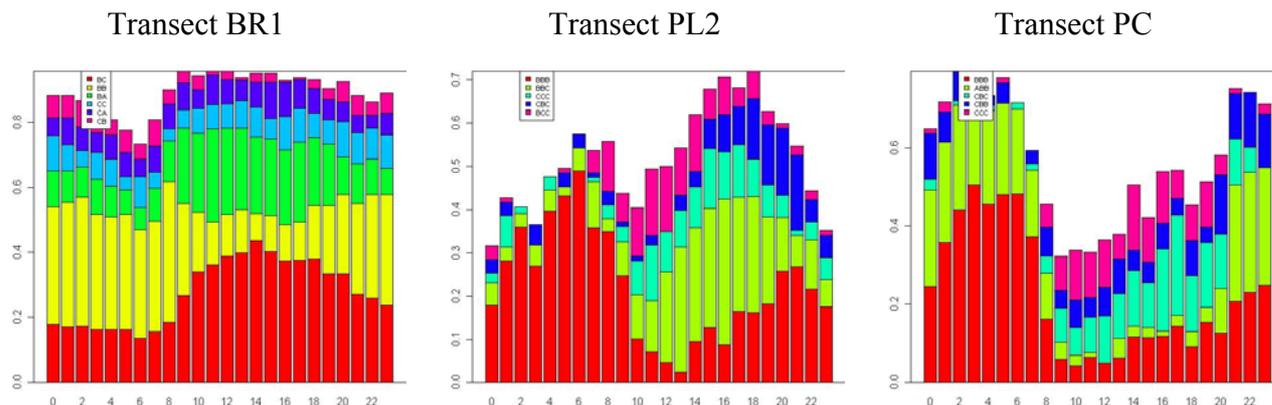


Figure V-8 : Répartition journalière des classes les plus fréquentes en Bretagne, Poitou Charentes et Pays de la Loire)

Ces représentations montrent que la classe homogène en B (tous les sites de la zone intermédiaire en B) apparaît surtout durant les premières heures de la journée et qu'elle semble se transformer en C pour une partie des sites de la zone intermédiaire au cours de l'après midi.

La classification de niveau 2 détaillée montre une hétérogénéité de la zone intermédiaire. Seule la classe majoritaire sur ce niveau de classification c'est-à-dire la classe B (ozone Littoral < moyenne ozone (Mer, Terre) semble présenter une certaine homogénéité. Cette classe est particulièrement présente la nuit. Le profil moyen de cette classe est plus bas que les autres profils les plus fréquents.

## V.4. Bilan de la classification N1/N2.

Les classifications N1 et N2 ont mis en évidence de fortes similitudes entre les trois transects, notamment pour PL2 et PC. Le transect BR1 de la pointe Bretagne indique des différences plus marquées qui devront pouvoir s'expliquer par la configuration particulière de la côte et sa latitude. Il apparaît, de plus, un lien entre les classes N1 et N2.

Il s'agit ici de tenter de définir le profil type selon les 4 classes AA, AB, BB et BA. La classe C ne sera pas prise en compte ici, puisque qu'elle définit des événements de type A ou B. Ce profil moyen pour chacun des trois transects est représenté sur la Figure V-9.

Le Tableau V-7 donne le pourcentage de représentativité de ces 4 classes.

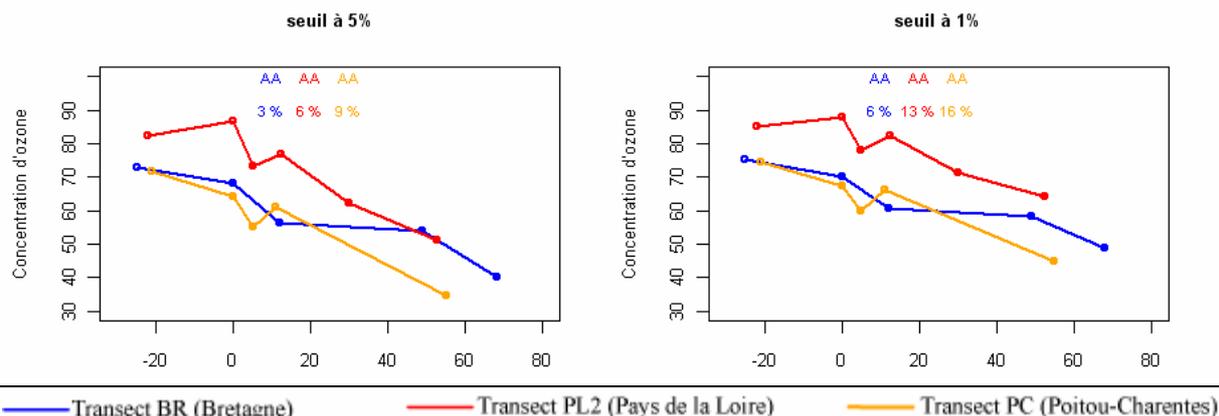
Classe N1/N2	Transect BR1		Transect PL2		Transect PC	
	Seuil à 5%	Seuil à 1%	Seuil à 5%	Seuil à 1%	Seuil à 5%	Seuil à 1%
AA	3 %	6 %	6 %	13 %	9 %	15 %
<b>AB</b>	<b>44 %</b>	<b>69 %</b>	<b>20 %</b>	<b>35 %</b>	<b>25 %</b>	<b>41 %</b>
BA	1 %	1 %	3 %	10 %	3 %	7 %
BB	6 %	14 %	12 %	26 %	9 %	22 %
CX ou XC	46%	10%	59 %	26 %	54%	25%

Tableau V-7 : Représentativité des 4 classes principales

Avec un seuil à 5%, on a 41 à 54 % des données de l'ensemble de la campagne de mesures qui peuvent être identifiées à l'une de ces quatre classes. Avec un seuil de 1%, cette représentativité varie de 74 à 90 %.

La méthode de classification mise en place pour répondre à la problématique des mesures de la campagne EOLIA semble donc permettre une classification exhaustive des comportements de l'ozone sur les transects de l'arc atlantique.

## Description de la classe AA



A un seuil de 5%, la classe AA est peu représentée (respectivement 3, 6, et 9% pour BR1, PL2 et PC). Sa représentativité augmente significativement avec un seuil à 1%. Cela signifie que l'amplitude des variations d'ozone sur le transect est faible.

Cette classe se traduit par des concentrations en zone « océanique » plus importantes qu'en zone « continentale »

Sur les transects PL2 et PC, la classe AA laisse apparaître un puits d'ozone sur PL2\_3 et PC\_2, ces deux sites sont implantés à 5km de la côte. Sur le transect BR1, cette constatation est moins marquée, il semble toutefois qu'une discontinuité des concentrations soit observée sur BR1\_2 à 9 Km de la côte (par rapport au transect).

Outre les différences sur le niveau de concentrations, plus élevé sur le transect PL2 que sur le transect PC, une autre différence apparaît sur le profil type de la classe AA. Alors que sur les transects BR1 et PC, on observe une diminution des concentrations entre la zone océanique et la bordure littorale (c'est à dire entre BR1\_0 et BR1\_1 ou PC\_0 et PC\_1), on note une augmentation de ces concentrations sur le transect PL2 (c'est à dire entre PL2\_0 et PL2\_1)

Sur les transects BR1, PL2 et PC, cette classe est respectivement représentée à 2.8, 5.6 et 9.2 %. Il s'agit d'une classe minoritaire.

La figure suivante donne la fréquence d'apparition moyenne au cours d'une journée de cette classe.

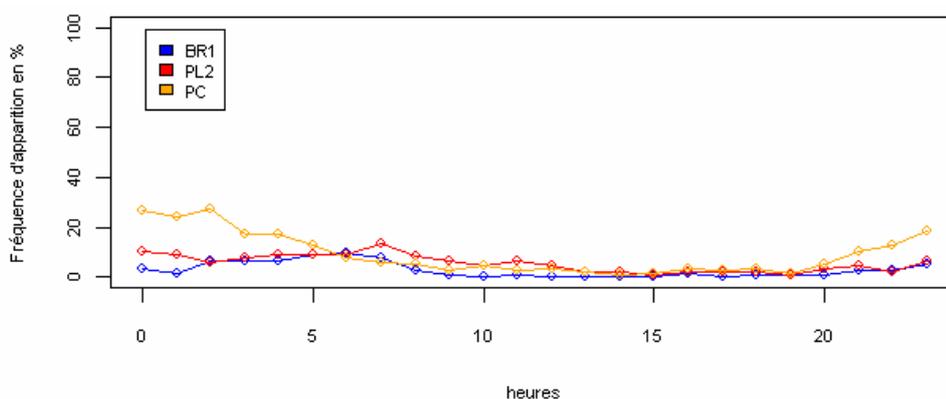
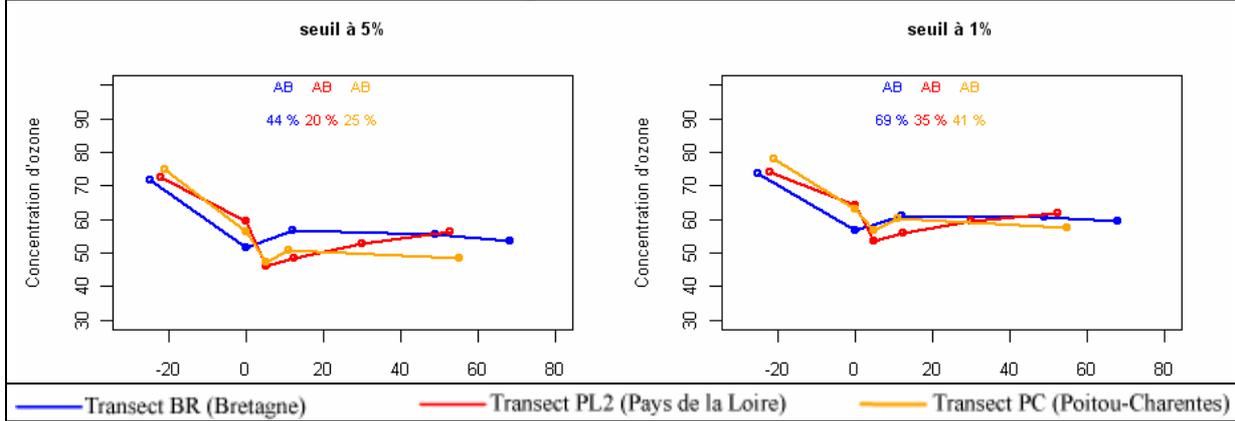


Figure V-9 : Description de la classe AA

## Description de la classe AB



A un seuil de 5% ou 1%, la classe AB est bien représentée dans la base de données.

Le profil montre de forte similitude sur les trois transects. Avec environ  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ , les concentrations en zone océanique sont très proches. La classe AB pourrait donc traduire une situation où les concentrations en zone océanique sont très homogènes sur l'arc atlantique. A un seuil à 1%, on note aussi une forte homogénéité des concentrations sur la zone continentale des trois transects.

La classe AB montre aussi un puits d'ozone :

- pour les transects PL2 et PC, sur les sites PL2\_2 et PC2 situé à 5km de la côte (comme pour la classe AA)
- pour le transect BR1 sur le site BR1\_1 sur le littoral breton (contrairement à la classe AA où le puits était observé sur le site BR1\_2)

Bien que très semblable, le profil AB sur les transects PL2 et PC laisse apparaître quelques particularités régionales :

- Sur PL2, on a :  $\text{PL2}_2 < \text{PL2}_3 < \text{PL2}_4 < \text{PL2}_5$ , c'est à dire une augmentation continue en avançant à l'intérieure de la zone continentale
- Sur PC, on a :  $\text{PC2} < \text{PC3} > \text{PC4}$

Sur les transects BR1, PL2 et PC, cette classe est respectivement représentée à 44.3, 19.8 et 25.2 %. De fortes différences régionales sont constatées dans la représentativité de la classe AB.

La figure suivante donne la fréquence d'apparition moyenne au cours d'une journée de cette classe.

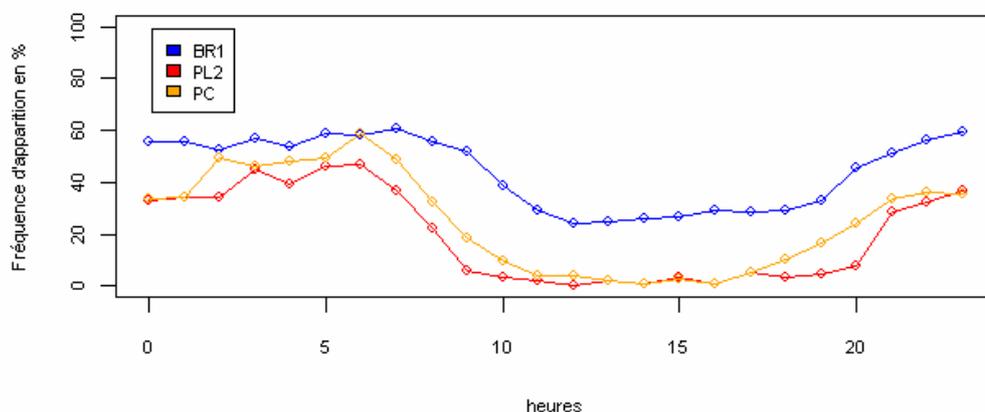
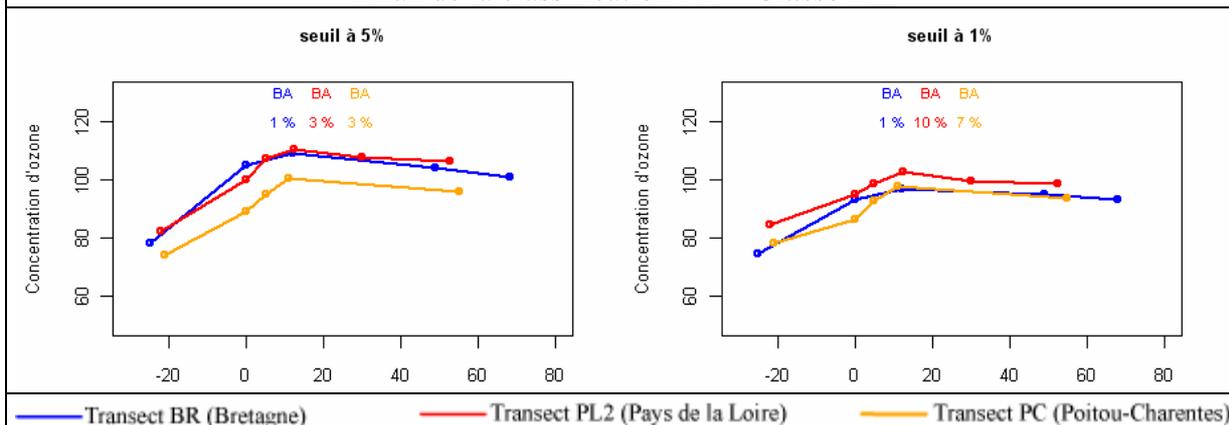


Figure V-10 : Description de la classe AB

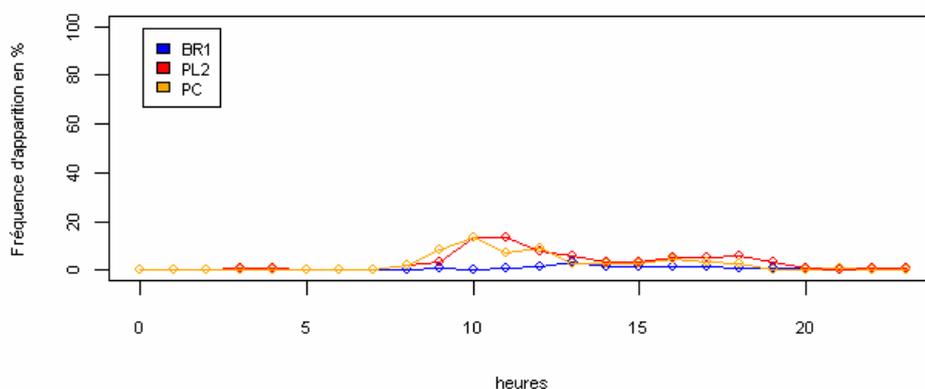
## Bilan de la classification N2 - Classe BA



Cette classe apparaît comme peu représentée dans la base de données. Pour le transect BR1, la représentativité est de 1% avec un seuil de 5% ou 1%, cela tend à signifier que les épisodes sont très marqués.

Le profil montre de fortes similitudes sur les trois transects, on note une augmentation brutale des concentrations entre l'océan et la terre. Le maximum est relevé à environ 20 km de la côte. La différence entre BR1\_0 et BR2\_1, entre PL2\_0 et PL2\_3 et entre PC\_1 et PC\_3 est très importante, de l'ordre de 30 µg/m<sup>3</sup>.

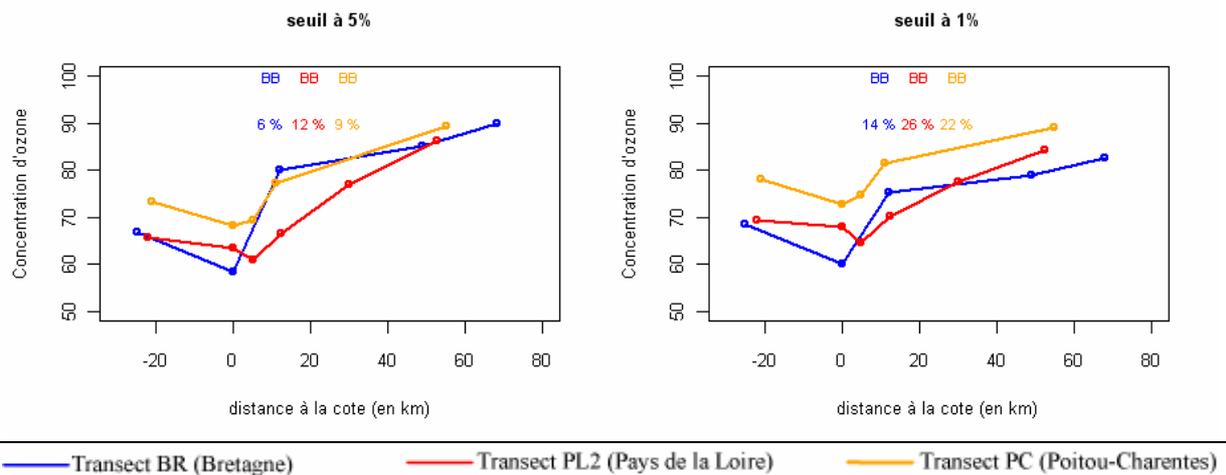
La figure suivante donne la fréquence d'apparition moyenne au cours d'une journée de cette classe.



Cette classe ne semble exister qu'entre 7h et 12h, il s'agit de la période où les concentrations d'ozone augmentent sur tous les sites de mesures.

Figure V-11 : Description de la classe BA

## Bilan de la classification N2 - Classe BB

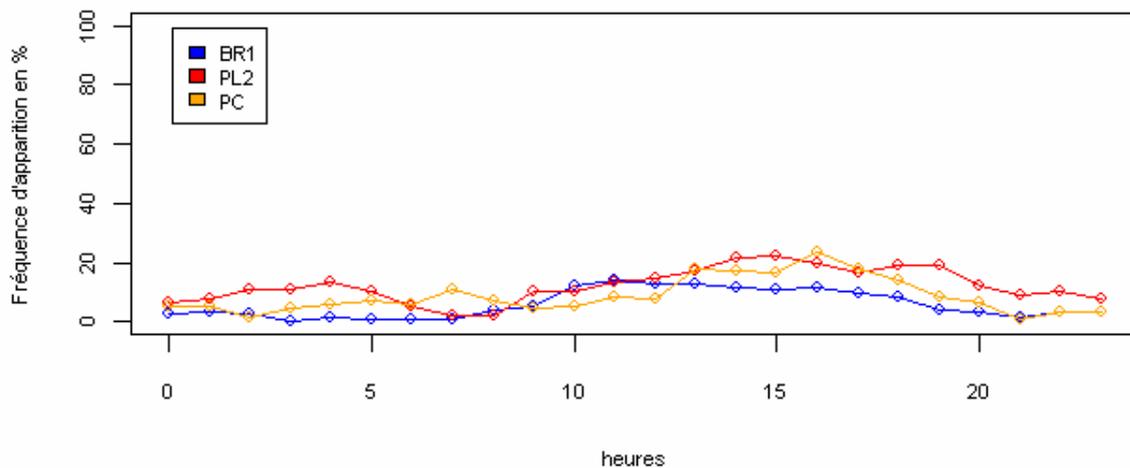


La classe BB est bien représentée avec un seuil à 1% respectivement de 14, 26 et 22% pour les transect BR1, PL2 et PC

La classe BB montre, comme les classes AA et AB aussi un puits d'ozone :

- Pour les transects PL2 et PC, sur les sites PL2\_2 et PC2 situés à 5km de la côte (comme pour la classe AA).
- Pour le transect BR1 sur le site BR1\_1 sur le littoral breton (contrairement à la classe AA où le puits était observé sur le site BR1\_2.)

La figure suivante donne la fréquence d'apparition moyenne au cours d'une journée de cette classe.



Cette classe BB semble apparaître plus fréquemment en cours de journée.

Figure V-12 : Description de la classe BB

Cette étude par classification a pu mettre en évidence un comportement différent de l’ozone de l’océan vers l’intérieur des terres entre la nuit et l’après midi. Cette différence de comportement peut être synthétisée par la Figure V-13 montrant la position relative des niveaux d’ozone sur les 3 zones la nuit et le jour.

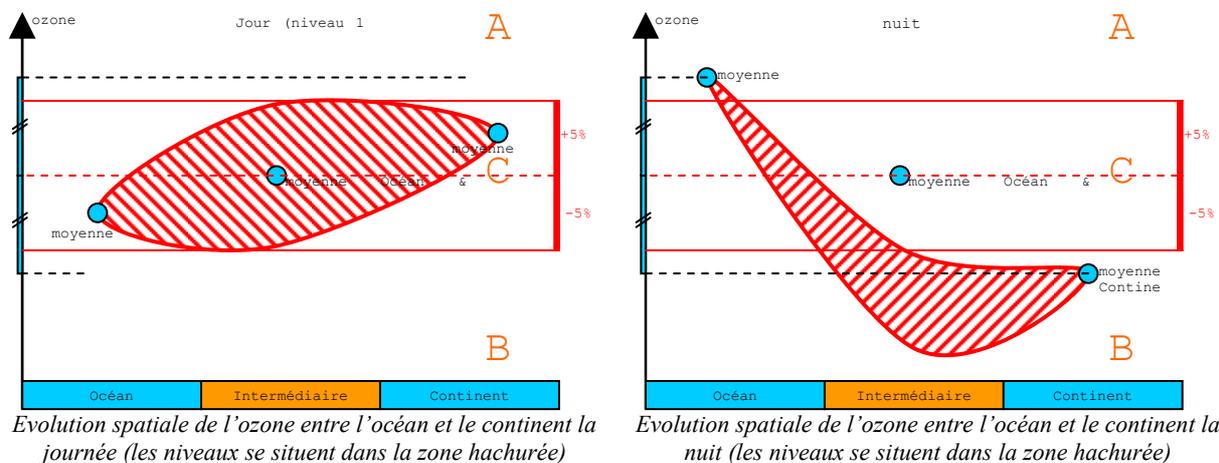


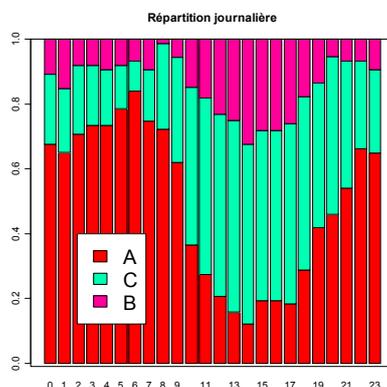
Figure V-13 : Représentation synthétique du comportement de l'ozone

La nuit, l’ozone est plus élevé sur la zone *océanique* par rapport à la zone *continentale*. Cet écart tend à diminuer la journée (classification de niveau 1).

En zone *intermédiaire*, les sites présentent, la nuit, des teneurs en ozone plus faibles que le niveau moyen Océan- Continent (classe B majoritaire sur le niveau 2). En journée, ce phénomène s’atténue et les niveaux entre la zone intermédiaire et les deux autres zones semblent s’homogénéiser. Cette zone, regroupant plusieurs sites de mesure semble très hétérogène (classification niveau 2 détaillée). La meilleure homogénéité est observée la nuit lorsque le niveau en zone intermédiaire est inférieur au niveau moyen Océan-Continent.

## V.5. Cas du Transect AQ - Littoral Aquitain

La Figure V-14 : Classification N1 sur le transect AQ (Aquitaine) représente l'évolution journalière des fréquences d'apparition des 3 classes N1 dans l'hypothèse où le site de AQ1 (EOLIA la Plage) est considéré comme étant un site océanique.



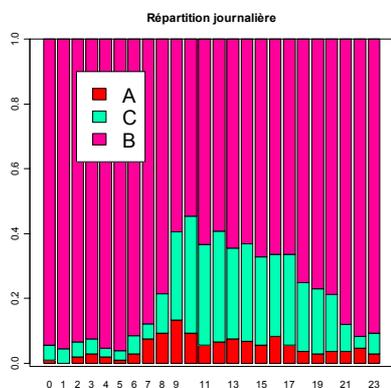
*Transect Aquitaine (cas où le site AQ\_1 est considéré comme « océan »)*

Figure V-14 : Classification N1 sur le transect AQ (Aquitaine)

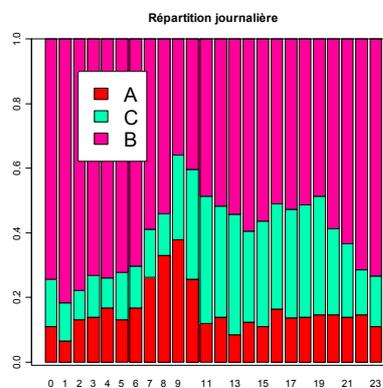
On observe les mêmes caractéristiques de profils que sur les transects BR1, PL2 et PC, à savoir une évolution marquée au cours de la journée avec une prépondérance de la classe A la nuit ( le niveau moyen d'ozone sur le site AQ1 est supérieur au niveau moyen du site continental AQ5) ainsi qu'une augmentation de la fréquence d'apparition de la classe C l'après midi.

Concernant la classification N2, les deux graphiques de la Figure V-15 montrent le profil journalier de la fréquence d'apparition des 3 classes sur le transect aquitain selon les deux hypothèses :

- Hypothèse 1 : le site la Plage (AQ-1) est considéré comme a « océanique »,
- Hypothèse 2 : le site la Plage (AQ-1) est considéré comme « littoral » et donc intégré dans la zone *intermédiaire*. Dans cette hypothèse le niveau d'ozone de la zone *intermédiaire* est comparé au niveau moyen de la zone « continent » (AQ-5 –Ambès 2) car il n'y a alors pas de sites « océaniques ».



*Profil journalier avec AQ-1 comme site ayant un comportement « océanique »*



*Profil journalier avec AQ-1 comme site au littoral*

Figure V-15 : Classification N2 sur le transect AQ (Aquitaine)

Ceci indique :

- dans l'hypothèse 1 la moyenne d'ozone sur la zone intermédiaire est inférieure à la moyenne de la zone océanique (AQ-1) et de la zone continentale avec une tendance à l'homogénéisation des niveaux dans l'après midi
- dans l'hypothèse 2 : la moyenne d'ozone sur la zone intermédiaire est inférieure à la moyenne de la zone « continent » avec également une tendance à l'homogénéisation des niveaux l'après midi.

L'analyse de la classification N1/N2 montre que malgré le caractère atypique du site AQ1 (EOLIA la plage) le transect d'aquitaine ne semble donc pas se distinguer notablement des autres

L'homogénéité de la classification N2 sur le transect aquitain avec 4 sites dans la zone intermédiaire incluant le site de « La Plage » est représenté Figure V-16.

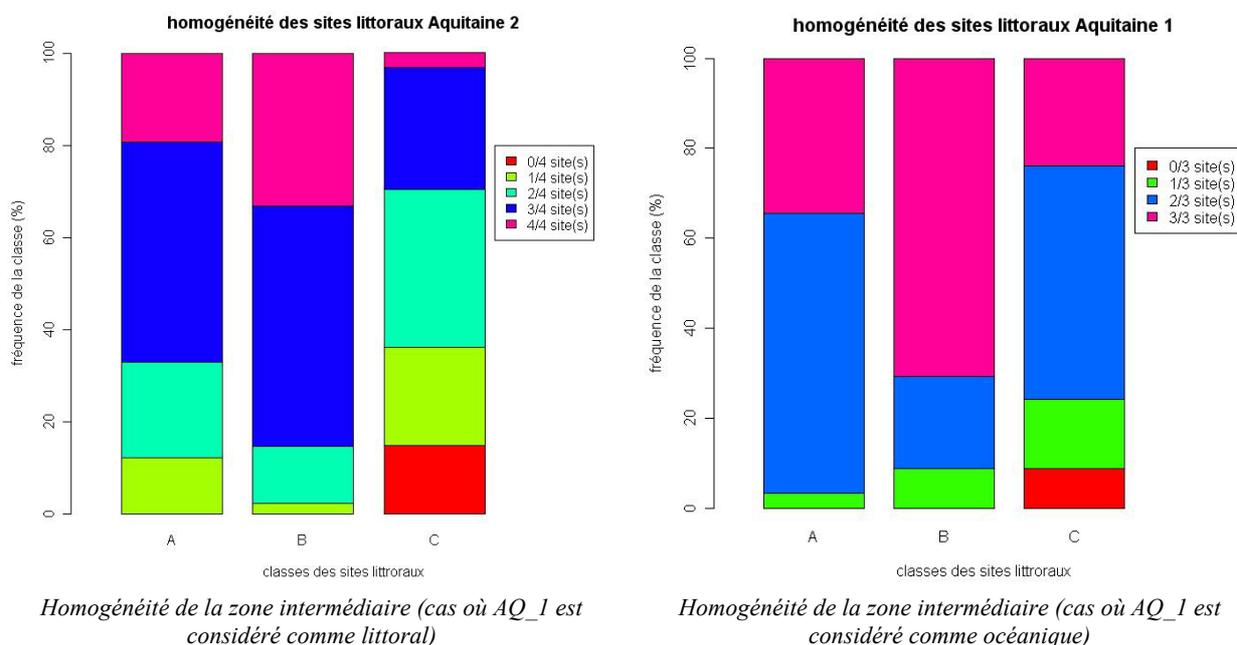
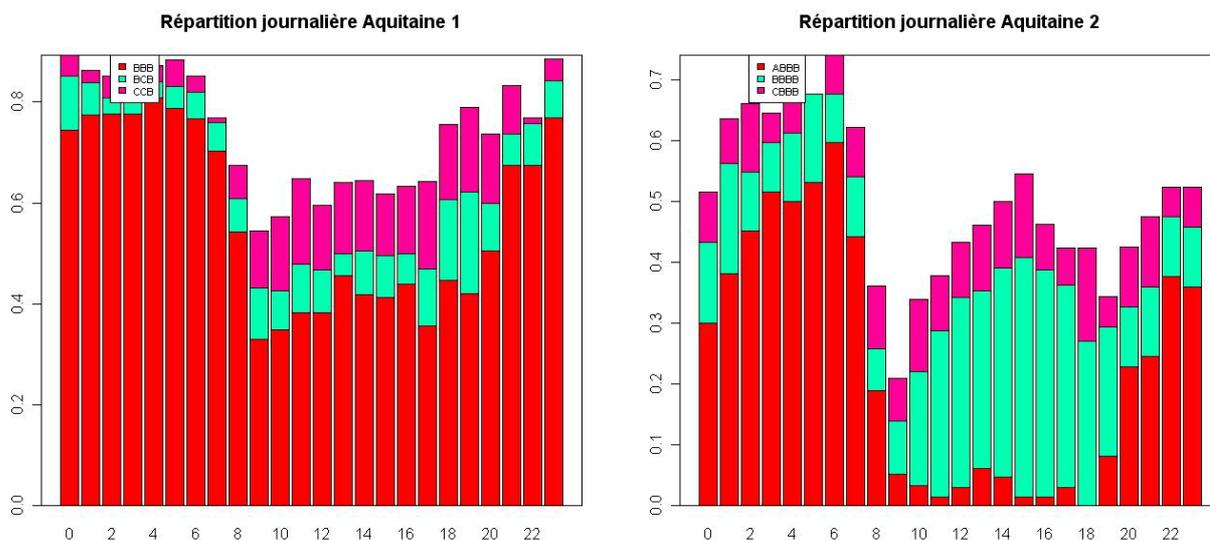


Figure V-16 : Classification N2 détaillé sur le transect AQ (Aquitaine)

Le graphique de droite représente l'homogénéité de la zone intermédiaire avec 3 sites, « La Plage » étant alors considéré comme océanique. Dans les deux cas, aucune classe n'est parfaitement homogène. Parmi les classes homogènes les plus fréquentes, nous retrouvons comme pour les autres transects la classe B.

La Figure V-17 présente la répartition de ces classes les plus fréquentes en fonction de l'heure de la journée



Profil journalier d'apparition des classes les plus fréquentes (cas où AQ\_1 est en zone océanique)

Profil journalier d'apparition des classes les plus fréquentes (cas où AQ\_1 est en zone océanique)

**Figure V-17 : Répartition journalière des classes les plus fréquentes sur le transect AQ (Aquitaine)**

Dans l'hypothèse où le site de la plage (AQ\_1) est considéré comme océanique ; la classe homogène en B (AQ\_2, AQ\_3 et AQ\_4 sont de classes B) est surtout présente la nuit (dans les premières heures). L'après-midi cette classe homogène en B a tendance à diminuer en fréquence au profit de classes C.

En d'autres termes les niveaux nocturnes d'ozone ont tendance à être plus homogènes dans la zone *intermédiaire* avec des niveaux inférieurs à la moyenne océan – continent. Une homogénéisation entre la zone *intermédiaire* et les deux autres se développe en fin de matinée et en cours d'après-midi. Nous retrouvons les mêmes caractéristiques que pour les autres transects.

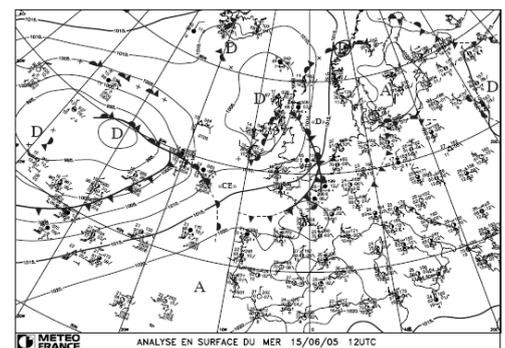
## Chapitre VI : Etude de cas

L'objectif de cette étude est d'étudier l'évolution spatio-temporelle des niveaux d'ozone lors de régimes météorologiques typiques. L'objectif n'est pas d'essayer d'expliquer l'évolution de l'ozone par ces conditions météorologiques mais plutôt d'essayer de dégager d'éventuels comportements communs entre les différents transects au cours de conditions météorologiques comparables.

<b>VI.1. METHODOLOGIE EMPLOYEE</b>	<b>78</b>
VI.1.1 Sélections à partir des stations météorologiques au sol	78
VI.1.2 Conditions synoptiques des épisodes	79
<b>VI.2. ETUDE PAR REGIMES OCEANQUES : EXEMPLE DU 06 JUILLET</b>	<b>80</b>
<b>VI.3. ETUDE PAR FLUX CONTINENTAL : EPISODE DU 8 AU 10 JUILLET</b>	<b>82</b>
<b>VI.4. SYNTHESE DES ETUDES PAR REGIMES OCEANIQUE ET CONTINENTAL</b>	<b>84</b>

3 types de régimes météorologiques ont donc été considérés :

- Flux océaniques perturbés de secteur Ouest
- Flux continental de secteur Est.
- Phénomènes de brises de mer /brises de terre.



La méthodologie de choix des périodes est tout d'abord présentée. L'évolution spatio-temporelle des niveaux d'ozone sur l'arc atlantique lors des 3 régimes météorologiques sera ensuite abordée.

## VI.1. Méthodologie employée

Dans les cas des régimes océanique et continental, la détermination des épisodes à étudier est basée sur l'étude des conditions de vents mesurés au sol. Cette première phase est suivie d'une vérification réalisée grâce à l'expertise de Météo France qui publie chaque semaine un Bulletin Hebdomadaire d'Etudes et de Renseignements (BHER).

### VI.1.1 Sélections à partir des stations météorologiques au sol

Les données météorologiques utilisées dans cette étude sont issues des mesures réalisées par chacune des AASQA au niveau de leurs stations ou si les stations n'étaient pas équipées d'appareils adaptés, des mesures Météo -France les plus proches.

Pour chaque transect, afin de garantir une continuité dans le régime météorologique tout au long du transect plusieurs stations météorologiques ont été considérées qui englobent la totalité du transect.

D'une façon générale, plusieurs sites météorologiques ont été considérés pour chaque transect :

- un site le plus occidental généralement sur une des îles,
- un site le plus oriental au niveau du site le plus continental
- un site littoral localisé entre les deux extrêmes.

La détermination des épisodes s'est faite en 2 étapes successives

**Etape 1** : filtrage de l'ensemble de la base de données selon des critères de vitesse et de direction de vent.

Les critères pour les deux types de régimes météorologiques sont mentionnés dans le tableau suivant.

Critères de filtrage	Flux d'Ouest	Flux d'Est
Vitesse du vent	> 1m/s	> 1 m/s
Direction du vent	[180 ; 360]	[0 ; 180]

Tableau VI.1 : Critères de sélection des régimes météorologique.

Le secteur de vent considéré peut paraître très large. Il faut toutefois rappeler que la totalité des stations doit répondre à ces critères.

**Etape 2** : seuls les épisodes continus dans le temps ont été retenus

A l'issue de ces 2 étapes plusieurs périodes ont été retenues (cf. tableau suivant)

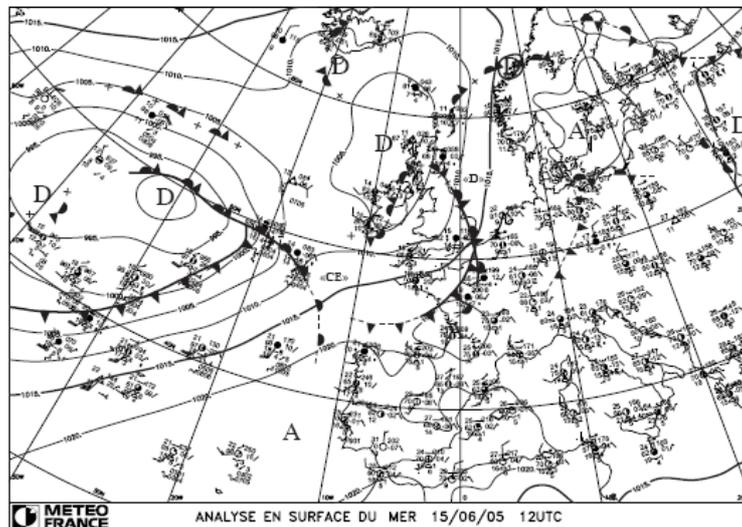
	Flux océanique	Transect impliqué	Flux continental	Transect impliqué
Périodes	04/06 au 05/06 15/06 30/06 au 02/07 06/07 18/07 au 19/07 04/09	BR1, BR1,PL2 BR1,PL2, AQ tous tous AQ,PC, BR1 Revoir les noms des transects	07/06 au 11/06 08/08 au 10/08	tous tous

Tableau VI.2 : Cas sélectionnés.

Par flux d'ouest il s'avère difficile de déterminer des périodes communes à l'ensemble des transects répondant parfaitement à l'ensemble des critères. Par flux d'est les deux périodes déterminées sont communes à l'ensemble des transects.

## **VI.1.2 Conditions synoptiques des épisodes**

Météo France publie depuis 1982 le Bulletin Hebdomadaire d'Etudes et de Renseignements (BHER). Il reprend pour chaque jour de la semaine, une carte de l'analyse en surface et à 500 hPa à 12h UTC pour l'espace Europe/Atlantique nord, ainsi que les températures maximales et minimales, la fraction d'insolation et les précipitations cumulées sur 12h pour la France. Figure également sur ce bulletin un descriptif de la situation.



L'analyse des BHER a permis de définir les conditions synoptiques pour les périodes déterminées par les mesures au sol.

<b>Périodes</b>	<b>Description</b>
<b>Flux d'Ouest</b>	
du 04/06 au 05/06, le 15/06, du 30/06 au 02/07, le 06/07, du 18/07 au 20/07, le 04/09.	Flux perturbé orienté de sud-ouest à nord-ouest avec l'arrivée de dépressions par la Bretagne (centre dépressionnaire à l'ouest des îles britanniques), le passage des perturbations concerne l'ensemble de l'arc atlantique. pluies éparées. Températures douces et homogènes de la Bretagne au Poitou-Charentes parfois plus élevées sur l'Aquitaine.  Fin des épisodes soit par l'arrivée d'un anticyclone par le sud soit par le renforcement de l'anticyclone sur le proche atlantique.
<b>Flux d'Est</b>	
du 7 au 10 juin, du 8 au 9 aout	Anticyclone basé sur les îles britanniques engendrant un flux de nord-est s'accompagnant d'un temps ensoleillé sur l'ensemble du littoral, d'une atmosphère stable (présence de brouillards matinaux) et des températures plus élevées

---

## VI.2. Etude par régimes océaniques : exemple du 06 juillet

La Figure VI-1 montre pour chaque transect l'évolution temporelle des concentrations horaires d'ozone sur les différents sites et l'évolution de la classification de niveau 1.

Sur le transect breton les profils journaliers sont relativement plats sur l'ensemble des sites avec des niveaux d'ozone qui évoluent peu au cours de la journée et qui sont proches d'un site à l'autre (50-60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

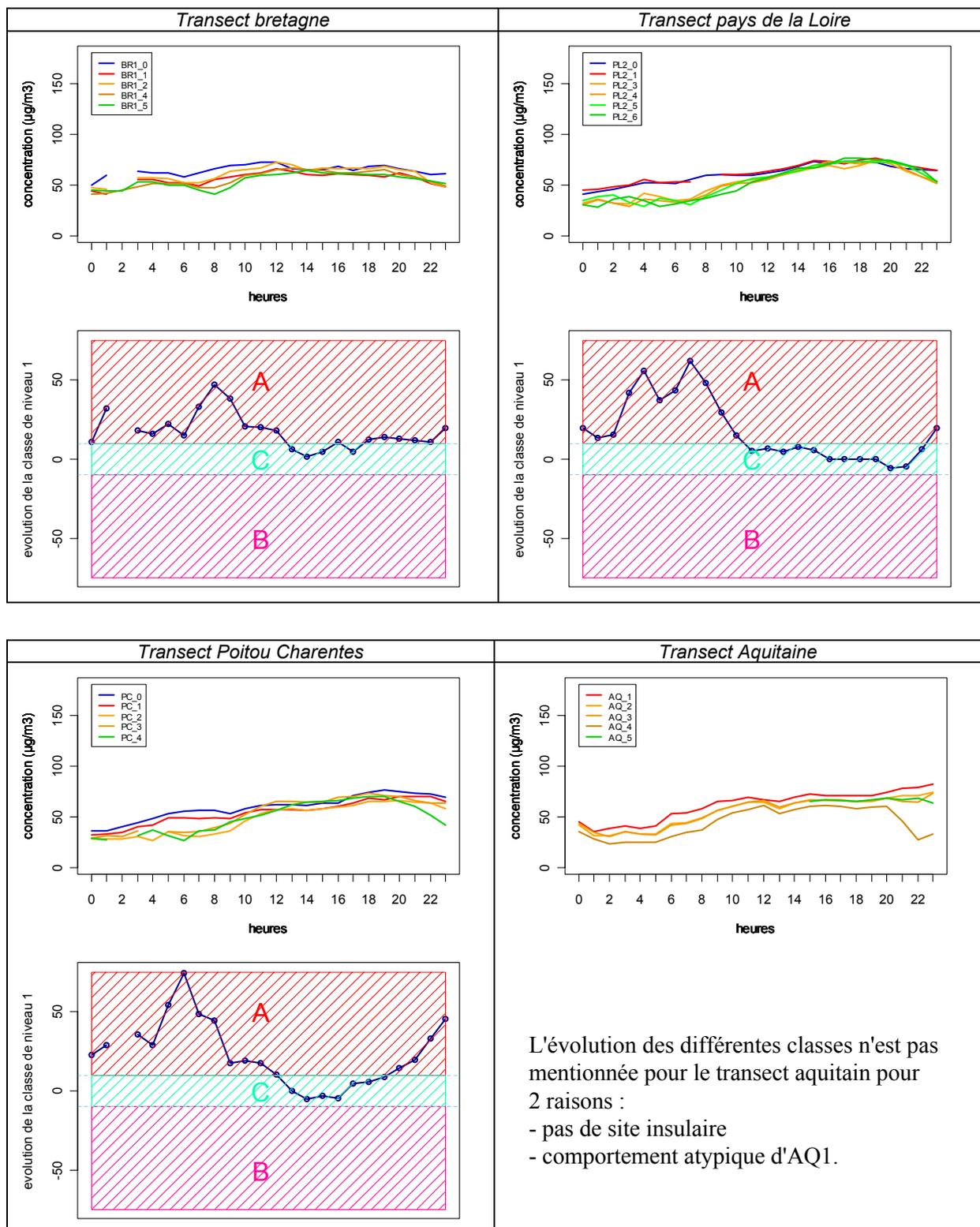
Sur les autres transects les profils d'ozone diffèrent au cours de la journée. Sur les sites les plus proches de l'océan (île et rivage) les profils sont plats avec des niveaux d'ozone comparables. Vers l'intérieur des terres, le profil en cloche se forme avec des niveaux matinaux de plus en plus faibles. Les niveaux mesurés l'après-midi demeurent comparables sur l'ensemble des sites.

Ce profil en cloche se développe assez rapidement à l'intérieur des terres puisqu'il apparaît sur les sites localisés à 5 km du rivage.

L'apparition de niveaux matinaux plus faibles sur les sites à l'intérieur des terres par comparaison à ceux situés à proximité immédiate de l'océan entraîne des niveaux moyens plus faibles et la présence d'un « trou d'ozone » vers 5 km à l'intérieur des terres.

Le transect aquitain se distingue des transects Pays de la Loire et Poitou-Charentes. En effet, le profil journalier le plus marqué n'apparaît pas sur le site le plus continental mais sur le site de Le Porge (10 km à l'intérieur des terres); le site d'Ambès 2 le plus à l'est (50 km à l'intérieur des terres) présente un profil proche de celui enregistré sur les sites localisés à 5 km.

La classification de niveau 1 indique que sur les transects de Bretagne, des Pays de la Loire et de Poitou-Charentes, le même comportement est observé entre l'océan et le continent. Le matin, les niveaux d'ozone sont plus importants sur l'océan, ils deviennent équivalents aux niveaux du continent à partir de la mi-journée.



L'évolution des différentes classes n'est pas mentionnée pour le transect aquitain pour 2 raisons :

- pas de site insulaire
- comportement atypique d'AQ1.

Figure VI-1 : Etude de cas en régime océanique

---

### **VI.3. Etude par flux continental : Episode du 8 au 10 juillet**

La Figure VI-2 montre pour chaque transect l'évolution temporelle des niveaux horaires d'ozone et l'évolution le long du transect des niveaux moyens d'ozone.

Sur l'ensemble des transects et quel que soit le site considéré, le profil journalier de l'ozone est fortement marqué. L'amplitude de ce profil varie du Nord au Sud avec un profil plus marqué en région Aquitaine et des profils comparables en Pays de la Loire et Poitou-Charentes.

La classification de niveau 1 indique une progression du comportement d'ozone entre l'océan et le continent le long d'un axe Nord-Sud. Au cours de la nuit, l'ozone est plus fort sur l'océan que sur le continent au niveau du transect breton. Cette même tendance est observée sur le transect des Pays de la Loire, mais de façon moins marquée. Les niveaux restent globalement similaires entre l'océan et le continent sur ce transect, ce phénomène est encore plus marqué sur le transect Poitou-Charentes.

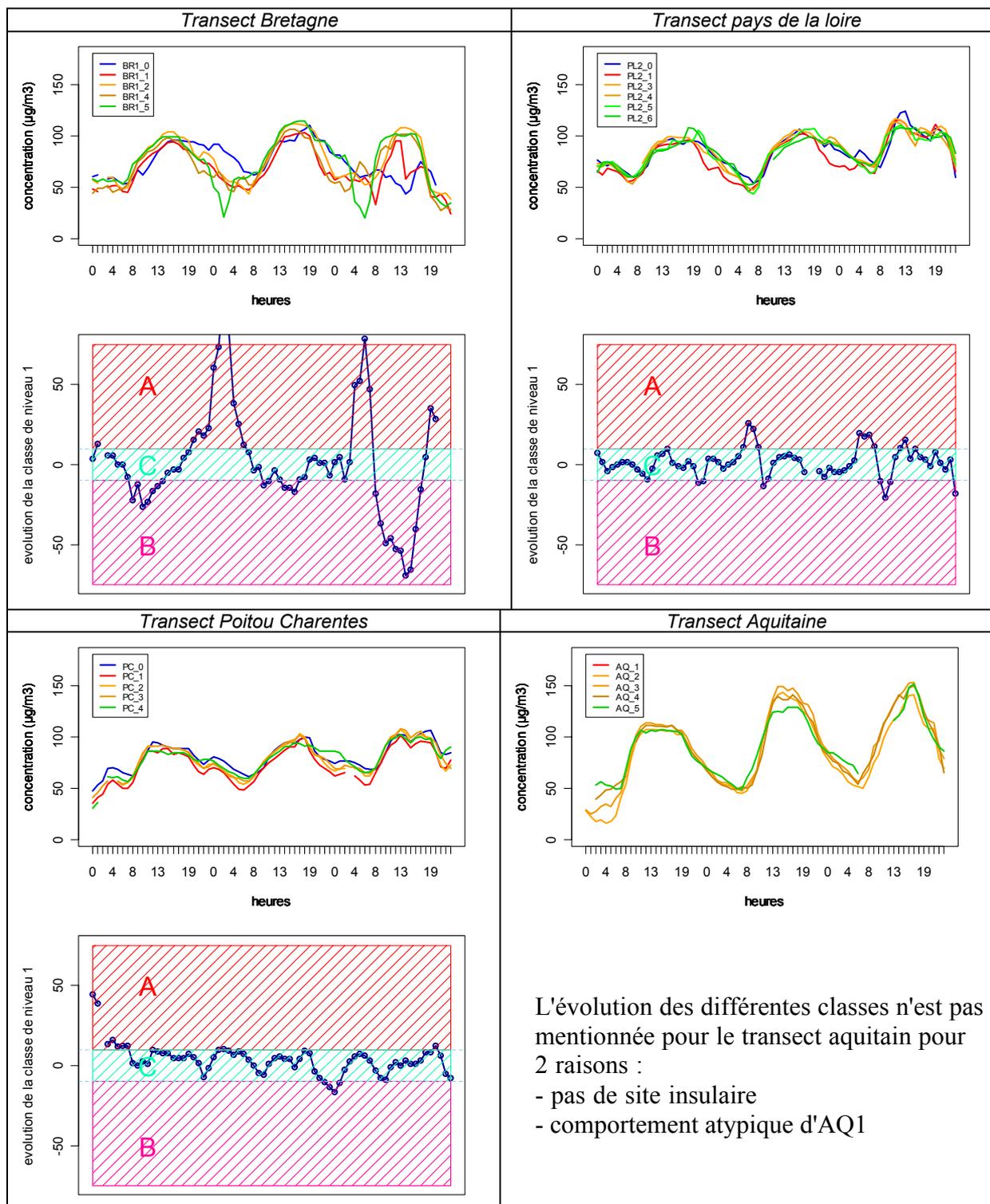


Figure VI-2 : Etude de cas en régime continental

---

## **VI.4. Synthèse des études par régimes océanique et continental**

### *Par régime océanique*

Par régime océanique, l'ensemble des transects présente une évolution des niveaux d'ozone au cours de la journée qui reste faible sur les îles et les sites les plus proches de l'océan (le rivage). Un profil journalier en cloche se développe lorsque l'on se déplace vers l'intérieur des terres. Ce profil se caractérise par des teneurs matinales sur les sites plus « continentaux » inférieures à celles mesurées sur les îles et sur le rivage. A cette période de la journée, des différences importantes (facteur 2 à 3) peuvent alors apparaître entre les niveaux proches de l'océan et ceux de l'intérieur des terres. En revanche les niveaux d'ozone mesurés l'après midi sont relativement homogènes le long des transects.

Cette différence dans les niveaux matinaux d'ozone a pour conséquence la présence d'un « trou d'ozone » entre les sites les plus proches de l'océan (île et rivage) et ceux plus à l'intérieur des terres. Cette baisse apparaît vers 5 kilomètres à l'intérieur des terres.

Ce comportement commun présente néanmoins des spécificités régionales. Il existe en effet une graduation de l'ampleur de ces cycles du Nord vers le Sud. L'évolution de l'ozone dans la journée est plus faible en Bretagne qu'en Aquitaine. Une situation intermédiaire se développe en Pays de la Loire et en Poitou-Charentes.

### *Par régime continental*

A la différence du régime océanique, l'amplitude des cycles journaliers de l'ozone est marquée pour l'ensemble des stations de mesure même pour les sites installés sur les îles et le rivage. Les niveaux nocturnes et matinaux sont généralement deux fois plus faibles que ceux enregistrés l'après midi. Il semble donc par régime d'Est que les sites les plus proches de la mer adoptent un comportement plus « continental ».

Une diminution relative des concentrations matinales en ozone est observable sur les sites situés sur le rivage ou à quelques kilomètres à l'intérieur des terres par rapport aux autres sites. Ce phénomène semble se développer de la Bretagne à l'Aquitaine. En revanche l'après midi les niveaux deviennent homogènes le long des transects. Cette différence dans les valeurs matinales entraîne une baisse des niveaux moyens sur les sites littoraux.

En Bretagne, Pays de la Loire et Poitou-Charentes le « puits » d'ozone semble se positionner au niveau du rivage. Sur le transect aquitain, il se situe plutôt au niveau du site AQ\_2 situé à 5 kilomètres à l'intérieur des terres



## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce document conclut l'étude descriptive du programme EOLIA. Plusieurs approches ont été envisagées pour analyser l'évolution spatio-temporelle de l'ozone sur le littoral atlantique.

### Spécificité du littoral atlantique par l'étude des mesures permanentes du réseau ATMO

Une première approche a consisté en l'analyse des mesures enregistrées de 2000 à 2004 par le réseau de surveillance national ATMO en distinguant 3 typologies de sites (littoral, continental et montagne). Cette étude a permis de dégager les conclusions suivantes :

- Le niveau médian d'ozone sur le littoral ( $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) est statistiquement supérieur à celui calculé en zone continentale ( $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- Le littoral se caractérise par des niveaux plus stables autour de la médiane par rapport aux 2 autres zones.
- Au sein de la zone littorale nous avons pu mettre également en évidence des différences de comportement entre le littoral Atlantique – Manche /Mer du Nord et Méditerranéen. Sur ces 3 zones littorales les niveaux médians sont différents avec une plus grande stabilité autour de la médiane des niveaux d'ozone sur le littoral Atlantique.

L'étude s'est ensuite focalisée sur le littoral atlantique par la prise en compte de l'ensemble des données d'ozone mesurées par les sites permanents dans les régions Bretagne, Pays de la Loire, Poitou-Charentes et Aquitaine, il en ressort :

- En hiver les teneurs en ozone sont plus élevées en bordure littorale qu'à l'intérieur des terres quel que soit le niveau considéré (niveaux faibles médians ou de pointe).
- Cette tendance diminue au cours de l'été où l'on observe toujours des niveaux plus élevés sur le littoral la nuit et le matin mais des niveaux sur les zones continentales qui deviennent supérieurs l'après-midi.

### Analyse du comportement de l'ozone et définition de typologies de comportement par méthodes statistiques

La base de données d'EOLIA constituée de l'ensemble des données horaires d'ozone enregistrées durant l'été 2005 sur les 6 transects mis en œuvre a été étudiée à l'aide de plusieurs analyses statistiques. Elles ont permis de dégager des comportements communs quant à l'évolution de l'ozone sur les différents sites. Une typologie des sites a ainsi pu être déterminée selon 3 types de comportement.

- **océanique (O)** : des niveaux d'ozone qui se caractérisent par une faible dispersion un profil journalier plat et un niveau moyen plus élevé que les autres types;
- **littoral (L)** : des niveaux d'ozone qui présentent un profil relativement plat mais moins élevé que les sites océaniques;
- **continental (C)** des niveaux d'ozone qui ont une dispersion plus marquée et des niveaux de concentration basse plus faibles.

L'ensemble des tests indiquent les sites insulaires comme ayant un comportement océanique. Cette analyse a pu mettre en évidence un comportement atypique du site AQ1 localisé sur le rivage d'Aquitaine. L'ozone sur ce site présente en effet un comportement océanique malgré sa localisation géographique sur le rivage.

Les sites localisés les plus à l'intérieur des terres ont, d'après la majorité des tests, un comportement d'ozone continental. Les sites qui posent le plus de doutes sont ceux situés entre 5 et 20 km à l'intérieur des terres. Ces sites ont, selon le test considéré, un comportement d'ozone qui se rapproche soit du comportement « continental » soit « littoral ».

### **Analyse de l'évolution spatiale de l'ozone à l'aide d'une méthode de classification**

Afin de synthétiser l'information et d'identifier des comportements similaires quant à l'évolution spatiale de l'ozone sur chacun des transects étudiés, une méthode de classification spatiale a été définie. Cette classification nécessite de répartir les sites de mesures selon trois zones (*océan*, *continent* et *intermédiaire*) issues de l'étude statistique menée auparavant.

La classification des profils d'ozone des quatre principaux transects a permis de mettre en évidence :

- Globalement sur toute la durée de la campagne, les concentrations d'ozone sur la zone océanique sont majoritairement supérieures à celles observées sur le continent (classe 1 majoritaire sur le niveau 1) et particulièrement au cours de la nuit;
- Les concentrations d'ozone océanique et continentale ont tendance à converger au cours de la journée (classe C majoritaire sur le niveau 1);
- Les sites implantés en zone intermédiaire sont le plus souvent dans un puits d'ozone c'est-à-dire qu'ils présentent des teneurs en ozone plus faibles que le niveau moyen océan- continent (classe B majoritaire sur le niveau 2) ;
- Cependant, la fin de matinée (autour de 9h TU) est atypique car la proportion des heures pour lesquelles les sites littoraux se situent au dessus du niveau moyen océan- continent y est plus élevée (pic de la classe A niveau 2 à 9h TU) ;
- Enfin, la zone intermédiaire qui est constituée de plusieurs sites de mesure est très hétérogène (classification niveau 2 détaillée) ;
- La meilleure homogénéité est observée la nuit dans le cas de figure où la zone intermédiaire présente un niveau inférieur au niveau moyen océan- continent.

Cette analyse a permis de mettre en évidence des caractéristiques spécifiques aux classes AA, AB, BB et BA tant sur le comportement de l'ozone sur le transect, que sur leurs fréquences d'apparition.

### **Analyse de l'évolution de spatio-temporelle de l'ozone sur le littoral atlantique par étude de cas**

Une dernière approche a consisté à étudier l'évolution de l'océan vers l'intérieur des terres en se focalisant sur 3 régimes météorologiques contrastés :

- Flux océanique perturbé
- Flux continental anticyclonique
- Phénomènes de brises

Par régimes océaniques, on observe sur l'ensemble des transects une évolution des niveaux d'ozone dans la journée qui évoluent très peu sur les îles et les sites les plus proches de l'océan (le rivage). Un profil journalier en cloche se développe lorsque l'on se déplace vers

l'intérieur des terres. Ce profil se caractérise par des teneurs matinales sur les sites plus « continentaux » inférieures (facteur 2 à 3) à celles mesurées sur les îles et sur le rivage.

Ce comportement commun présente néanmoins des spécificités régionales. L'évolution de l'ozone dans la journée est plus faible en Bretagne qu'en Aquitaine. Une situation intermédiaire se développe en Pays de la Loire et en Poitou-Charentes.

A la différence du régime océanique, l'amplitude des cycles journaliers de l'ozone en régime continental est marquée pour l'ensemble des stations de mesure même pour les sites installés sur les îles et le rivage. Les niveaux nocturnes et matinaux sont généralement deux fois plus faibles que ceux enregistrés l'après-midi. Une diminution relative des concentrations matinales en ozone est observable sur les sites situés sur le rivage ou à quelques kilomètres à l'intérieur des terres par rapport aux autres sites. En revanche l'après midi les niveaux deviennent homogènes le long des transects. Cette différence dans les valeurs matinales entraîne une baisse des niveaux moyens sur les sites littoraux.

Cette première phase du projet EOLIA a permis de constituer une base de données importante intégrant l'ensemble des teneurs horaires d'ozone. De plus, de nouveaux indicateurs élaborés (classification horaire de niveau 1 et 2 notamment) ont été développés et étudiés. La base de données pourrait faire l'objet de plusieurs études futures :

- approfondissement de l'étude d'interpolation cartographique par la prise en compte de variables auxiliaires (sorties de modèles par exemple),
- poursuite de l'analyse des mesures LIDAR en altitude,
- rapprochement des données de pollution avec la base de données météorologiques pour dégager des premières pistes explicatives,
- cette base de données pourrait également servir de support à des organismes spécialisés dans la modélisation physico-chimiques de l'ozone afin dégager les principaux phénomènes expliquant les observations mises en évidence.