

## MÉTHODE D'ÉTUDE SPATIALISÉE DES EFFETS DE LA CONTAMINATION INDUSTRIELLE SUR LA SANTÉ DES POPULATIONS LOCALES, RÉGION D'ESTARREJA (PORTUGAL)

Anne-Marie GUIHARD-COSTA\*, Manuela INÁCIO\*\*,  
Sandra VALENTE\*\*\*, Eduardo FERREIRA DA SILVA\*\*\*\*.

**RÉSUMÉ** – L'étude des effets des contaminants d'origine industrielle sur la santé humaine est rendue difficile par la multiplicité des facteurs confondants, dont l'estimation est d'autant plus difficile que l'échelle d'étude est grande. Cet article décrit l'approche spatialisée choisie pour étudier les possibles effets sur la santé humaine du complexe chimique d'Estarreja (Portugal). La démarche choisie consiste à définir localement, sur des critères géochimiques, une zone à risque (ZR). Une zone blanche (ZB), présentant les mêmes caractéristiques géologiques et socio-démographiques, mais dépourvue d'industrie chimique, a été choisie à 50 km de la ZR afin de servir de comparaison. Les études menées dans les deux zones sont pluridisciplinaires (éco-biologiques, médicales et sociologiques) afin de distinguer ce qui relève de l'activité industrielle de ce qui relève du mode de vie ou des caractéristiques biologiques des populations.

**ABSTRACT** – DESIGNING A SPATIAL ANALYSIS TO ASSESS THE IMPACTS OF INDUSTRIAL PLANTS ON THE HEALTH OF THEIR NEIGHBORING PEOPLE – THE CASE OF ESTARREJA (PORTUGAL). Studying the effects of industrial pollutants on human health is a difficult task, given the multiplicity of the potentially interfering factors -which are all the more difficult to check that the scale of the study happens to be large. This article describes the spatial approach that was chosen to examine the potential effects of the Estarreja (Portugal) chemical complex over human health. We defined first a zone at risk (ZR) on geochemical criteria, and next a "blank zone", with the same geological and socio-demographical characteristics but without any chemical industry, 50 kilometers away. Eco-biological, epidemiological and sociological studies were then set in order to distinguish the impact of industrial activity from both the lifestyle and biological characteristics of the local people.

**RESUMEN** – MÉTODO DE ESTUDIO ESPACIALIZADO DE LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL SOBRE LA SALUD DE LAS POBLACIONES LOCALES, REGIÓN DE ESTARREJA (PORTUGAL). El estudio de los efectos de los contaminantes de origen industrial sobre la salud humana se ha vuelto difícil por la multiplicación de los factores poco perceptibles, en los cuales la estimación es tanto mas difícil cuando la escala de estudio es grande. Este artículo describe el abordaje espacializado elegido para estudiar los posibles efectos sobre la salud humana del complejo químico de Estarreja (Portugal). El camino elegido consiste en definir localmente, sobre criterios geoquímicos, una zona de riesgo (ZR). Una zona blanca (ZB) que presenta las mismas características geológicas y socio demográficas pero desprovista de industria química fue elegida a 50 Km de la ZR para servir de comparación. Los estudios llevados adelante en las dos zonas son pluridisciplinarios (ecobiológicos, médicos y sociológicos) a fin de distinguir lo que está relacionado a la actividad industrial y lo que está relacionado al modo de vida o a las características biológicas de las poblaciones.

POLLUTION INDUSTRIELLE – INDUSTRIAL POLLUTION – HUMAN  
SANTÉ HUMAINE – ÉTUDE SPATIALE – HEALTH – SPATIAL STUDY – ESTARREJA –  
ESTARREJA – PORTUGAL PORTUGAL

POLUCIÓN INDUSTRIAL – SALUD HUMANA – ESTUDIO ESPACIAL – ESTARREJA –  
PORTUGAL

\* Directeur de Recherche, UPR 2147 du CNRS, Paris. anne-marie.guihard-costa@evolhum.cnrs.fr

\*\* Chercheur, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, GeoBioTec Research Centre, Portugal.

\*\*\* Chercheur, Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento, CESAM Research Centre, Portugal.

\*\*\*\* Professeur, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, Portugal.

## Introduction

L'étude des effets des contaminants environnementaux d'origine industrielle sur la santé humaine est basée sur deux approches complémentaires : (1) l'estimation du degré *d'exposition* de la population à travers des études de contamination de l'environnement et/ou des analyses biologiques directes sur des échantillons populationnels ciblés ; (2) l'évaluation de la *morbidité* spécifiquement induite par ces contaminants grâce à des études de prévalence des pathologies potentiellement liées à la contamination. Les très nombreux travaux publiés dans la littérature combinent à des degrés divers ces deux approches, certains se focalisant uniquement sur la détermination quantitative des contaminants, alors que d'autres n'abordent que les conséquences médicales de l'exposition à une source de pollution particulière. La diversité des méthodes d'étude utilisées, la multiplicité des polluants incriminés dans un même lieu, les dissemblances biologiques et socio-culturelles entre populations exposées, sont source de confusion dans l'interprétation des résultats, et rendent les différentes études difficilement comparables. Dans une synthèse des recherches effectuées sur les effets de la pollution de l'air sur la santé périnatale, Woodruff *et al* (2009) passent en revue les biais rencontrés dans ce type d'étude, et proposent des recommandations pour une approche méthodologique standardisée. Une des difficultés majeures rencontrées est le choix judicieux de *l'échelle spatiale d'étude*, locale ou régionale, des effets de la pollution :

*« It was hypothesized that smaller scale studies may be better for understanding biological mechanisms and contribute more information for local policies while larger scale studies may be better for looking at population-level factors and may be better for regional policy. However, the relative importance of small and/ or large scale geographic areas in the study of air pollution and perinatal outcomes has not been systematically examined »* (Woodruff *et al*, 2009, p. 315).

Cette question de la définition de la zone d'étude à prendre en compte, et du référentiel spatial dans lequel l'insérer, est au cœur de l'étude que nous menons dans la région d'Estarreja (Portugal), région soumise à une pollution chimique d'origine industrielle intense et ancienne.

## I – La Zone d'étude

Le « *concelho* d'Estarreja », situé dans la région Centre, à une dizaine de kilomètres de la côte atlantique (fig. 1), occupe une surface de 108 km<sup>2</sup> pour une population de 27 000 habitants.



Fig. 1 – Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude possède la particularité de se situer à quelques kilomètres de la plus grande lagune d'eau saumâtre du Portugal : la ria d'Aveiro, qui constitue un milieu écologiquement riche, habitat naturel de très nombreuses espèces aquatiques et terrestres.

Sur le territoire de la commune – d'occupation mixte : urbaine et rurale – se dresse depuis les années 1940 le deuxième plus important complexe d'industries chimiques du pays, produisant principalement du sulfate d'ammonium, de l'acide nitrique et du nitrate d'ammonium, mais également des résines synthétiques (PVC). Cette activité industrielle a produit de grandes quantités de déchets toxiques solides, déchets qui ont été stockés à même le sol jusqu'en 1986. De plus, jusqu'en 1975, les effluents liquides étaient également rejetés dans plusieurs petits cours d'eau de cette zone. Ces effluents étaient très chargés en produits toxiques, notamment en métaux lourds (As, Hg, Zn, Pb...). Au cours des années 1990, d'importantes avancées technologiques ont permis de réduire considérablement l'émission de polluants par les usines chimiques locales. Cependant, malgré les améliorations apportées, des restes de contamination persistent dans les canaux de drainage et les terres agricoles.

La contamination rémanente des sols par différents métaux lourds et polluants organiques autour du complexe chimique a été démontrée dès les années 1980 (Hall *et al.*, 1987 ; Inácio *et al.*, 1998), et a fait l'objet de plusieurs analyses spatio-temporelles (Batista *et al.*, 2002 ; Cachada *et al.*, 2009 ; Rodrigues *et al.*, 2010). Cependant les effets de cette pollution sur la santé humaine restent mal connus, aucune étude épidémiologique n'ayant été jusqu'à présent entreprise.

Le but de notre travail est de confronter la cartographie spatio-temporelle des différents éléments toxiques aux résultats d'études évaluant l'état sanitaire de la population, réalisant ainsi, dans l'idéal, une véritable carte locale des risques encourus par la population. Cet article privilégiera l'aspect méthodologique de cette recherche.

## 1. Une approche pluridisciplinaire

Les facteurs qui modulent les effets des contaminants environnementaux sur la santé humaine sont nombreux, et de nature différente : concentration et biodisponibilité des éléments toxiques, alimentation et mode de vie, âge et sexe, susceptibilité biologique individuelle, etc. Il faut donc envisager une approche pluridisciplinaire pour en comprendre les rôles respectifs.

Ce travail a conduit au recueil et à l'analyse de plusieurs types de données :

- Des données géochimiques concernant la concentration, la répartition et la variation au cours du temps d'éléments chimiques potentiellement toxiques pour l'Homme ;

- Des données éco-biologiques concernant l'accumulation et la rémanence des polluants dans les chaînes biologiques animale et végétale ;

- Des données médicales (analyses biologiques, taux de prévalence de différentes maladies ou ensembles nosologiques, taux de morbidité et de mortalité... ) ;

- Des données sociologiques (modes de vie, habitudes alimentaires, structure familiale, perception du risque).

La démarche méthodologique s'est organisée autour de trois grandes questions qui conditionnent la pertinence des résultats :

- Quelle doit être l'étendue de la zone à étudier autour du complexe chimique ? Sur quelle base scientifique la déterminer ?

- À quelles entités territoriales, ou à quelles normes, doit-on comparer les données relevées dans cette zone, afin de les interpréter en termes de risque ou d'état sanitaire ?

- En quoi les particularités des modes de vie influencent-elles les contaminations éventuelles ou leur perception par les populations ?

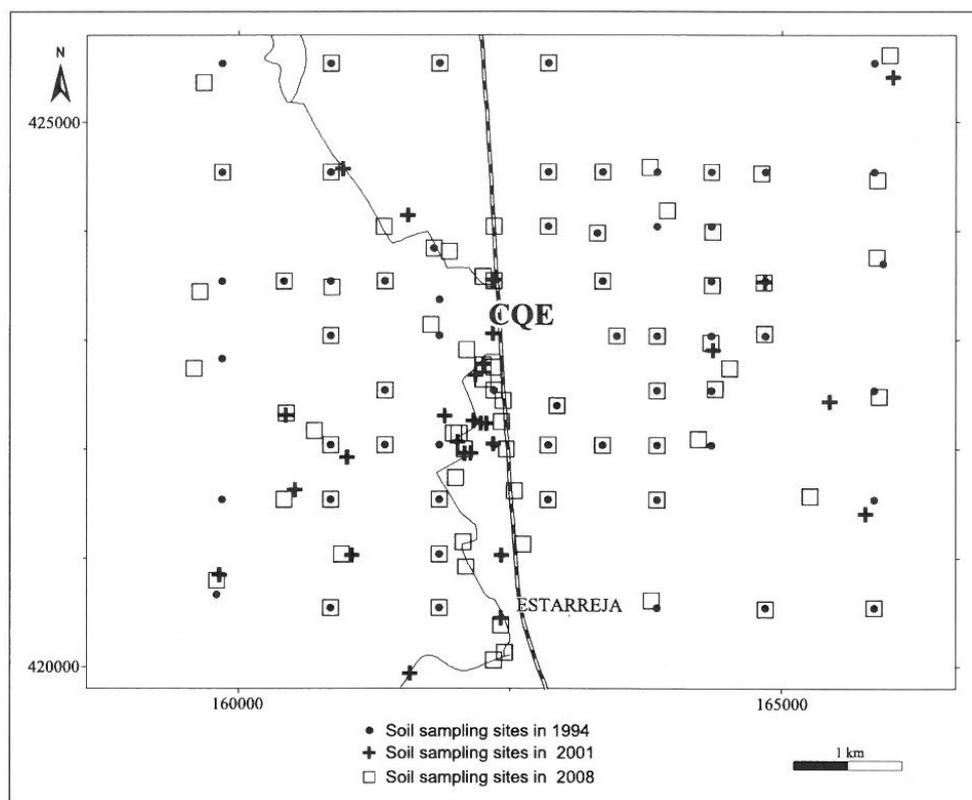
## 2. La détermination de la « zone à risque »

Nous avons choisi de mener nos études à l'échelle locale, au plus près des populations. La première question à laquelle nous avons été confrontés concernait la définition de la zone d'étude : devons-nous choisir une entité administrative plus ou moins large incluant la source de pollution, par exemple tout le territoire du « *concelho* d'Estarreja » ? Ou bien devons-nous nous limiter à une ou plusieurs de ses cinq subdivisions territoriales : les *freguesias* ? Devons-nous nous limiter au critère de distance par rapport au complexe industriel, ou devons-nous tenir compte du degré de contamination ?

Nous avons choisi de définir la zone d'étude à partir de la détermination d'une zone fortement contaminée ou « zone à risque » (ZR). La ZR a été délimitée grâce à l'analyse géospatiale de la répartition de différents polluants (métaux lourds), dans les eaux souterraines, les sédiments et les plantes fourragères, au cours de plusieurs campagnes de prélèvements, échelonnées de 1994 à 2010 (Inácio *et al.*, 1998 ; Inácio *et al.*, 2011a). Le climat, la géomorphologie, la géologie, et les sols ont été décrits par ailleurs (Inácio, 1993). Les sols sont majoritairement perméables, sableux avec un faible contenu en humus, et sont souvent utilisés pour la pâture ou l'agriculture.

Pour évaluer l'évolution temporelle de la contamination de cette zone, le contenu des sols en éléments potentiellement nocifs a été comparé pour les trois périodes de recueil : 1994, 2001, et 2008/2009. L'ensemble des sites de prélèvements des trois périodes recouvre la même aire géographique (fig. 2). En 2009/2010, des échantillons de plantes (*gramineae*) et d'eaux souterraines ont également été recueillis. Les sols collectés en 1994 ont été ré-analysés en 2009 afin de tester la répétabilité des méthodes analytiques utilisées. Sur tous les échantillons de sols, de végétaux et d'eaux souterraines, on a déterminé la concentration de 9 éléments majeurs (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P and Ti), et 23 éléments traces (Ag, As, Au, B, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, La, Mo, Ni, Pb, Sb, Sr, Th, Tl, U, V, W and Zn) par ICP-MS.

L'ensemble des études géochimiques ont montré une évolution dans le temps de la répartition des polluants inorganiques confinement progressif de certains métaux lourds (ex : Hg) dans l'environnement immédiat du complexe ; extension continue de la contamination des eaux et des sols par d'autres métaux lourds (As) (Branco, 2008 ; Inácio *et al.*, 2011a). C'est donc dans la zone de contamination élevée (taux supérieurs aux valeurs-seuils de toxicité pour l'homme définis par l'OMS) que se concentrent nos études sur la santé des populations. Cette zone à risque potentiel s'étend autour du complexe chimique et englobe deux des cinq *freguesias* qui composent le territoire municipal d'Estarreja : les *freguesias* de Beduído et Veiros.



**Fig. 2 – Localisation des sites de prélèvements dans la zone de 60 km<sup>2</sup> autour du complexe chimique (noté ici CQE), en 1994, 2001 and 2008**

### 3. Quel référentiel de comparaison ? La recherche d'une zone blanche

Les indicateurs de santé obtenus dans la ZR ne prennent sens que par comparaison avec des statistiques concernant d'autres territoires, de même dimension ou plus larges, régionaux ou national, « supposés » être moins pollués. Dans le cas d'Estarreja les comparaisons auraient pu être légitimement effectuées, soit avec la sous-région (*Baixo Vouga*), soit avec la région (*Região Centro*), soit avec l'ensemble du Portugal Continental (fig. 3).

Une comparaison de critères généraux concernant la santé publique a été menée entre Estarreja et chacune de ces trois entités (tabl. 1). Deux types de critères, disponibles pour la période 2002-2010 auprès de l'INE (Instituto Nacional de Estatística), ont été sélectionnés : trois concernent la disponibilité de soins (nombre de médecins, infirmiers et pharmacies pour 1 000 habitants), quatre concernent l'état sanitaire des populations (taux annuels de mortalité par cancers et maladies de l'appareil circulatoire, taux quinquennaux de mortalité néonatale et de mortalité infantile).

En ce qui concerne la disponibilité de soins, Estarreja reste très en dessous de la moyenne nationale et même de la sous-région, déjà peu favorisée,

pour le nombre de médecins et d'infirmiers (tabl. 1). L'état sanitaire des populations se révèle contrasté. Les statistiques montrent un taux de mortalité par cancer qui a augmenté à Estarreja comme partout ailleurs, mais plus que dans la sous-région à laquelle Estarreja appartient. Le taux de mortalité par maladies de l'appareil circulatoire a diminué sur la période, mais reste très élevé à Estarreja. De même une forte diminution de la mortalité infantile est à noter sur la période, mais elle reste moins marquée que celle constatée au niveau régional. Par contre la mortalité néonatale est la plus basse de toutes les entités territoriales comparées.

Ces quelques indicateurs tendent à montrer que la population de la sous-région Baixo

Vouga, quoique étant relativement sous-médicalisée à l'échelle régionale et nationale, bénéficie d'un état de santé globalement meilleur que celui observé dans l'ensemble de la Région Centre et du Portugal Continental. Cependant, les indicateurs de santé sont globalement moins bons à Estarreja que dans la sous-région Baixo Vouga, se rapprochant davantage des chiffres observés pour la Région Centre, voire du Portugal dans son ensemble.

Cette hétérogénéité des statistiques de santé publique au niveau national, régional, et loco-régional, qui reflète en partie des modes de vie et des différences socio-économiques contrastées, ne procure pas de référentiel statistique pertinent pour l'interprétation des études épidémiologiques menées à Estarreja. C'est pourquoi il nous est apparu indispensable de trouver une zone de référence, de taille comparable à la ZR, pour minimiser au maximum les facteurs confondants.

Toutes les études biologiques, médicales et anthropologiques entreprises à Estarreja sont donc menées en parallèle dans une « zone blanche » (ZB), située à 50 km au sud d'Estarreja. La zone blanche correspond à la *freguesia* d'Ouca, appartenant au *concelho* de Vagos (fig. 3), et a été choisie sur des critères précis. Située comme Estarreja en bordure de la ria

**Tableau 1 – Indicateurs sanitaires en 2002 et 2009 pour le concelho d'Estarreja, la sous-région Baixo-Vouga et le Portugal Continental.**

	2009				2005-2009				2002				1998-2002			
	PC	RC	BV	ES	PC	RC	BV	ES	PC	RC	BV	ES	PC	RC	BV	ES
Nbre de médecins pour 1000 habitants	3,8	3,3	2,3	1,5					3,3	2,7	1,9	1,1				
Nbre de pharmacies pour 1000 habitants*	0,3	0,3	0,3	0,2					0,3	0,3	0,3	0,2				
Nbre d'infirmiers pour 1000 habitants	5,5	5,5	3,7	3,3					3,9	4,0	2,8	1,9				
Taux de mortalité par tumeurs malignes (‰)	2,3	2,4	2,1	2,4					2,1	2,3	2	2				
Taux de mortalité par maladies de l'appareil circulatoire (‰)	3,1	3,5	2,8	3,7					3,9	4,6	3,7	5,1				
Taux quinquennal de mortalité infantile (‰)					3,4	2,9	2,9	3,3					5,3	4,3	4,9	5,0
Taux quinquennal de mortalité néonatale (‰)					2,2	1,8	1,7	0,8					3,3	2,7	2,9	2,8

Source : PC - Portugal Continental ; RC - Région Centre; BV - Sous-région « Baixo Vouga » ; ES - Estarreja.

\* y compris postes pharmaceutiques mobiles.

Source : INE - Instituto Nacional de Estatística: actualisation juillet 2011.

d'Aveiro ses caractéristiques géologiques et géomorphologiques sont identiques. Les données provenant de l'Institut National de la Statistique Portugais (INE-Instituto Nacional de Estatística) montrent que les populations d'Estarreja et Ouca ont des caractéristiques socio-démographiques similaires. Cette similarité de structure environnementale et populationnelle comporte une exception majeure : le territoire d'Ouca est dépourvu d'industries émettrices d'éléments potentiellement nocifs. Une série d'analyses géochimiques réalisées en 2010 en ZB, et calquées sur celles effectuées en ZR, montrent des taux de As, Cu, Pb et Zn bien inférieurs à ceux trouvés à Estarreja, et tous en dessous des seuils de toxicité pour l'Homme (fig. 4).

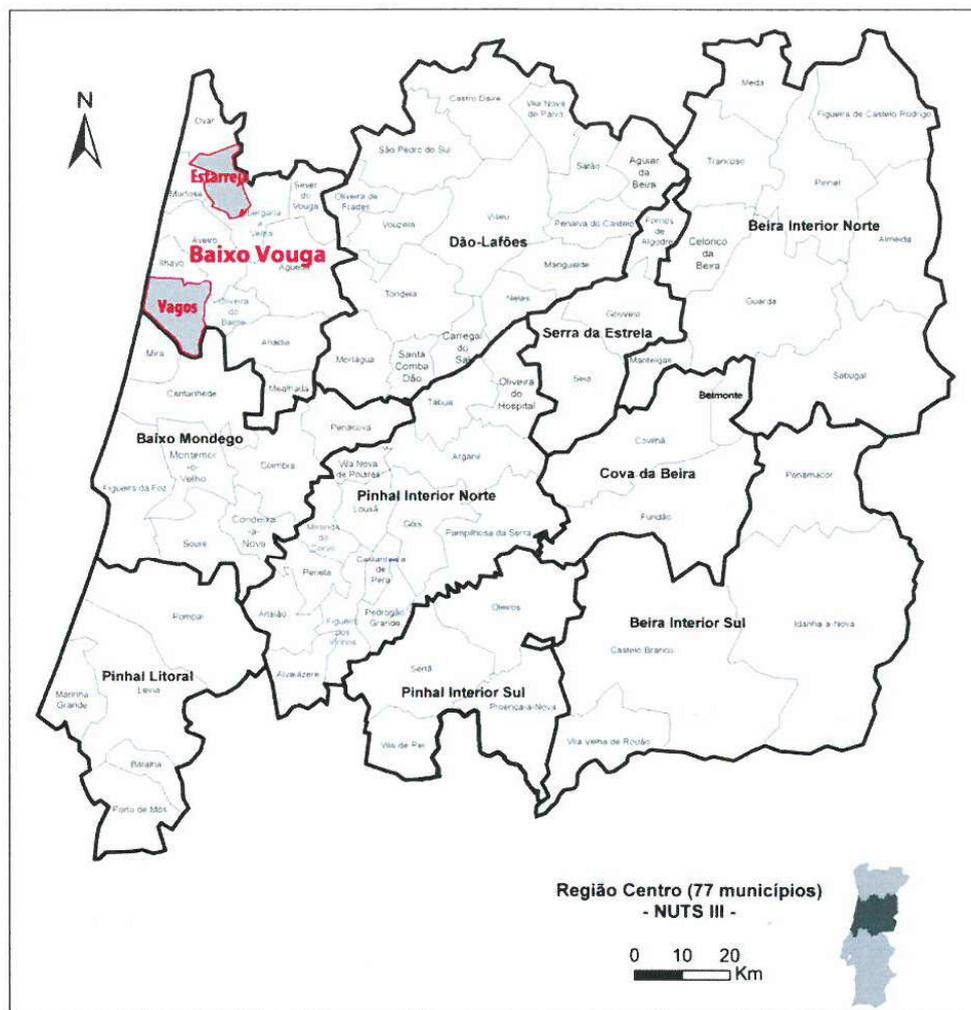
#### 4. L'impact sanitaire de l'activité du complexe chimique. Prise en compte du mode de vie des populations locales

Plusieurs études pluridisciplinaires ont déjà été réalisées dans le domaine de la santé des populations locales :

1 – Étude concernant l'impact éventuel de la pollution observée en ZR sur la capacité reproductive des femmes et sur le déroulement des grossesses. L'originalité de cette étude était de prendre en compte des facteurs ayant trait aux modes de vie (et notamment aux conduites alimen-

taires), susceptibles de majorer ou de minorer ces effets. Elle est basée sur une enquête de terrain, réalisée à domicile au cours de trois phases successives, entre 2008 et 2010. Les questionnaires complétés par les enquêtrices comportaient des données d'état-civil, des informations concernant l'histoire obstétricale des femmes (nombre d'enfants, déroulement des grossesses, prématurité, avortements spontanés), des questions concernant le comportement alimentaire et la consommation d'eau et de produits locaux (légumes, lait, viandes, poissons), ainsi que la perception du risque environnemental. Un total de 768 femmes âgées de plus de 17 ans ont été interviewées, ce qui représente 16 % des femmes vivant dans les deux zones. L'échantillonnage a été effectué par la méthode des quotas, sur la base des effectifs globaux de la population, par classe d'âge, niveau scolaire et niveau socio-économique. Une enquête complémentaire, centrée sur les femmes ayant présenté un ou plusieurs épisodes d'avortement spontané (51 cas), a été effectuée pour connaître leurs conditions de survenue et de prise en charge médicale.

2 – Données médicales concernant l'état de santé des mères et des nouveau-nés. Des données biométriques et obstétricales ont été recueillies pour la ZR (*Beduido, Veiros*) à partir du fichier informatisé du *Centro de Saúde* (dispensaire) d'Estarreja. Elles concernent 927 enfants nés entre 1987 et 2007. Un recueil identique est prévu pour la ZB.



**Fig. 3 – Insertion territoriale administrative des *concelhos* d'Estarreja (zone contaminée potentiellement à risque, ZR) et de Vagos (zone blanche)**

les potagers (presque 100 % en ZR comme en ZB) et cuisiner (près de 75 % en ZR). L'alimentation est en grande partie assurée par la production domestique (légumes et volailles notamment). La consommation de poisson de mer est très fréquente (quotidienne chez un quart des femmes en ZR), la consommation de poisson de la lagune moins fréquente et moins répandue.

La différence majeure entre ZR et ZB concerne le degré de pollution du milieu ambiant, dû à l'activité industrielle prolongée dans le temps. Les études géochimiques effectuées en ZB montrent des concentrations d'éléments potentiellement toxiques au-dessous des seuils de toxicité dans cette zone, contrairement aux concentrations très élevées accumulées dans la zone à risque (Inácio *et al.* 2011a)

Les enquêtes sur la santé des mères et des nouveaux-nés, effectuées dans les deux zones, reflètent des situations sanitaires bien différentes en ZR et en ZB. Les premières analyses révèlent des différences qui doivent être discutées :

- Le pourcentage de femmes enquêtées qui ont déclaré avoir eu au moins un avortement spontané a été de 20 % en ZR et 5 % en ZB. S'agissant d'un événement marquant dans la vie obstétricale des femmes, souvent occulté dans les fichiers médicaux, et compte tenu des avortements du premier trimestre gestationnel passés inaperçus, on peut considérer ces chiffres comme sous-estimés plutôt que surestimés. Le contexte socio-démographique étant égal par ailleurs en ZR et ZB (sauf en ce qui concerne la consommation de vin, plus élevée en ZR), on peut légitimement poser la question du rôle joué par la pollution environnementale dans les différences constatées. Il reste cependant très difficile d'affirmer à partir de cette seule étude une relation directe entre l'incidence des avortements spontanés et la contamination de l'environnement.
- Les femmes enquêtées dans la *freguesia* de Beduído déclarent 11,4 % d'enfants nés avant terme, contrastant avec les 4,2 % déclarés à Veiros et 6,3 % déclarés à Ouca. Ces taux ne sont cependant pas confirmés par l'analyse du fichier du *Centro de Saúde* d'Estarreja : le taux de prématurité se

3 – Analyses biologiques de l'arsenic urinaire des enfants d'âge scolaire (6-14 ans) et leurs mères en ZR (*Beduído* et *Veiros*) : 69 enfants et 59 mères, et en ZB (*Ouca*) : 16 enfants et 16 mères. Un auto-questionnaire, complété par chaque famille, a fourni des précisions sur les caractéristiques familiales, le déroulement des grossesses, le développement neurologique et cognitif de l'enfant, ainsi que les maladies récurrentes dans la parentèle.

## II – Les premiers résultats

Les premières analyses des résultats des enquêtes menées en ZR et en ZB soulignent les nombreuses ressemblances entre les deux zones en ce qui concerne le mode de vie. Dans les deux populations, les habitudes alimentaires sont marquées par une ruralité encore très présente. L'utilisation de l'eau de puits (présents dans 71 % des foyers en ZR et 100 % en ZB) est habituelle pour arroser

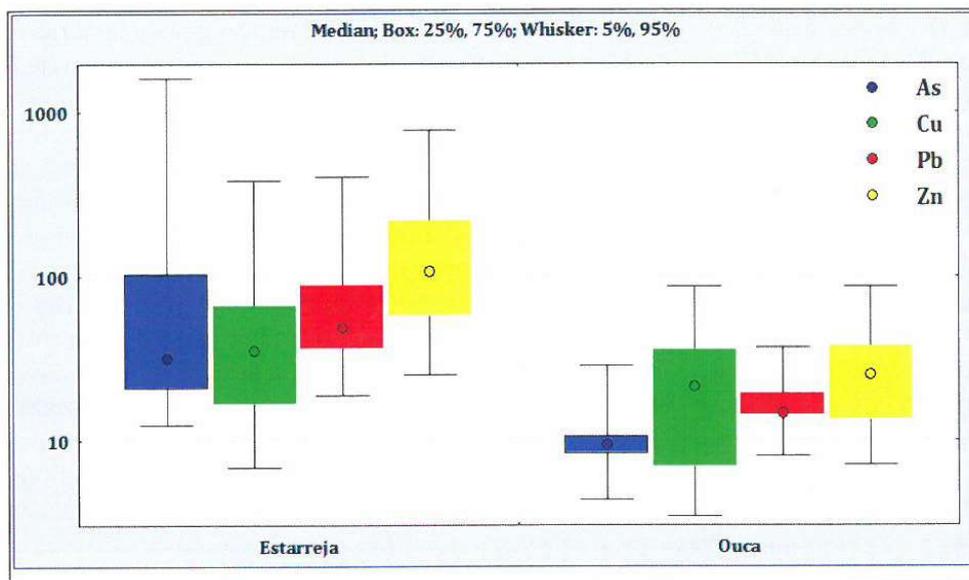


Fig. 4 – Distributions (Box-plots) de As, Cu and Zn (en mg kg<sup>-1</sup>) en ZR (Estarreja) et ZB (Ouça) (à partir de Inácio et al 2011b)

révèle globalement inférieur à celui de l'enquête. Il est au contraire plus élevé à Veiros (9,2 %) qu'à Beduído (6,1 %). Il est possible que le nombre de prématurés soit surestimé par les femmes, par méconnaissance de la définition exacte de la prématurité, et/ou par confusion avec la notion de « petits poids à la naissance ». En l'absence de données médicales en ZB, il est impossible de conclure sur la prématurité en ZR. De plus les causes de naissance avant terme étant très nombreuses, il convient d'interpréter avec beaucoup de prudence ces chiffres de prématurité en termes d'influence de l'environnement.

- L'étude des taux de As et de Hg dans les urines des enfants et de leurs mères est en cours ; un nouvel échantillon sera étudié en 2012.

L'analyse des données des enquêtes de terrain n'est pas terminée, de même que celle des questionnaires distribués dans les écoles. On attend également des résultats importants des projets sélectionnés lors de l'appel d'offre de l'OHMI 2011 : pollution atmosphérique par l'arsenic, biodisponibilité des éléments toxiques dans les légumes de consommation courante, prévalence de plusieurs maladies neuro-dégénératives. La synthèse de toutes ces informations devraient permettre un début d'estimation des effets rémanents de la contamination d'origine industrielle sur la santé humaine dans la région d'Estarreja.

## Discussion

L'évaluation des effets toxiques d'éléments chimiques produits par l'activité industrielle dans un endroit donné est délicate. Les facteurs confondants, liés au mode de vie et à l'accès

aux soins des populations, sont nombreux. Les études de santé publique dans des zones fortement contaminées doivent donc être effectuées en fonction d'un double référentiel : un référentiel géographique, destiné à délimiter la zone d'étude (zone contaminée locale, ou zone étendue régionale), et un référentiel de « normes » (valeurs seuils toxicologiques et biologiques) qui doit lui-même être référencé géographiquement. Les études déjà menées dans le cadre de l'OHMI Estarreja ont montré l'importance d'une analyse fine locale des déterminants de la toxicité des substances contaminantes émises par le complexe chimique. La méthodologie em-

ployée a reposé sur la séquence : 1- détermination géochimique de la zone à risque (ZR) ; 2 - études des populations en ZR ; 3 - recherche d'une zone blanche (ZB) la plus similaire possible à la ZR, mais dépourvue de complexe industriel sur son territoire ; 4 - études des populations en ZB ; 5 - comparaisons ZR/ZB.

Le choix d'une ZB géographiquement limitée comme référentiel de comparaison pour les études biologiques et médicales est d'une grande importance. En effet les valeurs établies sur de grands territoires (échelles régionale ou nationale) gommant l'hétérogénéité populationnelle en termes de démographie, de mode de vie, et partant, de santé publique. Par exemple, un taux régional de maladies pulmonaires chroniques peut cacher une très grande disparité entre un faible taux rural et un fort taux urbain. Ce taux moyen variera donc fortement en fonction de la proportion de grandes zones urbaines dans la région. Dans ces conditions, comparer une zone rurale - certes fortement contaminée par une industrie polluante - à une zone plus urbanisée, soumise à un autre type de pollution (émissions liées aux véhicules, au chauffage) conduira à une sous-estimation des effets de la pollution industrielle. Dans le cas d'Estarreja, des référentiels statistiques concernant la santé publique sont disponibles au niveau de la sous-région (Baixo Vouga). Celle-ci est très hétérogène, mêlant étroitement zones urbaines importantes (Aveiro), zones urbanisées ou semi-rurales, et zones rurales. Les modes de vie, les différences socio-économiques, l'accès aux soins sont contrastés sur ce territoire, ce qui discrédite toute comparaison entre Estarreja et l'ensemble de cette zone. Le choix d'une zone blanche limitée au sein de la sous-région se trouve donc pleinement justifié.

Un des résultats les plus marquants des études déjà effectuées est le rapport inconstant entre ZR, telle que définie par les analyses géochimiques, et exposition des populations aux polluants. Des différences ont été constatées en ce qui concerne le nombre de cas d'avortements spontanés, plus élevés en ZR qu'en ZB. Il faut cependant noter que les taux maximum observés sont comparables aux données rapportées dans de nombreuses études, où l'on estime qu'une grossesse sur cinq se termine par un avortement spontané. Ceci montre tout l'intérêt des études de biodisponibilité des polluants présents dans les sols. À cet égard l'étude menée actuellement sur la fraction disponible des éléments-traces dans les racines et parties aériennes (partie comestible) de plusieurs légumes cultivés dans les potagers familiaux de la ZR (pomme de terre, salade,

haricot vert, oignon, tomate...) revêt une grande importance pour la compréhension des risques de contamination de la population.

En conclusion, les études de santé publique que nous menons actuellement sur le territoire d'Estarreja se caractérisent par une approche pluridisciplinaire combinant études géochimiques, médicales, sociologiques et anthropologiques. Ces études sont référencées dans l'espace (cartographies des éléments traces dans la zone à risque, choix d'une zone blanche de référence) et dans le temps (données actuelles ou rétrospectives sur plus de 20 ans). *In fine*, le but de ces recherches est d'établir trois types de cartographies évolutives : *contamination* du milieu, *exposition* des populations, *effets* sur la santé publique.

**RESUMO** – O estudo dos impactos dos contaminantes de origem industrial sobre a saúde humana é dificultado pela multiplicidade de fatores inerentes, cuja avaliação é tanto mais difícil quanto maior for a escala do estudo. Este artigo descreve a abordagem espacial selecionada para estudar os potenciais efeitos do passivo ambiental resultante da atividade industrial existente na zona d'Estarreja. A metodologia escolhida consiste em definir localmente, a partir de critérios geoquímicos, uma zona de risco (ZR). Uma zona branca (ZB), localizada 50 quilómetros da ZR, com as mesmas características geológicas e socio-demográficas, mas sem a presença de indústrias químicas, foi escolhida para servir de comparação. Os estudos desenvolvidos são pluridisciplinares (eco-biológicos, saúde e sociológicos) pretendendo distinguir o que depende da atividade industrial do que é função das características sociológicas ou biológicas das populações.

POLUIÇÃO INDUSTRIAL – SAÚDE HUMANA – AVALIAÇÃO ESPACIAL – ESTARREJA – PORTUGAL

### Références bibliographiques

- BATISTA A. C., FERREIRA DA SILVA E., AZEVEDO M. C. C., SOUSA A. J., CARDOSO FONSECA E., « Soil data analysis from central Portugal by Principal Component Analysis and Geostatistical Techniques », *Geochemistry : Exploration, Environment, Analysis* 2 (1), 2002, p. 15-25.
- BRANCO C., *Estudo da contaminação do aquífero superior na região de Estarreja*, Tese de mestrado em Geociências – ramo Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade de Aveiro, 2008, 149 p + anexos.
- BARRADAS J. M., *Geoquímica de elementos maiores e vestigiais em amostras de solo, sedimentos de vala e águas subterâneas. Contribuição para a caracterização ambiental da zona envolvente ao Complexo de Estarreja*, PhD Thesis, University of Aveiro, 1992, 203 p.
- CACHADA A., RODRIGUES S. M., MIEIRO C., FERREIRA DA SILVA E., PEREIRA E., DUARTE A. C., « Controlling factors and environmental implications of mercury contamination in urban and agricultural soils under a long-term influence of a chlor-alkali plant in the North-West Portugal », *Environmental Geology* 57, 2009, p. 91-98.
- HALL A., DUARTE A. C., CALDEIRA M. T., LUCAS M. F., « Sources and sinks of mercury in the coastal lagoon of Aveiro, Portugal », *Sci. Total Environ*, 64, 1987, p. 75-87.
- HWANG Y. H., BORNSCHEIN R. L., GROTE J., MENRATH W., RODA S., « Urinary Arsenic Excretion as a Biomarker of Arsenic Exposure in Children », *Arch Environ Health* 52(2), 1997, p. 139-147.
- INÁCIO, M. M., *Mercúrio em solos da área do Complexo Químico de Estarreja*, Master's Thesis, University of Aveiro, 1993, 139 p.
- INÁCIO M., FERREIRA DA SILVA E., PEREIRA V., GUIHARD-COSTA A. M., VALENTE S., « Accumulation of potentially harmful elements in soils and forage plants in the Industrial area of Estarreja, Portugal », *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13, EGU2011-13568, 2011a.
- INÁCIO M., FERREIRA DA SILVA E., PEREIRA V., GUIHARD-COSTA A. M., VALENTE S., « Evaluation of urinary arsenic in children and their mothers living near an industrial complex (Estarreja, Portugal) », *GEOMED 2011, 4th International Conference on Medical Geology, Bari, Italy, 20-25 of September 2*, 2011b.
- INÁCIO M., PEREIRA E., PINTO M. S., « Mercury contamination in sandy soils surrounding an industrial emission source (Estarreja, Portugal) », *Geoderma* 85, 1998, p. 325-339.
- RODRIGUES S. M., HENRIQUES B., COIMBRA J., FERREIRA DA SILVA E., PEREIRA M. E., DUARTE A. C., « Water-soluble fraction of mercury, arsenic and other potentially toxic elements in highly contaminated sediments and soils », *Chemosphere* 78, 2010, p. 1 301-1 312.
- VALENTE S., ABREU A., CERVEIRA A., BESSA E., RIBEIRO C., « Saúde & Poluição industrial : Análise da potencial relação entre a gestação humana e os hábitos alimentares das mulheres em áreas afectadas por poluição industrial » *Rapport PICS Pollprenat, CNRS n.p.*, 2011.
- WOODRUFF T., PARKER J. D., DARROW L. A., SLAMA R., BELL M. L., CHOI H., GLINIANAIA S., HOGGATT K. J., KARR C. J., LOBDELL D. T., WILHELM M., « Methodological issues in studies of air pollution and reproductive health », *Environmental Research* 109, 2009, p. 311-320.