

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine

Agglomération de Besançon
Impact à court et long terme



Drass Franche-Comté
Cire Centre-Est



1 Faisabilité d'une EIS à Besançon p. 4

- 1.1 | Choix et description de la zone d'étude p. 4
- 1.2 | Inventaire des pollutions atmosphériques p. 10
- 1.3 | La surveillance de la qualité de l'air p. 11
- 1.4 | Choix de la période d'étude p. 12

2 Matériel et méthodes d'une EIS p. 14

- 2.1 | Identification des dangers p. 14
- 2.2 | Choix des relations exposition-risque p. 15
- 2.3 | Construction des indicateurs d'exposition p. 16
- 2.4 | Caractérisation du risque p. 18

3 Résultats p. 19

- 3.1 | Description des indicateurs de pollution p. 19
- 3.2 | Description des indicateurs sanitaires p. 20
- 3.3 | Impact de la pollution à court terme p. 21
- 3.4 | Impact de la pollution à long terme p. 27

4 Discussion et recommandations p. 28

- 4.1 | Hypothèses, limites et incertitudes p. 28
- 4.2 | Conclusions et recommandations p. 30

Références bibliographiques p. 31**Annexe** p. 32

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine Agglomération de Besançon Impact à court et long terme

Cette étude a été réalisée par :

Bertrand Delavelle, stagiaire à la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de Franche-Comté

Avec l'appui méthodologique de :

Linda Nourry, ingénieur sanitaire à la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de Franche-Comté

Ursula Nourry, épidémiologiste à la Cellule interrégionale d'épidémiologie Centre-Est

Relecture :

Laurence Pascale, Institut de veille sanitaire, Département santé environnement

Ont contribué à la réalisation de cette étude :

Francis Schweitzer et Stéphane François, Asqab (Association pour la surveillance de la qualité de l'air dans l'agglomération bisontine et le sud Franche-Comté)

Agnès Hochart, Observatoire régional de la santé de Franche-Comté

Marie-Claude Antraigue, Caisse régionale d'assurance maladie de Franche-Comté, Cellule PMSI

Direction régionale de l'industrie de la recherche et de l'environnement de Franche-Comté

Direction régionale de l'équipement de Franche-Comté

Abréviations

Asqab	Association de surveillance de la qualité de l'air dans l'agglomération bisontine et le sud Franche-Comté
APHEA	Air Pollution and Health: a European Approach
CAGB	Communauté d'agglomération du Grand Besançon
Cire	Cellule interrégionale d'épidémiologie
Citepa	Centre interprofessionnel d'étude de la pollution atmosphérique
Drass	Direction régionale des affaires sanitaires et sociales
Drire	Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement
EIS	Évaluation de l'impact sanitaire
Insee	Institut national des statistiques et des études économiques
Inserm	Institut national de la santé et de la recherche médicale
InVS	Institut de veille sanitaire
ORS	Observatoire régional de la santé
PDU	Plan de déplacement urbain
PMSI	Programme de médicalisation des systèmes d'information
PRQA	Plan régional pour la qualité de l'air
PSAS-9	Programme de surveillance air et santé - 9 villes
RGP	Recensement général de la population
TGAP	Taxe générale sur les activités polluantes
UIOM	Usine d'incinération d'ordures ménagères
CO₂	Dioxyde de carbone
NO₂	Dioxyde d'azote
O₃	Ozone
PM_{2,5}	Particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 microns
PM₁₀	Particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns
PM₁₃	Particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 13 microns
SO₂	Dioxyde de soufre

Préambule

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'élaboration du Plan régional pour la qualité de l'air (PRQA) de Franche-Comté. Dans ses orientations, ce plan réaffirme la nécessité d'améliorer les connaissances sur les émissions de polluants atmosphériques et leurs effets sur la santé. Il prévoit notamment de réaliser des évaluations de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique sur les grandes villes franc-comtoises. Ces études ont été confiées à la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales (Drass) de Franche-Comté, en partenariat avec la Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire) Centre-Est.

L'EIS réalisée sur l'agglomération de Besançon s'appuie sur la méthodologie de l'Institut de veille sanitaire¹ (InVS) qui vise à estimer l'impact de la pollution atmosphérique sur :

- la mortalité totale (court et long terme), cardio-vasculaire et respiratoire (court terme) ;
- les admissions hospitalières pour causes respiratoire, cardio-vasculaire et cardiaque (impact à court terme).

Selon les recommandations de l'InVS, l'évaluation des risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique est fondée sur une démarche en quatre étapes standardisées :

- sélection des substances et identification des dangers ;
- sélection des relations exposition-risque ;
- estimation de l'exposition de la population ;
- caractérisation et quantification du risque.

Dans le cadre d'une évaluation des risques sanitaires de la pollution atmosphérique urbaine, on considère que l'ensemble des sujets d'une zone d'étude définie est soumis à un même niveau de pollution. Ainsi, avant d'entreprendre la réalisation d'une EIS, il est nécessaire de s'assurer que l'agglomération choisie répond à certains critères énoncés dans le guide de l'InVS :

- l'urbanisation doit être continue sur la zone d'étude (aucune discontinuité importante ne doit être observée entre le centre ville, les quartiers et les éventuelles communes voisines) ;
- la population habitant la zone d'étude doit être exposée la majeure partie de son temps à la pollution urbaine (lieu de résidence et lieu de travail sur la zone d'étude) ;
- l'exposition à la pollution ambiante sur l'unité urbaine doit être homogène (les principales sources de pollution doivent être localisées et quantifiées, il ne doit pas y avoir de sources majeures ponctuelles de pollution) ;
- l'agglomération doit disposer d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air mesurant de façon fiable, sur des stations de fond, certains polluants nécessaires au calcul de l'exposition.

Tout d'abord, nous vérifierons que l'agglomération bisontine répond aux critères de faisabilité d'une EIS. Si c'est le cas, nous nous attacherons ensuite à dérouler les quatre étapes de l'évaluation des risques sanitaires, afin de calculer l'impact sur la santé lié à la pollution de l'air.

¹ Guide méthodologique sur l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine, juillet 1999, révisé en mars 2003.

1.1 | Choix et description de la zone d'étude

La communauté d'agglomération du Grand Besançon (CAGB), composée de 59 communes, est la plus grande communauté d'agglomération de France par son nombre de communes. Cependant, leur taille est relativement

modeste puisque l'agglomération ne compte que 176 000 habitants, dont presque 70 % de bisontins (Besançon est la ville la plus peuplée de Franche-Comté avec près de 120 000 habitants).

1.1.1 | Continuité urbaine

La continuité urbaine est un critère essentiel dans le choix de notre aire d'étude (la méthodologie est fondée sur un découpage en zones homogènes de pollution), bien que l'appréciation de la continuité du bâti soit parfois un peu délicate. La carte 1 présente les zones urbanisées de la ville de Besançon. Malgré une très bonne compacité de l'urbanisation, on remarque clairement sur cette carte la forte influence des contraintes topographiques sur la progression de l'urbanisation. Depuis le site remarquable de la ville romaine enserrée dans la boucle formée par le Doubs, l'urbanisation s'est largement développée vers l'ouest et le nord alors que les premiers anticlinaux jurassiens rendaient impossible toute progression de l'habitat vers le sud-est. Toute la partie en rive gauche du Doubs apparaît épargnée par l'urbanisation en raison des contraintes géographiques. La ville s'est donc étendue vers le nord-ouest de façon oblique, symétriquement au cours du Doubs et à l'arc jurassien. On observe néanmoins quelques zones vierges, en raison notamment des collines de Bregille et de Chaudanne isolant certains quartiers bisontins (Près-de-Vaux et Velotte).

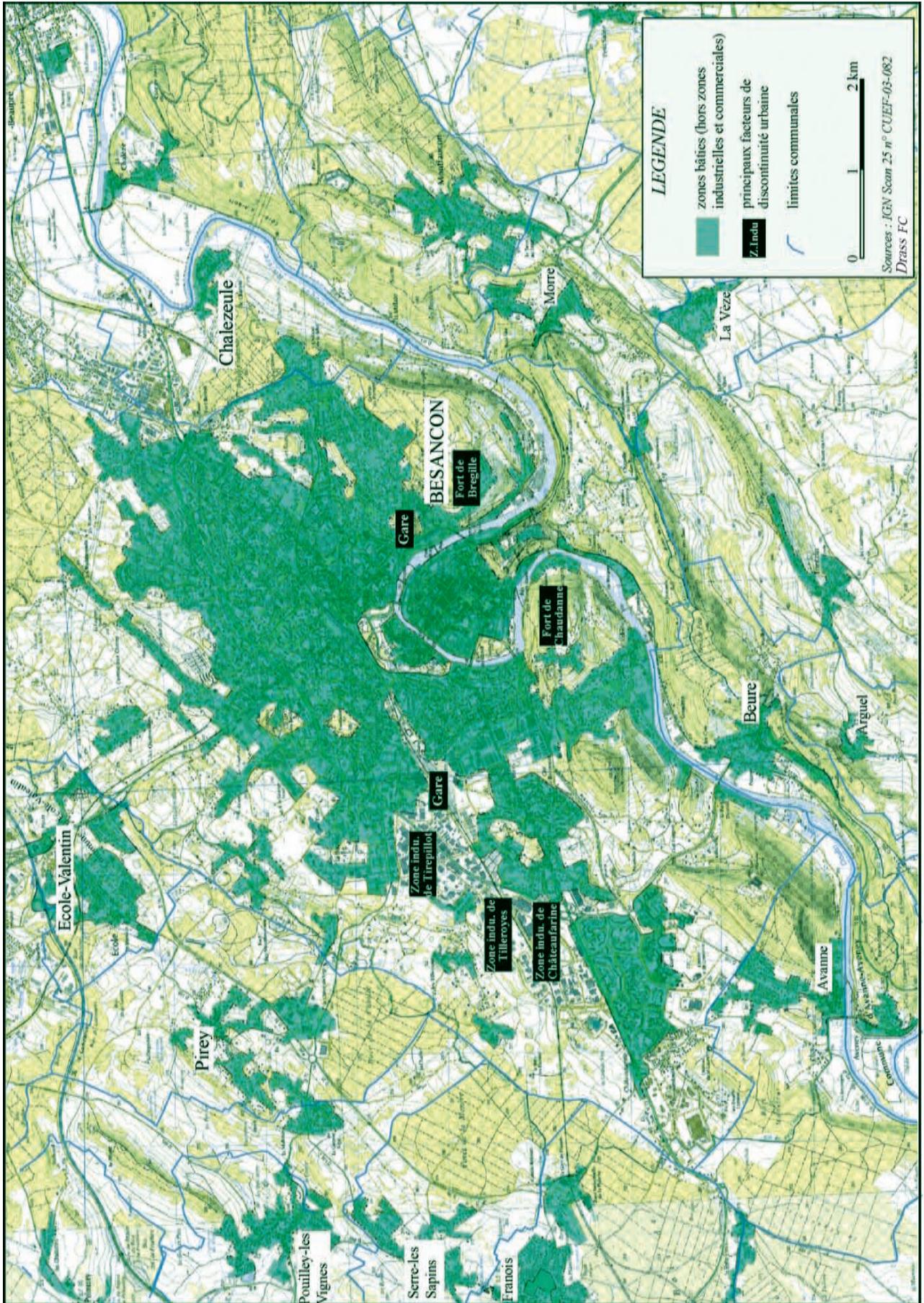
Les anciens villages agricoles de l'ouest bisontin sont désormais des bourgs périurbains très cossus mais restent encore clairement séparés du front urbain par

des zones vertes. Malgré la proximité de nombreuses communes (École-Valentin, Pirey, Chalezeule, Avanne, Beurre), l'urbanisation n'est pas continue et, d'après la carte 1, l'aire d'étude peut se résumer à la commune de Besançon.

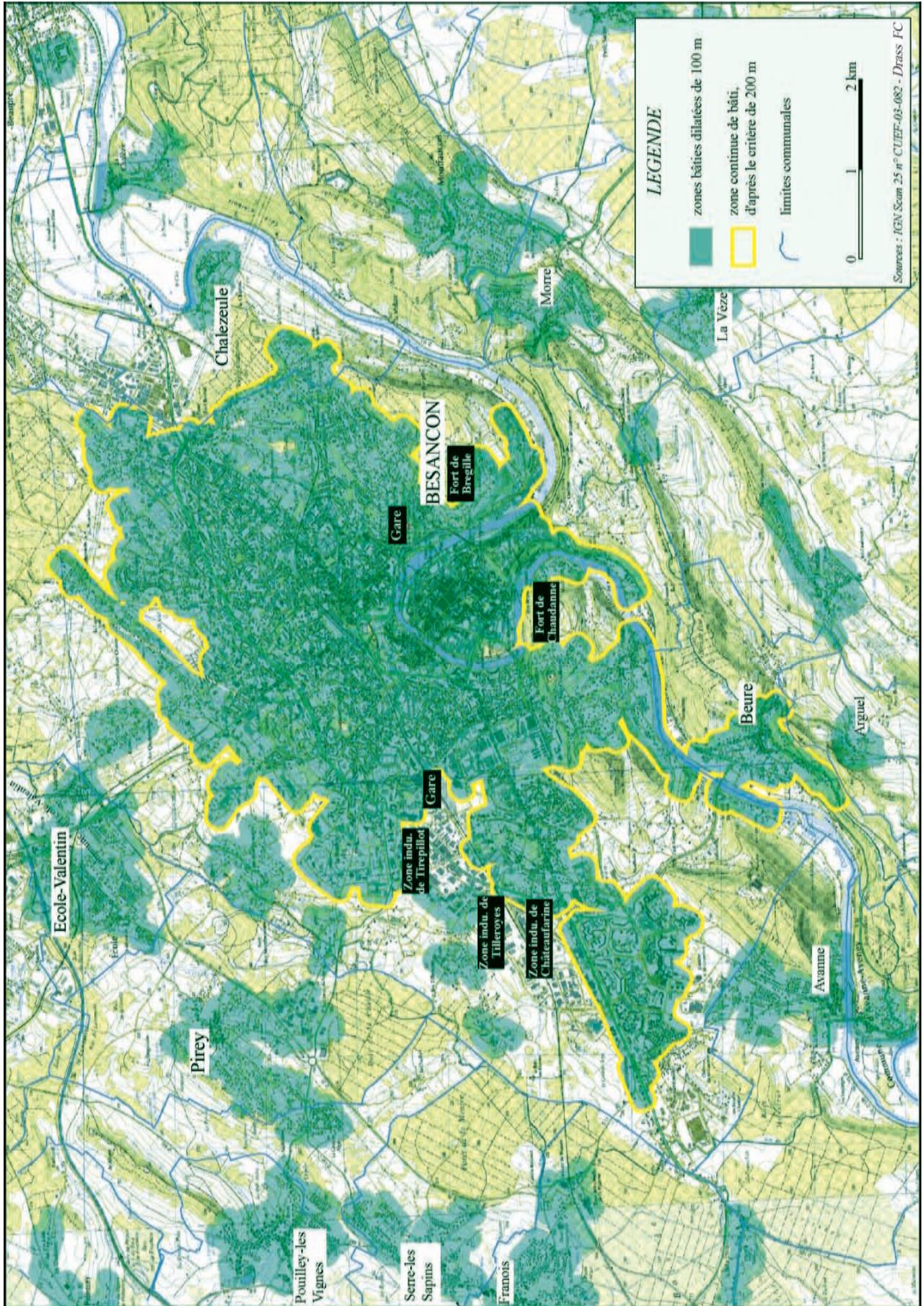
Selon la définition statistique de l'Institut national des statistiques et des études économiques (Insee), une agglomération est "un territoire défini par la continuité du bâti, tel qu'aucun bâtiment n'est éloigné du voisin par plus de 200 mètres". Cette définition peut compléter notre appréciation empirique de la continuité urbaine, mais nous verrons qu'elle est imparfaite dans le cas d'une EIS. Sur la carte 2, nous avons représenté une nouvelle fois le bâti après avoir étendu tous les fronts urbains de 100 mètres. Ainsi, les zones urbanisées séparées de moins de 200 mètres ont donc été regroupées, illustrant la continuité du bâti selon l'Insee. Au final, seule la commune de Beurre a été intégrée à la zone urbaine de Besançon, confirmant l'éloignement des autres communes périphériques.

Seules les communes de Besançon et de Beurre répondent au critère de continuité urbaine.

Carte 1 - L'urbanisation dans l'agglomération de Besançon

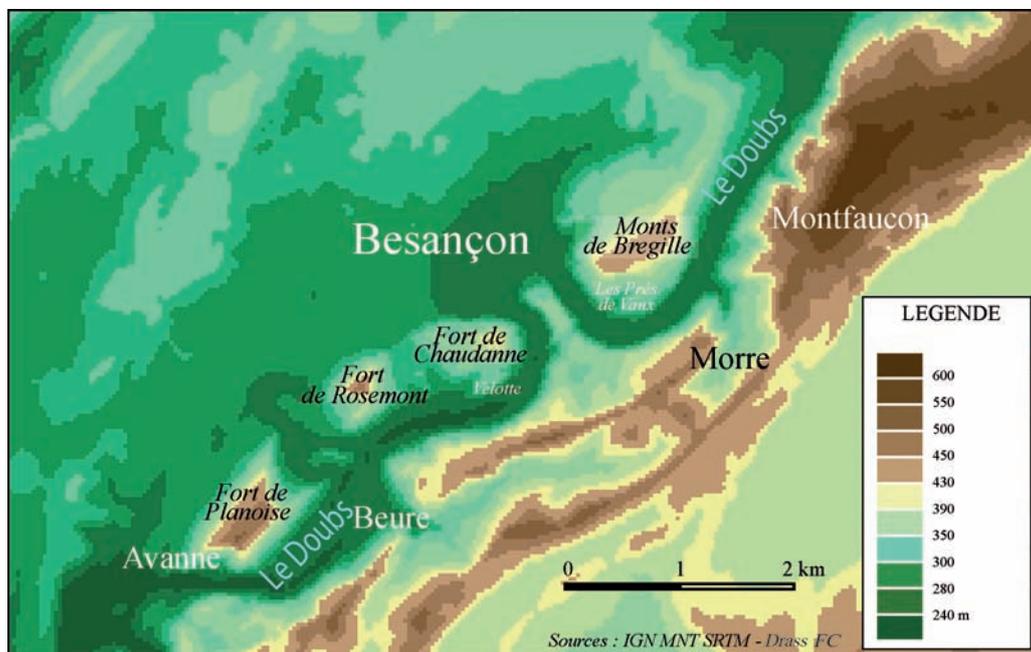


Carte 2 - La continuité du bâti d'après le critère de l'Insee



1.1.2 | Aspects physiques de l'aire d'étude

Carte 3 - Situation et contexte topographique de la ville de Besançon



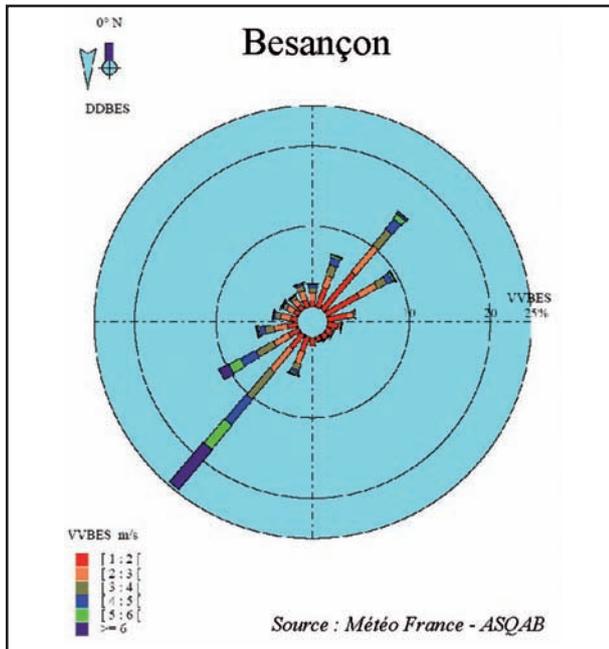
À Besançon, le Doubs marque la limite avec les premiers plateaux du Jura, montagne calcaire qui s'élève en une succession de plateaux vers le sud-est. L'influence du relief sur la concentration ou la dispersion des pollutions atmosphériques est encore mal connue à l'échelle locale. Toutefois, la présence de nombreuses collines, vestiges d'un chaînon jurassien très érodé, ne facilite pas le choix de notre aire d'étude : les collines sont un facteur de discontinuité urbaine et représentent autant d'obstacles à la circulation des masses d'air. Ainsi, bien que la commune de Beure respecte le critère de

continuité urbaine avec Besançon, le relief semble isoler Beure de l'agglomération. Par conséquent, il est difficilement concevable de considérer que l'ensemble « Besançon-Beure » puisse constituer une aire de pollution homogène. Dans le doute et en l'absence d'informations complémentaires sur la qualité de l'air à Beure, cette commune ne sera pas conservée pour la suite de l'étude.

La commune de Beure ne sera pas retenue dans la zone d'étude du fait de sa topographie.

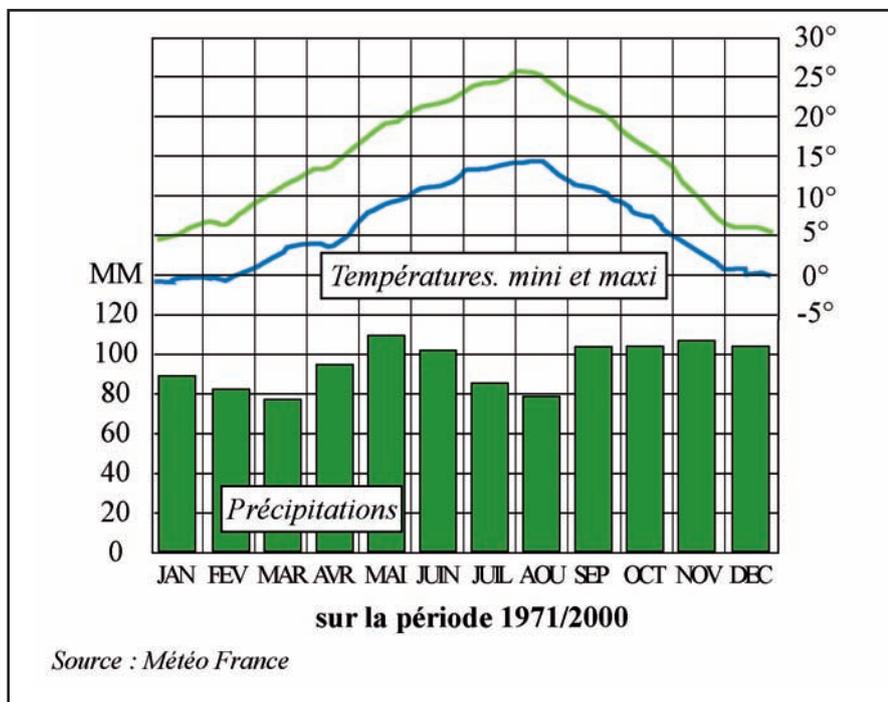
1.1.3 | Le climat

Figure 1 - Rose des vents



La Franche-Comté est une région soumise à deux grandes influences climatiques dont les effets sont accentués ou ponctuellement masqués par le massif du Jura. Le climat est dominé par l'influence océanique, caractérisée par des vents tempérés et humides de secteur sud-ouest (cf. la rose des vents ci-contre). Ainsi, Besançon est une ville relativement bien arrosée, notamment au printemps, où les précipitations atteignent parfois des moyennes s'élevant à 1 100 mm par an. Lors des épisodes venteux de secteur nord-est, l'influence continentale est clairement marquée. L'amplitude thermique est accentuée (plus de 70 jours de gel en hiver, épisodes très chauds en été) et les précipitations plus rares. Les fortes chaleurs anticycloniques de l'été combinées à l'absence de vent favorisent la formation et la concentration d'ozone troposphérique dans la région, alors que les influences océaniques sont plutôt propices à la dispersion des polluants.

Figure 2 - Indicateurs climatiques moyens à Besançon



1.1.4 | Population de la zone d'étude

Tableau 1 - Population des principales communes de l'agglomération bisontine

Commune	Nombre d'habitants	Superficie (km ²)	Densité (hab/km ²)
Avanne	1 904	8,62	220,8
Besançon	117 691	65,05	1 809,9
Beure	1 378	3,99	345,1
Chalezeule	951	3,94	241,6
École-Valentin	2 154	3,22	668,6
Montfaucon	1 372	7,25	189,2
Morre	1 154	5,27	219
Pirey	1 442	6,67	216
Pouilley-les-Vignes	1 801	9,34	192,9
Thisse	3 036	8,93	340

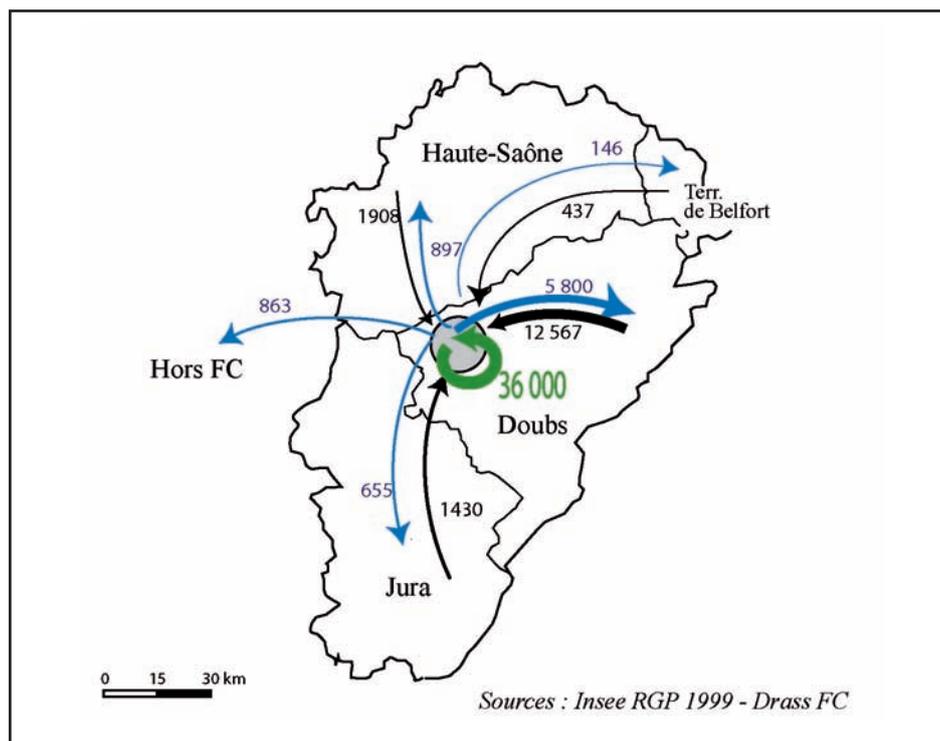
Source : Insee, RGP 1999.

Le tableau ci-dessus confirme l'hétérogénéité de l'unité urbaine de Besançon qui va dans le sens de la restriction de l'aire d'étude à la seule commune de Besançon. En effet, malgré une surface très importante (65 km²) et

la présence de la vaste forêt de Chailluz en son sein, la commune de Besançon atteint une densité de population de 1 809 habitants au km², soit pratiquement le triple d'École-Valentin et environ le quintuple de Beure.

1.1.5 | Déplacements domicile-travail

Carte 4 - Les navettes domicile-travail en 1999 à Besançon



Dans le cadre d'une EIS, il est nécessaire de vérifier que la population habitant la zone d'étude est exposée la majeure partie de son temps à la pollution de cette zone. Les principales activités, notamment l'activité professionnelle, doivent avoir lieu sur la zone de résidence. La carte 4 schématise les migrations alternantes domicile-travail en direction de Besançon (flèches noires) et, depuis cette même ville, vers des bassins d'emplois extérieurs (flèches bleues). La flèche verte représente le nombre d'actifs qui travaillent à Besançon. Le nombre de bisontins qui travaillent dans leur ville de résidence était de 36 000 en 1999, soit près de 70 % de la population active totale. Les migrations extérieures sont largement à l'avantage des déplacements de l'extérieur vers Besançon, traduisant l'attractivité de ce pôle d'emploi.

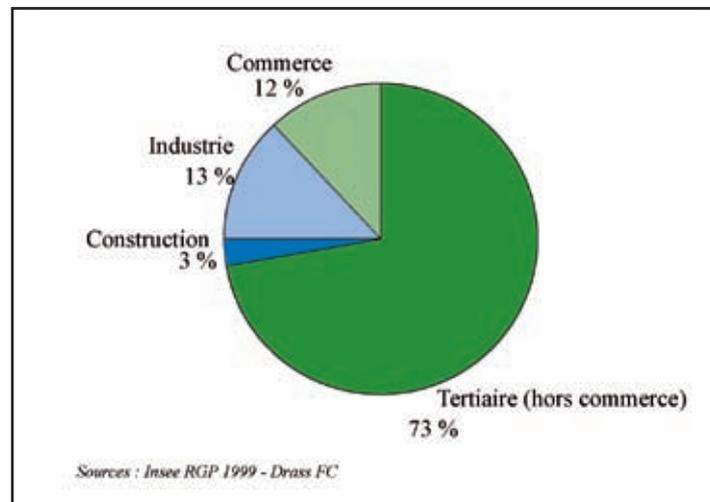
On peut donc considérer que la majorité des habitants de la commune est exposée à la pollution. De plus, l'exposition à la pollution de Besançon dépasse largement les seuls habitants de la ville, du fait du grand nombre d'actifs venant de l'extérieur. Le calcul de l'impact lié à la pollution de l'air sur l'agglomération sera donc sous-estimé car il ne concernera que la population résidant à Besançon.

Compte tenu des critères de continuité urbaine, de densité, d'étalement urbain et de déplacements de population, **la zone d'étude choisie se limite à la seule commune de Besançon**. Celle-ci est suffisamment étendue et homogène pour constituer à elle seule une aire d'étude pertinente.

1.2 | Inventaire des pollutions atmosphériques

1.2.1 | Les émissions industrielles

Figure 3 - Répartition sectorielle de l'activité économique à Besançon



Capitale administrative de la Franche-Comté, Besançon est avant tout un important pôle de services. Malgré la forte industrialisation de la région, le secteur secondaire occupe de moins en moins d'actifs sur la commune.

La tradition horlogère et l'industrie de précision sont des activités peu polluantes pour l'atmosphère au regard de la métallurgie et de l'industrie textile, aujourd'hui disparues.

Les usines soumises à la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) sont donc peu nombreuses. En 2001, seules l'usine d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) et la chaufferie de Planoise étaient soumises à cette taxe. Leur localisation et les volumes émis sont présentés sur la carte 5. La position excentrée

de l'UIOM limite l'impact sur l'agglomération, même si les vents dominants du sud-ouest ont tendance à ramener les émissions sur la ville. Les volumes émis sont peu importants, notamment pour les poussières. Seules les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) atteignent un volume important, supérieur à 250 tonnes par an.

1.2.2 | Le trafic routier

En dépit des progrès techniques réalisés sur les véhicules, l'augmentation permanente du parc automobile favorise l'augmentation des émissions liées au secteur des transports.

En effet, la pollution d'une voiture neuve est aujourd'hui 20 fois plus faible que dans les années 70. Toutefois, dans la même période, le parc automobile français a plus que doublé. A Besançon, les services municipaux

recensaient en 2001 plus de 480 000 déplacements journaliers effectués en voiture dans l'agglomération bisontine. Malgré l'efficacité du réseau de transport en commun de l'agglomération, la domination de l'automobile reste écrasante (près de 81% des trajets sont effectués en automobile).

La pollution d'origine automobile est la principale source de pollution atmosphérique à Besançon.

1.3 | La surveillance de la qualité de l'air

La qualité de l'air de l'agglomération de Besançon fait l'objet de mesures en routine depuis 1985 par l'Asqab, Association de surveillance de la qualité de l'air dans l'agglomération bisontine et le sud Franche-Comté.

Le réseau de mesures est composé de 5 stations fixes. De nombreuses campagnes ponctuelles ont également été réalisées, à l'aide de tubes passifs ou d'un camion laboratoire disponible depuis 1999.

Tableau 2 - Stations fixes du réseau de l'Asqab sur l'agglomération bisontine et nature des polluants mesurés

Station	Type	CO	SO ₂	NO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀	O ₃
Mégevand	Trafic	X	X	X			
Victor Hugo	Trafic					X	
Palente	Urbaine		X	X		X	X
Planoise	Urbaine			X	X	X	X
Chailluz	Périurbaine						X

Source : Asqab.

1.4 | Choix de la période d'étude

Le choix de la période d'étude est déterminé en fonction de la disponibilité des données environnementales et sanitaires.

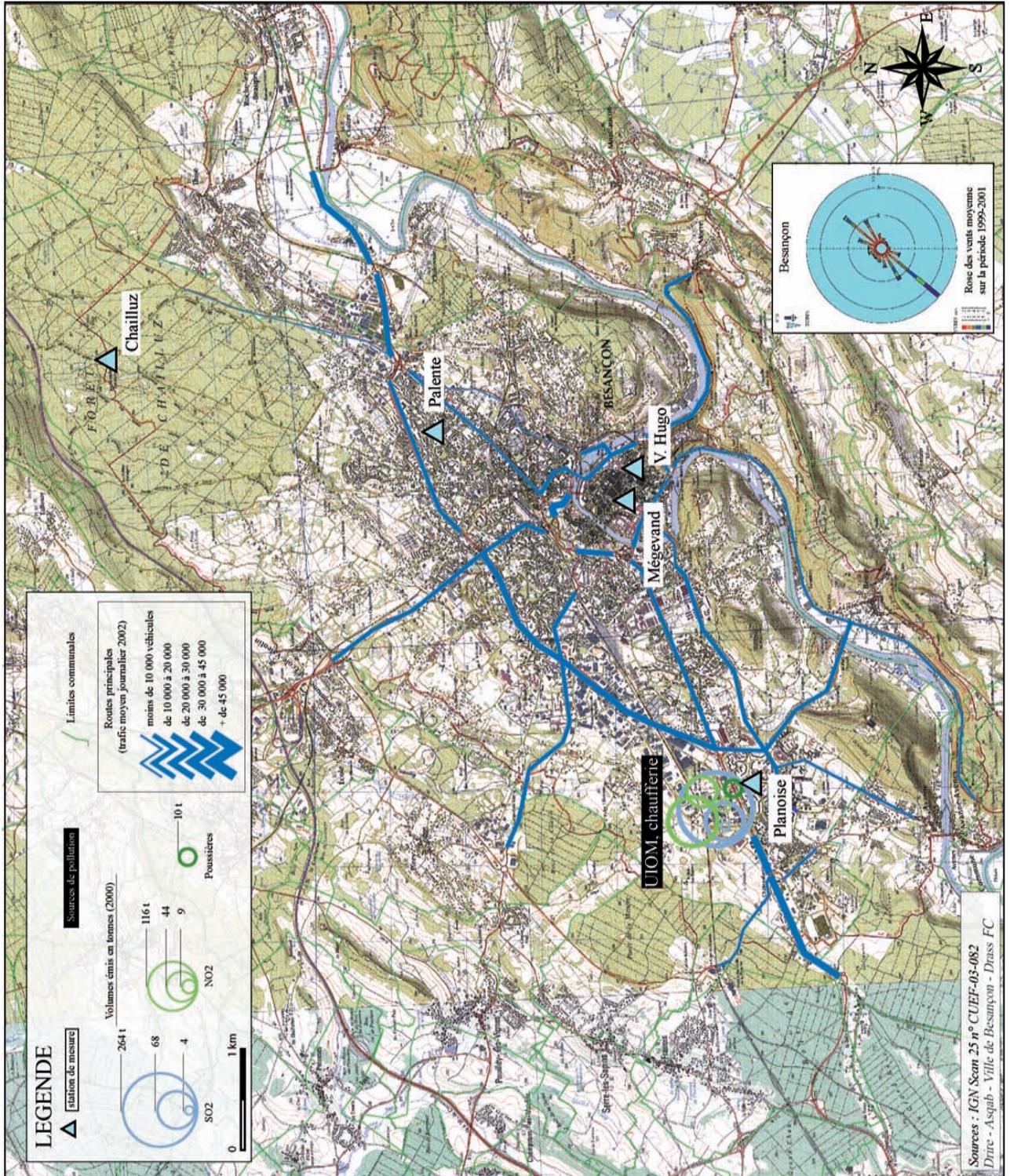
Les risques sanitaires sont liés au mélange des polluants dans l'atmosphère. Il est impossible de déterminer le rôle spécifique de chaque polluant indépendamment des autres. Ainsi, il est souhaitable de travailler sur la même période d'étude pour l'ensemble des polluants. Cette période d'étude devra couvrir au moins une année entière, soit deux saisons tropiques. Naturellement, les indicateurs sanitaires doivent être disponibles pour la même période.

Les données relatives à la qualité de l'air sont enregistrées depuis 1985 par l'Asqab et peuvent être disponibles pour les périodes récentes.

Les données de mortalité, qui nécessitent la validation de l'Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale), ne sont actuellement disponibles que jusqu'en 2001. À Besançon, les données de morbidité hospitalière peuvent être fournies jusqu'en 2003, mais ne sont pas disponibles avant 1999.

Au regard de ces constats, une période commune pendant laquelle toutes les données étaient disponibles a pu être définie. Il s'agit de la période **1999-2001**.

Carte 5 - Réseau de surveillance de la qualité de l'air et principales sources de pollution atmosphérique sur l'agglomération bisontine



2 Matériel et méthodes d'une EIS

Cette étude est réalisée d'après les éléments méthodologiques de l'EIS de la pollution atmosphérique urbaine proposée par l'InVS.

Cette méthodologie se décompose en quatre étapes : identification des dangers, estimation de l'exposition, choix des relations exposition-risque et quantification du risque.

2.1 | Identification des dangers

L'objectif de cette étape est d'établir les dangers liés aux effets conjugués de différents polluants à partir de données toxicologiques et épidémiologiques. À l'échelle d'une agglomération, les polluants mesurés en routine par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air jouent le rôle d'indicateur de la pollution, mais leurs effets ne peuvent être différenciés séparément.

Les indicateurs sanitaires utilisés pour mesurer les effets de la pollution atmosphérique sont la mortalité toutes causes, cardio-vasculaire et respiratoire, ainsi que la morbidité, au travers des admissions pour motifs respiratoires et cardio-vasculaires. Ces indicateurs ont été retenus car ils font l'objet d'un recensement en routine par les Programmes de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) et sont donc relativement faciles à obtenir.

La quantification de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur la mortalité se traduit par un nombre de décès anticipés. Un décès anticipé est un décès qui n'aurait pas eu lieu ce jour là mais quelques semaines ou quelques mois plus tard si le niveau de pollution avait été inférieur à celui mesuré dans l'agglomération.

Les principaux indicateurs listés par la directive européenne portant sur l'évolution et la gestion de la qualité de l'air ambiant du 27 septembre 1996 sont : le dioxyde de soufre (SO₂), le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde de carbone (CO), les particules en suspension (PM₁₀) et les particules fines (PM_{2,5}), les hydrocarbures aromatiques mono et polycycliques, dont le benzène, l'ozone (O₃), les métaux lourds (arsenic,

cadmium, mercure, nickel et plomb). Parmi ceux-ci, 4 polluants mesurés en routine ont été retenus pour la construction des indicateurs d'exposition :

- les PM₁₀ (remplaçant les fumées noires) et le SO₂ pour la pollution acido-particulaire ;
- le NO₂ et l'O₃ pour la pollution photo oxydante.
- Au niveau de la **fonction respiratoire**, l'exposition aux particules fines entraîne une inflammation des cellules bronchiques et des alvéoles pulmonaires, ainsi qu'une augmentation des paramètres sanguins de l'inflammation. Le SO₂, très soluble, possède un effet irritant responsable de bronchospasmes qui peuvent être à l'origine de crises d'asthme. La mutation et la transformation du SO₂ et du NO₂ produisent des aérosols acides, responsables de la diminution du calibre des bronches. L'O₃ est également à l'origine d'une hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques, tout comme les polluants émis par la circulation automobile.
- Au niveau **cardio-vasculaire**, l'exposition aux particules peut entraîner une augmentation de la viscosité plasmatique et des plaquettes, une diminution de la saturation en oxygène sanguin et une mauvaise adaptation du rythme cardiaque. L'association avec d'autres polluants, notamment le NO₂, est à l'origine de troubles cardiaques.

2.2 | Choix des relations exposition-risque

Les relations exposition-risque ont été définies par l'InVS sur la base des études épidémiologiques s'intéressant au lien entre la pollution de l'air et la santé humaine au sein de populations comparables (les études sur les populations européennes sont privilégiées).

• Effets à court terme

Les relations exposition-risque retenues par l'InVS sont issues des recherches entreprises au niveau européen dans le cadre du programme APHEA 2 (Air Pollution and Health – a European Approach phase 2) et au niveau national suite aux résultats du programme Psas-9 (Programme de surveillance air et santé dans 9 grandes villes françaises).

Mortalité toutes causes, cardio-vasculaire et respiratoire

Tableau 3 - Risques relatifs de mortalité et intervalles de confiance à 95 % estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m³ des indicateurs de pollution

Mortalité	SO ₂	NO ₂	O ₃	PM ₁₀
Toutes causes (Psas-9)	1,011 [1,005-1,017]	1,010 [1,007-1,013]	1,007 [1,003-1,010]	...
Toutes causes (APHEA 2)	...	...	...	1,006 [1,004-1,008]
Cardio-vasculaire (Psas-9)	1,008 [1,004-1,011]	1,012 [1,005-1,018]	1,011 [1,004-1,018]	...
Respiratoire (Psas-9)	1,011 [1,001-1,021]	1,013 [1,005-1,021]	1,012 [1,006-1,019]	...

Source : InVS, 2003.

Admissions hospitalières

Tableau 4 - Risques relatifs et intervalles de confiance à 95 % d'admissions hospitalières estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux des polluants

Admissions hospitalières	SO ₂	NO ₂	O ₃ été	PM ₁₀
Pathologies respiratoires				
Chez les 15-64 ans	1,002 ^a [0,998-1,005]	1,002 ^a [0,997-1,007]	1,004 ^a [0,998-1,010]	...
Chez les 65 ans et plus	1,004^a [1,001-1,009]	1,004^a [0,996-1,012]	1,008^a [1,004-1,014]	1,009^b [1,006-1,013]
Pathologies cardio-vasculaires^c				
Pour tous les âges	hiver : 1,013 [1,006-1,020]	hiver : 1,010 [1,006-1,041] été : 1,012 [1,007-1,017]	...	...
Pathologies cardiaques^b				
Pour tous les âges	...	...	...	1,005 [1,002-1,018]
Chez les 65 ans et plus	...	...	...	1,007 [1,004-1,010]

Source : InVS, 2003 ; ^aAPHEA 1 ; ^bAPHEA 2 ; ^cPsas-9.

• Effets à long terme

Pour l'EIS à long terme, une seule fonction exposition-risque définie pour les PM est utilisée. Elle est issue des travaux de Nino Kuenzli, qui a utilisé dans trois pays européens (Suisse, France et Autriche) des risques relatifs (RR) établis sur des populations américaines.

Tableau 5 - Risque relatif et intervalle de confiance à 95 % estimés pour une augmentation de 10 µg/m³ des PM₁₀

Mortalité	PM ₁₀
Toutes causes	1,043 [1,026-1,061]

Source : InVS, 2003.

2.3 | Construction des indicateurs d'exposition

2.3.1 | Indicateurs de pollution

Pour chaque polluant, l'indicateur de pollution est construit en respectant les critères suivants :

- les niveaux des indicateurs de pollution des stations étudiées doivent être proches et refléter les mêmes phénomènes de pollution ;
- les niveaux journaliers des indicateurs de pollution doivent être bien corrélés dans le temps entre les différentes stations (coefficient de corrélation > 0,6) ;
- une station donnée doit pouvoir être qualifiée, du point de vue de son environnement, comme représentative de l'exposition de la population.

Pour les effets à court terme, les indicateurs d'exposition ont été construits en calculant la moyenne arithmétique des valeurs journalières des capteurs sélectionnés.

Pour les effets à long terme, les données sont moyennées sur un an.

À Besançon, toutes les stations sont bien corrélées, soulignant l'absence de sources ponctuelles de pollution majeure (voir le détail des statistiques en annexe).

Tableau 6 - Description des données environnementales (valeurs données en µg/m³)

	1999-2001						
	Moyenne annuelle	Moyenne été	Moyenne hiver	Médiane	Valeur mini	Valeur maxi	Coeff. de corrélation
NO₂							
Palente	35	29	38	34	2	92	<i>Voir page suivante</i>
Planoise	27	22	31	25	9	97	
Mégevand	48	44	52	47	1	140	
O₃							
Palente		82		79	26	180	<i>Voir page suivante</i>
Planoise		86		84	9	180	
Chailluz		89		87	24	180	
SO₂							
Mégevand	6	4	7	4	0	51	0,6
Palente	8	7	8	5	0	61	
PM₁₀							
Palente	21	19	22	19	2	81	0,89
V. Hugo	21	20	21	19	4	69	

Source : Asqab.

Coeff. de corrélation concernant le NO₂

Corrélations	Palente	Planoise	Mégevand
Palente	1	0,62	0,78
Planoise	0,62	1	0,8
Mégevand	0,78	0,8	1

La distinction entre les saisons souligne la plus grande teneur en polluants de l'atmosphère en hiver. Selon les responsables du réseau de surveillance de l'air, différents facteurs expliquent ces observations :

- des facteurs climatiques qui empêchent la dispersion des polluants. En effet, en hiver l'atmosphère est plus stable. Les gradients de températures sont faibles, les vents peu soutenus et les inversions de températures fréquentes ;
- la multiplication des sources d'émission, en particulier à cause du chauffage urbain ;
- les surémissions liées au trafic. L'hiver, les petits trajets urbains ne permettent pas aux véhicules de chauffer. Un moteur froid consomme plus et les pots catalytiques ne sont pas efficaces.

SO₂

Entre les stations **Palente** et **Mégevand**, le coefficient de corrélation atteint juste 0,6, soit la limite minimale recommandée par l'InVS. Cependant, les niveaux atteints sont relativement bas confirmant le caractère peu industriel de l'agglomération bisontine. Le différentiel saisonnier (voir détail des séries en annexe) tend à attribuer une part importante des émissions de SO₂ au chauffage urbain.

Palente et **Mégevand** seront donc retenues pour la construction de l'indicateur SO₂.

NO₂

Les corrélations sont satisfaisantes pour ce polluant. Toutefois, la station **Mégevand**, située dans une rue canyon, est fortement marquée par l'influence du trafic (moyenne de 47 µg/m³ contre 36 µg/m³ pour **Palente** et 27 µg/m³ pour **Planoise**). Pour le calcul de l'indicateur du NO₂, gaz principalement émis par la circulation automobile, nous avons choisi de ne pas garder cette station. La station **Palente** est également soumise aux influences « trafic » du boulevard Léon Blum.

Coeff. de corrélation concernant l'O₃

Corrélations	Palente	Planoise	Chailluz
Palente	1	0,73	0,87
Planoise	0,73	1	0,66
Chailluz	0,87	0,66	1

Cependant, deux campagnes camion (janvier et novembre 2002) ont permis de confirmer la bonne représentativité de la station à l'échelle du quartier de **Palente**. **Palente** et **Planoise** seront donc retenues pour le calcul de l'indicateur d'exposition NO₂.

O₃

La station de **Chailluz** ne répond pas au critère de continuité urbaine mais l'O₃ se répartit de façon homogène sur de vastes surfaces. Les corrélations entre les stations de **Planoise**, **Palente** et **Chailluz** sont bonnes (entre 0,66 et 0,87). Il est donc possible de garder ces trois stations pour la construction de l'indicateur O₃.

PM₁₀

Trois stations du réseau de surveillance bisontin mesurent les teneurs en PM₁₀ : **Victor Hugo**, **Palente** et **Planoise**. La station **Victor Hugo**, classée « trafic », est sous l'influence directe du trafic automobile bien que celui-ci soit peu intense au cœur de la vieille ville. Pourtant, les teneurs enregistrées par cette station sont très proches de celles de **Palente** et la corrélation entre ces deux stations est excellente. L'impact sanitaire calculé à partir des PM₁₀ serait donc quasiment identique avec ou sans la station **Victor Hugo**. Dans le doute quant à la représentativité de la station **Victor Hugo**, elle ne sera pas retenue pour le calcul de l'indicateur d'exposition.

Le capteur PM₁₀ de la station **Planoise** a été mis en service en 2001. Sur la période d'étude (1999-2001), seules les données de la station **Palente** sont utilisables. Parfois, les valeurs enregistrées à **Palente** témoignent de l'influence du trafic, en raison du boulevard Léon Blum situé à quelques dizaines de mètres. Toutefois, au regard des teneurs en PM₁₀ mesurées par ces trois stations au cours de la période 2002-2004, les mesures enregistrées par la station **Palente** permettent de conclure à la représentativité des teneurs en PM₁₀ de l'agglomération (bonne corrélation, niveaux moyens similaires).

2.3.2 | Indicateurs sanitaires

Données de mortalité

Les données de mortalité ont été obtenues auprès de l'Inserm, par l'intermédiaire de l'Observatoire régional de la santé (ORS) de Franche-Comté. L'étude concerne la mortalité toutes causes, respiratoire et cardio-vasculaire pour les individus domiciliés dans la zone d'étude.

Données de morbidité

Les données relatives à la morbidité hospitalière ont été obtenues à partir de la cellule du PMSI, auprès de la Caisse régionale d'assurance maladie de Bourgogne Franche-Comté. Elles correspondent aux admissions dans les établissements de court séjour, pour un séjour de plus de 24 heures en provenance du domicile et se déclinent en trois catégories : admissions pour causes respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques.

2.4 | Caractérisation du risque

Le nombre d'événements sanitaires attribuables à un niveau de pollution donné est calculé à partir du RR et du nombre moyen d'événements sanitaires au cours de la période étudiée.

L'estimation de l'impact sanitaire est déterminée selon la formule suivante :

$$PA = f (RR - 1) / 1 + f (RR - 1)$$

où :

- PA = proportion d'événements sanitaires attribuables au niveau de pollution considéré ;
- RR = risque relatif associé au niveau de pollution et fourni par la courbe dose-réponse ;
- f = fraction de la population exposée.

Dans le cas de la pollution atmosphérique urbaine, toute la population peut être considérée comme étant exposée (en moyenne) au niveau de pollution considéré (f est donc égal à 1). On obtient donc la formule simplifiée :

$$NA = (RR - 1) / RR \times N$$

où :

- NA = nombre de cas attribuables pour la période considérée ;
- N = nombre moyen d'événements sanitaires au cours de la période donnée.

Toutefois, pour ces deux formules, le nombre de cas attribuables est calculé en référence à un niveau de pollution atmosphérique nul, pour lequel le RR associé est égal à 1. En milieu urbain, la pollution n'étant jamais nulle, on calcule l'impact de la pollution atmosphérique selon un différentiel de pollution donné.

La formule utilisée est donc la suivante :

$$NA = [(RR_{\Delta} - 1) / RR_{\Delta}] \times N$$

où :

- RR = RR_Δ, où RR_Δ est l'excès de risque associé au différentiel de pollution Δ étudié, donné par la relation exposition-risque.

Ce calcul s'applique pour chacun des indicateurs d'exposition caractérisant la pollution urbaine. Cependant, les RR associés à chaque indicateur de pollution (SO₂, O₃, NO₂, PM₁₀) ne sont pas indépendants. Les nombres d'événements sanitaires attribuables à chacun de ces indicateurs ne sont donc pas cumulables. L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique est donc estimé comme étant au minimum égal au plus grand nombre d'événements attribuables à l'un des indicateurs étudiés.

3 Résultats

3.1 | Description des indicateurs de pollution

À partir des données du réseau de surveillance de la qualité de l'air pour chacune des stations, nous obtenons le tableau suivant :

Tableau 7 - Description des indicateurs de pollution à Besançon (1999-2001)

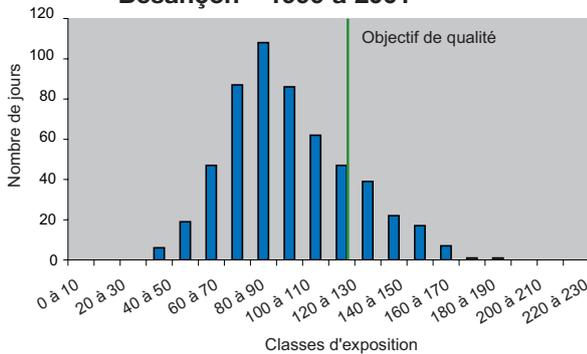
	O ₃ étés	NO ₂ période	NO ₂ étés	NO ₂ hivers	SO ₂ période	SO ₂ étés	SO ₂ hivers	PM ₁₀ période	PM étés	PM hivers
Nb de jours	549	1 096	549	547	1 088	543	545	1 092	545	547
Minimum	36	3	6	3	0	0	0	3	4	3
Percentile 5	52	12	11	14	1	1	2	8	9	7
Percentile 25	67	22	19	27	3	2	4	13	14	13
Médiane	81	31	27	36	5	4	6	20	19	21
Percentile 75	99	40	34	47	9	7	11	28	26	31
Percentile 95	127	58	41	64	19	13	22	43	33	49
Maximum	165	93	59	93	49	34	49	81	47	81
Moy. journalière	84	32	27	37	7	5	8	22	20	23
Ecart-type	23,6	13,9	9,6	15,4	6,2	4,3	7,4	11,2	8,1	13,4
% niveaux journ. > aux objectifs de qualité	18	32	9	40	0	0	0	26	10	24
% valeurs manquantes	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1

Source : Asqab.

Pour information, les objectifs de qualité fixés par la réglementation sont les suivants (décret 2002-213 du 15 février 2003) :

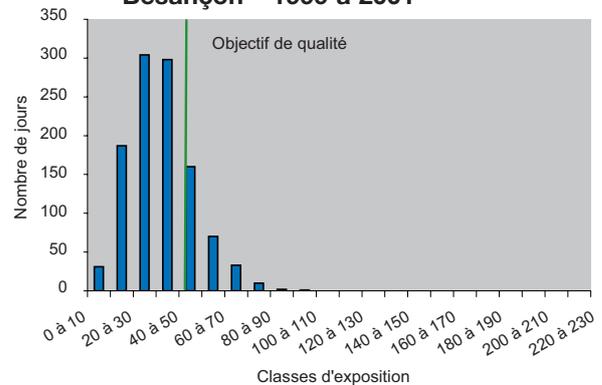
- indicateur O₃ : 110 µg/m³ sur 8 heures ;
- indicateur NO₂ : 40 µg/m³ en moyenne annuelle ;
- indicateur PM₁₀ : 30 µg/m³ en moyenne annuelle ;
- indicateur SO₂ : 50 µg/m³ en moyenne annuelle.

Figure 4 - Distribution par classes de l'indicateur d'exposition O₃ (en µg/m³) Besançon - 1999 à 2001



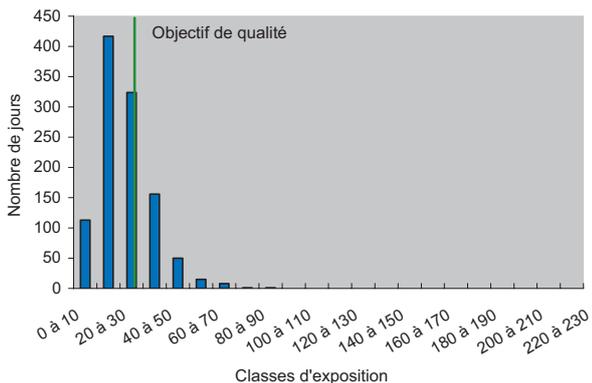
Pour l'O₃, l'objectif de qualité (110 µg/m³) est respecté pendant 80 % de la période.

Figure 5 - Distribution par classes de l'indicateur d'exposition NO₂ (en µg/m³) Besançon - 1999 à 2001



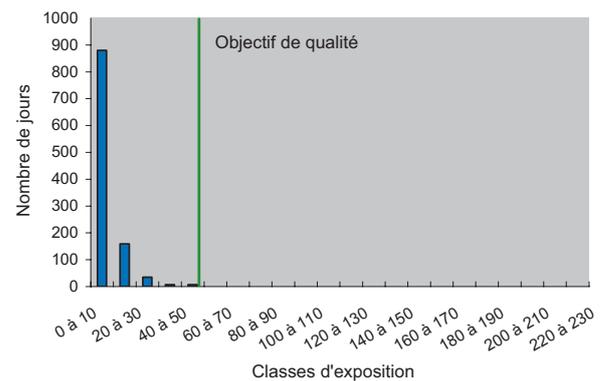
Pour le NO₂, l'objectif de qualité (40 µg/m³) est respecté pendant presque 70 % de la période.

Figure 6 - Distribution par classes de l'indicateur d'exposition PM₁₀ (en µg/m³) Besançon - 1999 à 2001



Pour les PM₁₀, l'objectif de qualité (30 µg/m³) est respecté pendant 75 % de la période.

Figure 7 - Distribution par classes de l'indicateur d'exposition SO₂ (en µg/m³) Besançon - 1999 à 2001



Les niveaux journaliers de l'indicateur d'exposition au SO₂ sont tous inférieurs à la valeur de référence (50 µg/m³) et sont si faibles que cet indicateur ne sera pas pris en compte dans les calculs d'impact sanitaire.

3.2 | Description des indicateurs sanitaires

Mortalité

Les effectifs de mortalité toutes causes (hors violentes et accidentelles), cardio-vasculaire et respiratoire sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 - Nombre total de décès sur la période d'étude et moyennes journalières arrondies à Besançon

Période 1999-2001	Nombre total de décès			Moyenne journalière		
	Étés	Hivers	Période	Étés	Hivers	Période
Mortalité toutes causes	996	1 220	2 216	1,81	2,23	2,02
Mortalité respiratoire	72	109	181	0,13	0,20	0,17
Mortalité cardio-vasculaire	286	386	672	0,52	0,71	0,61

Morbidité

Tableau 9 - Nombre d'admissions hospitalières à Besançon (1999-2001)

	Motifs respiratoires		Motifs cardio-vasculaires	Motifs cardiaques	
	15-64 ans	> 65 ans	Tous âges	Tous âges	> 65 ans
Période 1999-2001	1 127	974	4 713	2 281	1 648
Étés	525	413	2 008	1 025	743
Hivers	602	561	2 705	1 256	905

3.3 | Impact de la pollution à court terme

Sur l'ensemble des trois années de la période d'étude, l'impact sanitaire est calculé pour chaque indicateur de pollution par rapport à une exposition à un faible niveau de pollution.

Les impacts estimés par indicateur de pollution ne sont pas additifs ; les polluants se combinent et interagissent, et l'effet d'un polluant peut varier selon le niveau des autres. L'impact sanitaire retenu est au moins égal à celui

du plus grand nombre de cas attribuables associé à un indicateur de pollution donné. Pour plus de clarté, seuls les indicateurs d'exposition qui ont l'impact sanitaire le plus important sont présentés ici.

Tous les résultats sont présentés par leur estimation centrale, l'intervalle de confiance à 95 % étant mis entre crochets.

3.3.1 | Impact sanitaire total

Les niveaux de référence choisis pour cette estimation globale correspondent à des niveaux faibles de pollution, en général inférieurs au percentile 5 des valeurs observées pour chaque polluant. Ces niveaux sont fixés à 40 µg/m³ pour l'O₃ et 10 µg/m³ pour le SO₂, le NO₂ et les PM₁₀.

Sur la mortalité anticipée

L'indicateur d'exposition NO₂ est celui qui a le plus d'impact sur la mortalité anticipée, devant l'O₃ (présenté en annexe).

Tableau 10 - Nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique (indicateur NO₂) à Besançon (1999-2001)

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre annuel de décès attribuables	Nombre de décès attribuables sur la période
Mortalité toutes causes	16 [11-21]	49 [34-63]
Mortalité respiratoire	2 [1-3]	5 [2-8]
Mortalité cardio-vasculaire	6 [2-9]	18 [7-27]

Sur la période allant de 1999 à 2001, on estime à 16 le nombre de décès annuels anticipés toutes causes attribuables à la pollution atmosphérique, dont 2 pour motifs respiratoires et 6 pour motifs cardio-vasculaires.

Sur la morbidité hospitalière

Pour les admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires, le calcul est effectué sur l'ensemble de la population tous âges confondus.

Pour les admissions pour motifs respiratoires, le calcul est effectué pour deux tranches d'âge : 15-64 ans et 65 ans et plus. Enfin, pour les admissions pour motifs cardiaques, le calcul est effectué pour l'ensemble de la population et ensuite différencié pour la tranche d'âge des 65 ans et plus.

Dans les tableaux, n'apparaissent que les résultats les plus élevés, déterminés par les polluants qui ont l'impact le plus important sur la santé.

Tableau 11 - Nombre d'hospitalisations attribuables à la pollution atmosphérique à Besançon (1999-2001)

	Polluant	Saison	Âge	Nombre annuel de cas attribuables	Nombre de cas attribuables sur la période
Morbidité respiratoire	O ₃	été	15-64	3 [-2-8]	9 [-5-24]
	O ₃	été	> 65	5 [2-9]	14 [7-26]
Morbidité cardiaque	PM ₁₀	été hiver	tous âges	5 [2-7]	14 [6-22]
	PM ₁₀	été hiver	> 65	5 [3-7]	14 [8-20]
Morbidité cardio-vasculaire	NO ₂	hiver	tous âges	25 [15-35]	74 [44-104]
	NO ₂	été	tous âges	13 [8-19]	40 [23-57]

La pollution atmosphérique est responsable annuellement de 38 (25 + 13) admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires, 5 pour motifs cardiaques et 8 pour motifs respiratoires.

Pour les admissions pour motifs respiratoires, l'impact sanitaire est estimé à 14 cas [7-26] chez les personnes

âgées de plus de 65 ans (indicateur O₃) sur la période d'étude. Pour ces dernières, l'impact sanitaire est beaucoup plus important que celui observé chez les 15-64 ans (14 cas contre 9 cas). Ces résultats s'expliquent par le fait que le RR est beaucoup plus important chez les personnes âgées.

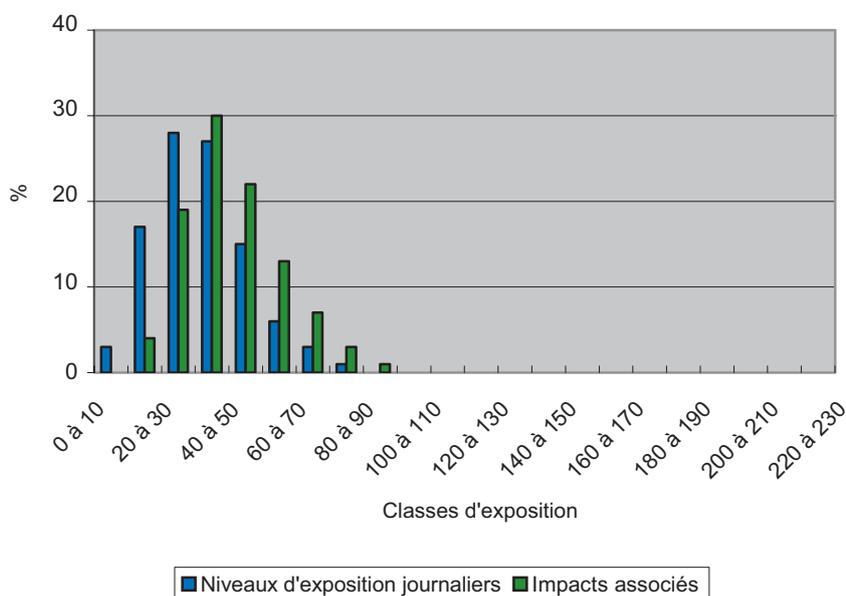
3.3.2 | Impact sanitaire par niveaux de pollution

La répartition de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique peut être représentée sous forme graphique.

Pour tous les polluants, les pics de pollution ont un impact sanitaire journalier plus important. Toutefois, leur rare

fréquence en limite les effets sanitaires sur l'ensemble de la période, au regard des niveaux « moyens » de pollution dont l'influence est forte. Ce constat apparaît très nettement sur les graphiques suivants.

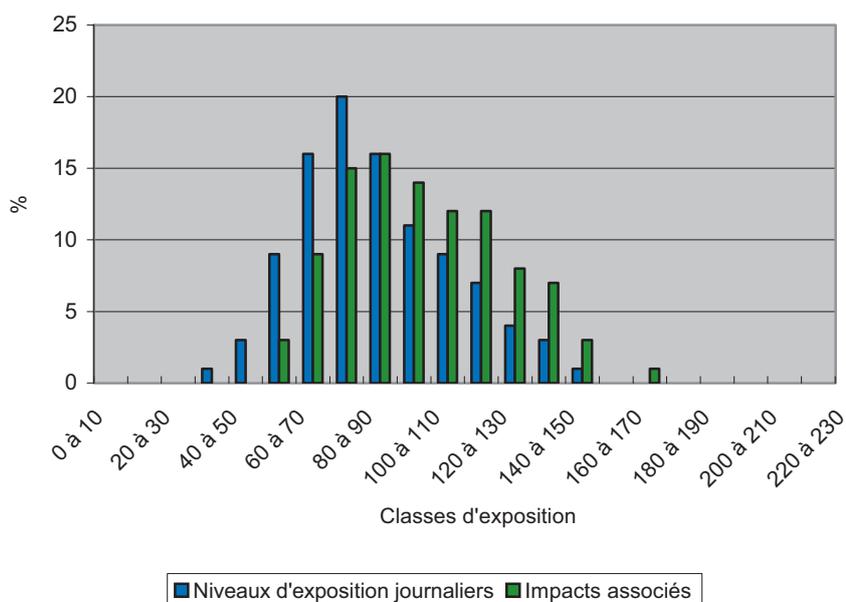
Figure 8 - Répartition en pourcentage des niveaux d'exposition journaliers au NO₂ et des décès toutes causes associés en fonction des classes d'exposition (en µg/m³) à Besançon (1999-2001)



Seulement 5 % des teneurs de NO₂ enregistrées se situent au-dessus de 60 µg/m³. Toutefois, l'impact sanitaire associé à de tels niveaux atteint 12 %.

On constate que 75 % des valeurs du polluant sont inférieures à 40 µg/m³ et associées à 53 % de l'impact sanitaire.

Figure 9 - Répartition en pourcentage des niveaux d'exposition à l'O₃ et des admissions pour motifs respiratoires associés, chez les plus de 65 ans, en fonction des classes d'exposition (en µg/m³) à Besançon (1999-2001)



3.3.3 | Gains sanitaires liés à une diminution de la pollution atmosphérique

Les gains sanitaires sont calculés pour deux scénarios différents :

Scénario 1 : gain sanitaire potentiellement lié à la diminution des niveaux dépassant les objectifs de qualité pour chaque polluant :

- indicateur O₃ : le niveau de comparaison choisi est de 110 µg/m³ sur 8 heures ;
- indicateur NO₂ : le niveau de comparaison choisi est de 40 µg/m³ en moyenne annuelle ;
- indicateur PM₁₀ : le niveau de comparaison choisi est de 30 µg/m³ en moyenne annuelle.

Scénario 2 : gain sanitaire potentiellement lié à la diminution de 25 % de la moyenne annuelle pour chaque polluant.

Gains sanitaires pour la mortalité anticipée

Les calculs réalisés avec les différents polluants montrent qu'en termes de mortalité toutes causes, respiratoire et cardio-vasculaire, c'est le NO₂ qui a l'impact le plus important. Seul l'impact sanitaire attribuable à ce polluant est donc présenté ici, sachant que le NO₂ est considéré comme un indicateur du mélange complexe composant l'atmosphère.

Tableau 12 - Nombre de décès évitables suivant les scénarios de la réduction de la pollution au NO₂ à Besançon (1999-2001)

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre annuel de décès évitables	Nombre de décès évitables sur la période
Mortalité toutes causes		
Scénario 1	2 [1-3]	6 [4-8]
Scénario 2	6 [4-8]	17 [12-22]
Mortalité respiratoire		
Scénario 1	0 [0-0]	1 [0-1]
Scénario 2	1 [0-1]	2 [1-3]
Mortalité cardio-vasculaire		
Scénario 1	1 [0-1]	2 [1-3]
Scénario 2	2 [1-3]	6 [3-9]

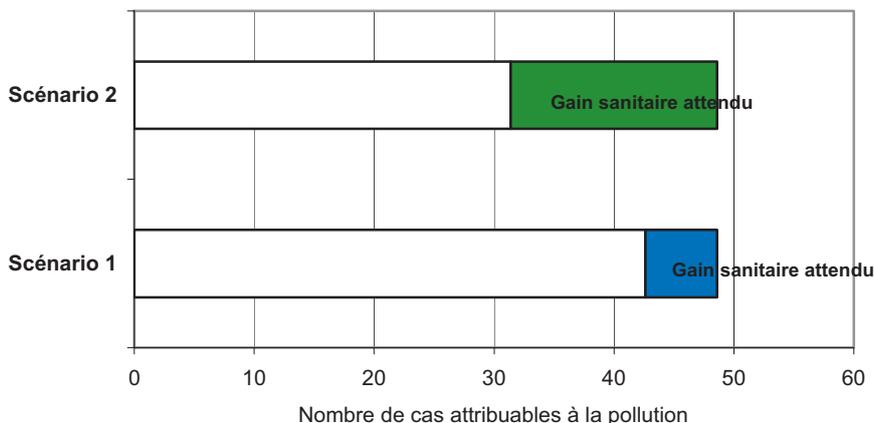
Pour les trois causes de mortalité observées, le gain sanitaire potentiellement obtenu par le scénario 2 est toujours supérieur au gain du scénario 1.

Sur les trois années de la période d'étude retenue, l'application du scénario 2 à la pollution au NO₂ montre un gain sanitaire sur la mortalité toutes causes de l'ordre de 17 cas [12-22], contre seulement 6 cas [4-8] en application du scénario 1.

De même, pour les mortalités respiratoire et cardio-vasculaire anticipées, le nombre de décès potentiellement évitables obtenu avec le premier scénario est de 1 et 2 cas, contre respectivement 2 et 6 cas dans le cas du second scénario, sur l'ensemble de la période.

La figure 10 illustre le gain sanitaire obtenu par la mise en place de ces deux scénarios, avec un gain plus important pour le scénario 2.

Figure 10 - Gains sanitaires attendus concernant la mortalité toutes causes anticipées à Besançon (1999-2001)



Gains sanitaires sur la morbidité

Dans le cas des admissions hospitalières, les gains sanitaires observés sont à nouveau plus importants lorsque l'on applique le scénario 2.

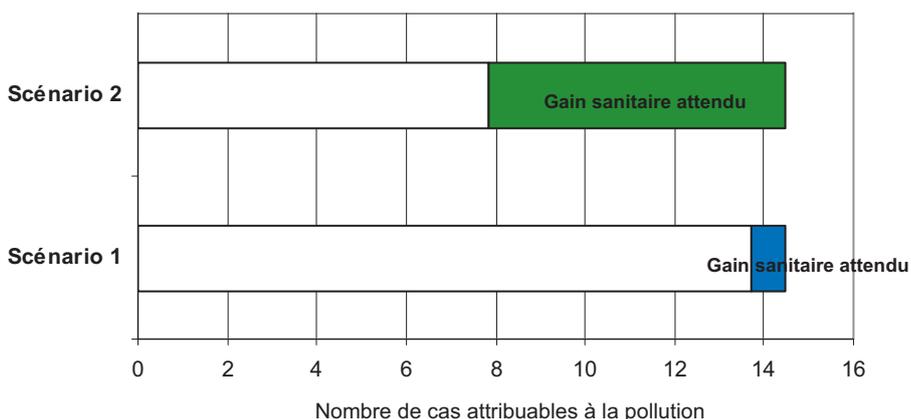
Les résultats suivants sont donnés pour les polluants ayant le plus fort impact sanitaire (figures 11, 12, 13).

Tableau 13 - Nombre d'admissions hospitalières évitables suivant les scénarios de réduction de la pollution urbaine à Besançon (1999-2001)

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre annuel de cas évitables	Nombre de cas évitables sur la période 1999-2001
Morbidité respiratoire (O₃)		
65 ans et plus	- Scénario 1 0 [0-1]	1 [0-1]
	- Scénario 2 2 [1-4]	7 [3-12]
Morbidité cardio-vasculaire (NO₂ hiver)		
	- Scénario 1 5 [3-6]	14 [8-19]
	- Scénario 2 8 [5-11]	24 [15-34]
Morbidité cardiaque (PM₁₀)		
Tous âges	- Scénario 1 1 [0-2]	2 [1-3]
	- Scénario 2 2 [1-3]	6 [2-10]
65 ans et plus	- Scénario 1 1 [0-1]	2 [1-3]
	- Scénario 2 2 [1-3]	6 [3-9]

Ces résultats sont illustrés par les graphiques suivants (figures 11, 12 et 13).

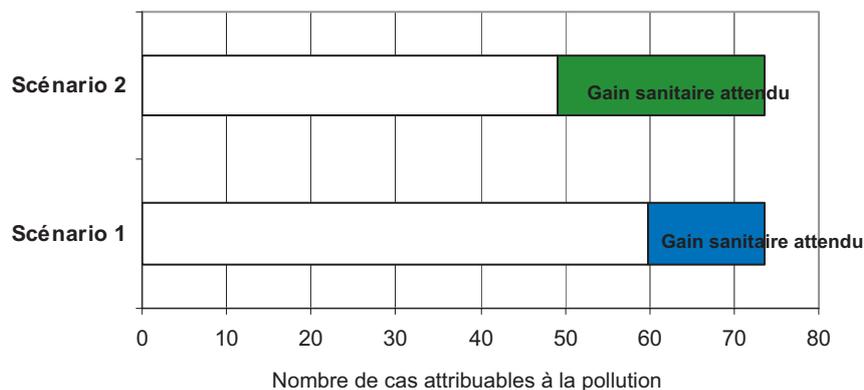
Figure 11 - Gains sanitaires attendus concernant la morbidité respiratoire chez les sujets de 65 ans et plus à Besançon (1999-2001)



L'application du scénario 2 (diminution de 25 % de la moyenne annuelle) est beaucoup plus efficace que la réduction des pics de pollution envisagée dans

le premier scénario. Le second scénario permet un gain sanitaire de 7 cas, contre seulement 1 avec le premier scénario.

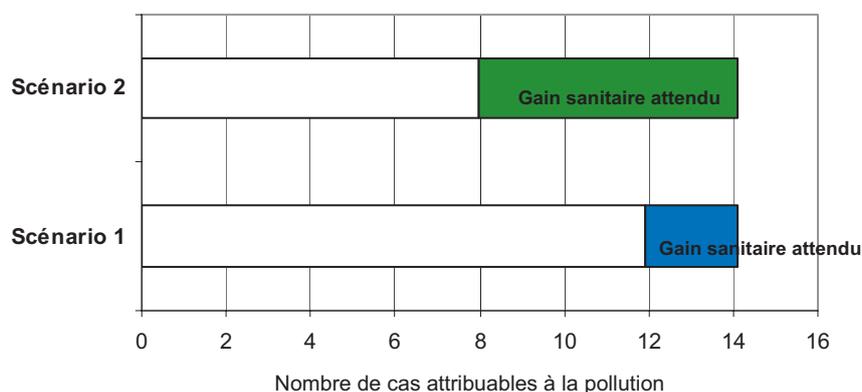
Figure 12 - Gains sanitaires attendus sur l'hiver concernant la morbidité cardio-vasculaire à Besançon (1999-2001)



Dans le cas de la morbidité cardio-vasculaire, les deux scénarios s'avèrent efficaces. Une nouvelle fois, la réduction des niveaux moyens de pollution donne des résultats beaucoup plus significatifs (24 cas évitables

sur les 74 admissions imputables à la pollution sur les périodes hivernales), avec un gain sanitaire quasiment deux fois plus important que le premier scénario (14 cas évitables).

Figure 13 - Gains sanitaires attendus concernant la morbidité cardiaque chez les plus de 65 ans à Besançon (1999-2001)



Le scénario 2 est encore le plus efficace avec un gain sanitaire attendu s'élevant à 6 cas, soit trois fois plus que le gain du scénario 1.

3.4 | Impact de la pollution à long terme

Les données de mortalité toutes causes obtenues pour les PM₁₀ peuvent être utilisées pour estimer l'impact à long terme de la pollution atmosphérique.

Les niveaux de référence choisis pour les différents scénarios de l'impact sanitaire à long terme sont les suivants :

- **Scénario 1** : diminution de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 40 µg/m³, valeur limite européenne pour la protection de la santé prévue en 2005 ;

- **Scénario 2** : diminution de la moyenne annuelle au niveau de la norme annuelle prévue en 2010 (20 µg/m³) ;
- **Scénario 3** : diminution de la moyenne annuelle de 5 µg/m³ ;
- **Scénario 4** : diminution de la moyenne annuelle de 25 %.

Tableau 14 - Décès toutes causes attribuables à la pollution atmosphérique pour chacun des scénarios de l'impact sanitaire à long terme à Besançon (1999-2001)

	Gains sanitaires annuels	Gains sanitaires sur la période
Scénario 1	0	0
Scénario 2	5,1 [3,1-7,1]	15,2 [9,2-21,4]
Scénario 3	15,2 [9,3-21,5]	45,7 [27,8-64,6]
Scénario 4	15,7 [9,6-22,2]	47,2 [28,7-66,7]

Les résultats de l'application du scénario 1 sont nuls puisque les niveaux en PM₁₀ enregistrés à Besançon sont déjà inférieurs au seuil de la norme européenne 2005 (la moyenne journalière est de 22 µg/m³ sur notre période d'étude).

Pour les mêmes raisons, le scénario 2 apparaît peu efficace (gain sanitaire de 5 décès par an) alors que les scénarios 3 et 4, beaucoup plus ambitieux, permettent un bénéfice sanitaire de 15 à 16 décès par an.

4.1 | Hypothèses, limites et incertitudes

Les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique font l'objet de nombreuses études depuis les dernières décennies. Les EIS représentent, à ce titre, un progrès certain dans l'estimation des effets néfastes de la pollution locale et permettent pour la première fois de quantifier les gains sanitaires liés à différents scénarios de réduction des émissions.

Toutefois, il est nécessaire de rappeler ici les hypothèses, les limites et les incertitudes inhérentes à chacune des étapes de l'EIS, afin d'entreprendre l'interprétation des résultats avec prudence et recul.

4.1.1 | Identification des dangers

Les EIS ont tendance à sous-estimer l'impact sanitaire global de la pollution atmosphérique en raison de différents aspects méthodologiques et pratiques :

- dans le cas de la morbidité cardiaque, cardio-vasculaire et respiratoire, seuls les effets ayant nécessité une hospitalisation sont pris en compte. Seuls les cas les plus graves sont retenus alors que les pathologies bénignes, qui représentent une part importante de la morbidité, ne sont pas intégrées à l'EIS ;

- les quatre polluants retenus pour estimer l'exposition représentent une faible part des polluants présents dans l'atmosphère, dont les effets des multiples transformations et combinaisons restent mal connus ;
- la qualité de l'air intérieur n'est pas prise en compte.

4.1.2 | Relations exposition-risque

La reproductibilité des fonctions exposition-risque est fonction des caractéristiques communes, notamment en termes de taille de la population, de ville, entre l'agglomération sur laquelle on réalise l'étude et les autres agglomérations sur lesquelles se sont basées les études épidémiologiques qui ont servi à construire ces fonctions. Même si les RR établis dans le cadre du programme Psas-9 peuvent être applicables à d'autres villes françaises et européennes, Besançon apparaît beaucoup plus petite que toutes les villes retenues pour le programme (le Havre, la plus petite ville du programme Psas-9, comptait 254 000 habitants en 1999 contre

120 000 pour Besançon). On peut donc s'interroger sur la possibilité de transposer des fonctions dose-réponse à des villes beaucoup plus petites soumises à une pollution atmosphérique différente.

Pour la mortalité toutes causes à long terme, les incertitudes liées à l'utilisation de fonctions exposition-risque sont plus importantes, celles-ci étant construites à partir d'études américaines. Les différences entre les populations étudiées sont donc potentiellement plus importantes.

4.1.3 | Estimation de l'exposition

La réalisation d'une EIS repose sur une hypothèse de base essentielle selon laquelle la population doit être exposée à un niveau moyen de pollution homogène sur la zone d'étude.

Les incertitudes concernant le choix d'une aire d'étude homogène en termes d'exposition à la pollution atmosphérique, de continuité du bâti et de déplacement de population peuvent être nombreuses. Dans le cas de Besançon, la situation est relativement commode. En l'absence de sources majeures ponctuelles de pollution industrielle, l'agglomération est soumise à

une pollution diffuse et homogène. Concernant les déplacements des résidents de la zone d'étude, les chiffres de l'Insee peuvent laisser croire à une relative sous-estimation de l'impact sanitaire. En effet, les bisontins quittant la ville pour aller travailler sont moins nombreux que les actifs travaillant à Besançon (donc exposés à la pollution) mais n'y habitent pas.

Seul le rôle de la topographie, très présente dans le paysage bisontin, reste une source d'incertitude quant à son impact dans la dispersion ou la concentration des pollutions atmosphériques.

4.1.4 | Caractérisation du risque

Lors de cette étape, qui s'appuie sur la mise en relation des indicateurs d'exposition avec les indicateurs sanitaires, on recense quelques sources d'imprécision. En effet, les erreurs potentielles de diagnostic ou de codage peuvent être à l'origine d'un dénombrement peu précis des admissions hospitalières. Mais le regroupement de ces admissions en grandes catégories de diagnostic (mortalité toutes causes sauf accidentelles, cardio-vasculaire et respiratoire, morbidité respiratoire, cardiovasculaire et cardiaque) permet de limiter, voire d'annuler les effets de ce biais.

Au niveau du PMSI, la non-prise en compte des séjours aux urgences (s'ils ne sont pas suivis d'une hospitalisation) peut induire à une sous-estimation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique.

Enfin, dans le cadre du recueil des données sanitaires, on suppose que les habitants de la zone d'étude fréquentent les établissements de soin de Besançon. Les éventuels patients hospitalisés à Dijon ou Lyon échapperaient au dénombrement du PMSI, induisant une éventuelle sous-estimation de l'impact sanitaire.

4.1.5 | Interprétation des résultats

La méthodologie de l'InVS permet de déterminer un nombre de décès anticipés par rapport à un niveau très faible de pollution (5^{ème} percentile des valeurs observées). Cette estimation ne représente pas un excès de décès mais distingue plutôt une frange sensible de la population dont l'espérance de vie a diminué. L'exposition à la pollution atmosphérique anticipe le décès chez les personnes les plus sensibles, mais ces décès seraient survenus dans les mois, voire les années à venir.

Les impacts sanitaires estimés par indicateurs d'exposition ne sont pas cumulables. Si tous les polluants ont une toxicité propre, ils doivent être considérés comme des indicateurs du mélange complexe qui compose l'atmosphère. Les politiques de réduction de la pollution atmosphérique visant un seul indicateur d'exposition seraient donc peu efficaces, comparées à des actions visant à réduire la pollution globale, en intervenant sur toutes les sources d'émission.

4.2 | Conclusions et recommandations

En raison des incertitudes énoncées précédemment, les résultats de l'EIS doivent être considérés comme des ordres de grandeur de l'impact de la pollution atmosphérique. Ce sont des estimations établies à partir des acquis scientifiques actuels et des données locales.

Sur les trois années de la période d'étude (1999-2001), la pollution atmosphérique est directement responsable de 49 décès anticipés (dont 18 décès suite à une pathologie cardio-vasculaire et 5 suite à une pathologie respiratoire) sur la commune de Besançon. Malgré des niveaux de pollution modérés au regard des objectifs de qualité (cf. figures 4 à 7), les résultats de l'EIS soulignent l'impact sanitaire non négligeable de la pollution atmosphérique, même à des niveaux peu préoccupants. Ce constat est confirmé par les résultats de l'impact à long terme, où la réduction de la moyenne annuelle permet un gain sanitaire important (jusqu'à 47 décès anticipés pour les effets à long terme sur la période), avec des niveaux peu importants de PM_{10} .

Concernant la morbidité, les admissions pour motifs cardio-vasculaires sont les plus nombreuses, notamment en hiver (74 hospitalisations sur la période d'étude).

Les teneurs en NO_2 , polluant qui a servi au calcul de l'impact sanitaire, sont en effet beaucoup plus importantes en hiver. Les admissions pour causes respiratoires ou cardiaques mettent en évidence la fragilité des personnes âgées de plus de 65 ans, proportionnellement plus concernées par ce type de pathologie.

Si les épisodes de pics requièrent une attention particulière en raison de l'importance de leur impact sanitaire journalier, agir pour les supprimer n'aurait pas beaucoup de portée en termes de gains sanitaires, compte tenu de leur nombre limité dans l'année. La mise en place des différents scénarios de réduction de la pollution atmosphérique souligne donc l'insuffisance des actions uniquement destinées à réduire les pics. La réduction des niveaux moyens de pollution apparaît comme une mesure beaucoup plus efficace. Une réduction de 25 % des taux moyens annuels de pollution entraîne un gain sanitaire 2 à 4 fois plus important que la réduction des pics. Les bénéfices les plus importants pour la santé publique seront donc obtenus par une politique combinée de diminution des pics et de réduction à la source, de manière globale et quotidienne, des émissions de polluants.

Références bibliographiques

- [1] Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine - Guide méthodologique, Institut de veille sanitaire - Juillet 1999 actualisé en mars 2003.
- [2] Programme de surveillance air et santé - 9 villes, rapport phase II, Institut de veille sanitaire - Juin 2002.
- [3] Plan régional pour la qualité de l'air de Franche-Comté, DIRE de Franche-Comté - Mai 2001.
- [4] Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur les agglomérations d'Angoulême, Niort et Poitiers, Cellule interrégionale d'Epidémiologie Centre-Ouest - Février 2005.
- [5] Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération d'Avignon, Cellule interrégionale d'Epidémiologie Sud - Juin 2005.

Annexe

Distribution des valeurs journalières pour la période 1998-2001

MESURES POUR LE SO₂

Station	Nb de jours	Moyenne	Écart-type	Médiane	Percentile P25-P75	Min-Max	% valeurs manquantes
Mégevand	1 397	6	6,1	4	2 - 8	0 - 47	4
Été	696	4	36	3	1 - 5	0 - 21	5
Hiver	701	8	7,2	6	3 - 11	0 - 47	4
Palente	1 393	8	9,1	5	3 - 10	0 - 79	5
Été	686	7	7,2	5	3 - 9	0 - 57	6
Hiver	707	10	10,5	6	4 - 11	0 - 79	3

Source : Asqab.

Différence entre les moyennes annuelles : 2 µg/m³.

Corrélation entre les stations Mégevand et Palente	0,60
--	------

MESURES POUR LE NO₂

Station	Nb de jours	Moyenne	Écart-type	Médiane	Percentile P25-P75	Min-Max	% valeurs manquantes
Palente	1 420	36	14,8	34	25 - 44	4 - 92	3
Planoise	1 408	27	17,1	24	13 - 38	1 - 97	4

Source : Asqab.

Différence maximale entre les moyennes annuelles : 9 µg/m³

Corrélation entre les stations Palente et Planoise	0,62
--	------

MESURES POUR LES PM

Station	Nb de jours	Moyenne	Écart-type	Médiane	Percentile P25-P75	Min-Max	% valeurs manquantes
Palente	1 448	22	12,8	20	13 - 28	3 - 107	1

MESURES POUR L'O₃

Périodes estivales uniquement (du 01/04 au 30/09) sur la période 1999-2001

Station	Nb de jours	Moyenne	Écart-type	Médiane	Percentile P25-P75	Min-Max	% valeurs manquantes
Palente	530	80	24,9	76	61 - 97	26 - 160	3
Planoise	540	85	27,6	83	69 - 101	9 - 180	2
Chailluz	538	89	25	87	25 - 105	24 - 164	2

Différence maximale entre les moyennes annuelles : 9 µg/m³.

Corrélations	Palente	Planoise	Chailluz
Palente	1	0,73	0,87
Planoise	0,73	1	0,66
Chailluz	0,87	0,66	1

L'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de Besançon s'inscrit dans la continuité des orientations du Plan régional pour la qualité de l'air de la Franche-Comté. Dans cette étude, l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique est calculé en termes de morbidité (admissions hospitalières) et de mortalité anticipée. L'impact sanitaire à long terme est estimé par le nombre de décès attribuables à la pollution atmosphérique évités en fonction de différents scénarios de réduction de la pollution.

La zone d'étude retenue, correspondant à une zone urbaine où l'exposition de la population à la pollution atmosphérique peut être considérée comme homogène, se limite à la commune de Besançon, soit une population de 117 691 habitants.

L'étude se base sur les données sanitaires et environnementales obtenues sur la période 1999 à 2001.

Ainsi, parmi les effets à court terme, la pollution atmosphérique est responsable chaque année de 16 [11-21] décès anticipés dont 2 [1-3] décès pour causes respiratoires et 6 [2-9] pour causes cardio-vasculaires. Elle est également responsable sur la commune de 5 [2-7] hospitalisations par an pour motifs cardiaques et de 25 [15-35] en hiver pour motifs cardio-vasculaires.

Les calculs des gains sanitaires associés à différents scénarios de réduction de la pollution montrent que le scénario de réduction de 25 % de la moyenne annuelle du polluant considéré constitue la mesure la plus efficace en permettant d'éviter à court terme 6 [4-8] décès annuellement et 8 [5-11] hospitalisations pour motifs cardio-vasculaires et à long terme 16 [10-22] décès.

Les bénéfices les plus importants sur la santé publique seront donc obtenus par une politique combinée de diminution des pics et de réduction à la source, de manière globale et quotidienne, des émissions de polluants.

An urban air pollution health impact assessment has been conducted in Besançon according to the Regional Plan for the quality of air in the Franche-Comté region.

In this study, short-term impact of the air pollution is calculated in terms of morbidity (hospital admission) and mortality.

Long-term effects have been estimated by calculating the number of deaths attributed to air pollution which have been avoided, dependant on the different scenarios of air pollution reduction.

Only the city of Besançon (population: 117,691 habitants) was included in the study as an homogeneous zone of exposure.

This study is based on medical and environmental data from 1999 to 2001.

Every year, short-term effects of air pollution are directly responsible for 16 [11-21] anticipated deaths including 2 [1-3] deaths from respiratory causes and 6 [2-9] deaths from cardiovascular causes. It is also responsible every year for 5 hospitalisations from cardiac causes and 25 [15-35] hospitalisations during winter from cardiovascular causes.

Health gains associated with different scenarios show that a reduction of 25% of the levels of pollution is the most effective control measure and allows, in the short-term, avoiding 6 [4-8] deaths and 8 [5-11] hospitalisations due to cardiovascular reasons whilst in the long-term 16 [10-22] deaths.

The most important public health benefits will thus be obtained with a combined policy of a decrease in the number of peaks and a permanent reduction in the emissions of pollutants at their source.



INSTITUT DE
VEILLE SANITAIRE

Cellule interrégionale d'épidémiologie Centre-Est

12, rue du Val d'Osne - 94415 Saint-Maurice cedex
Tél. : 33(0) 1 41 79 67 00 - Fax : 33(0) 1 41 79 67 67
<http://www.invs.sante.fr>