



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne et Démocratique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 02 محمد بن أحمد

Université d'Oran 02 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي

Institut de maintenance et de sécurité industrielle

Département : Sécurité Industrielle et Environnement

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et sécurité environnement

Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

**Pollution de l'air et santé dans les milieux urbains,
« Utilisation de la solution CityTree pour réduire la
pollution de l'air » Cas d'étude : Place du 1^{er}
Novembre -Arzew**

Présenté et soutenu par :

- **BENKOUIDER Meriem**
- **KHATIR Noussaiba**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mr Benatia Noureddine	M.A.A	IMSI	Président
Mr Nadji Mohamed Amine	M.A.A	IMSI	Encadreur
Mme Mechken Karima	M.A.A	IMSI	Examinatrice

Remerciements

REMERCIEMENT DE NOUSSAIBA :

Je remercie avant tout, Dieu le tout puissant de nous avoir donné tous les moyens et nous a dirigé vers ce qui est le meilleur pour nous tous ici-bas ELHAMDOULIALLAH.

Je voudrais ensuite adresser toutes ma gratitude à l'encadreur de ce mémoire, Mr Nadji Mohamed Amine, enseignant à l'institut de maintenance et de sécurité industrielle, pour sa patience, sa disponibilité et surtout son judicieux conseil, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Je remercie également les professeurs et enseignants de l'institut de maintenance et de sécurité industrielle, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Mes remerciements s'adressent ensuite aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de participer à notre soutenance.

Je remercie aussi l'équipe de montage (Abd Errahmane, Aya, Chourouk et Ayoub)

Je ne peux oublier de remercier tous les membres de ma famille pour leur soutiens et leur encouragements.

REMERCIEMENT DE MERIEM :

Tout d'abord nous remercions Dieu pour tout ce qu'il nous a procuré dans tout ce qu'on a entrepris dans notre vie tant de courage et de patience.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, mes sincères remerciements vont à Mr Nadji Mohamed Amine pour son encadrement, son orientation, ses conseils et la disponibilité qu'il nous a témoignée pour nous permettre de mener à bien ce travail.

Je remercie ensuite l'ensemble des membres du jury, qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir étudier avec attention mon travail

Enfin, mes remerciements s'orientent à ma famille pour leur soutien sans faille et qui m'ont toujours encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire

Dédicaces

DÉDICACES DE NOUSSAIBA :

Je dédie ce modeste de travail à mes chers parents qui sont la source de ma réussite ainsi qu'à tout cher dont son soutien m'a été bénéfique, en espérant être à la hauteur de leurs attentes

DÉDICACES DE MERIEM :

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à eux et en particulier :

Ma chère mère.

A mes frères Mohamed, Oussama et Salah Eddine

A mon encadreur Mr Nadji Amine

A ma cousine Malika

A Noussaiba

A mes chères amies : Selma, Aicha, Farah, Nassima et Malika

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près afin de réaliser ce travail

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Résumé :

La pollution atmosphérique est un problème fréquent dans la ville d'Arzew. L'objectif de ce travail est de traiter ce problème par une nouvelle solution appelée « Le CityTree » et cela afin de réduire les impacts de la pollution sur la santé humaine.

Nous avons expliqué comment la ville intelligente et l'éco-quartier peuvent être utilisés comme des vecteurs pour le développement durable.

Cette étude a donc comme but de :

- Intégrer les nouveaux concepts de la ville intelligente et l'éco-quartier dans le développement durable.
- Identifier le problème de la pollution de l'air dans la ville d'Arzew.
- Proposer l'application de CityTree comme une solution écologique pour la lutte contre la pollution.
- Estimer les résultats positifs de l'application de cette solution dans la ville d'Arzew.
- Déterminer les défis auxquels l'Algérie devra faire face si elle veut adopter ce système dans le futur.

Mots clés : Pollution, CityTree, santé, éco-quartier, ville intelligente, Arzew, air, développement durable.

Abstract :

The air pollution is an current problem our objectif in this work is to treat this problem in the city of Arzew through a new solution called "The CityTree" in order to reduce the impacts of pollution on human health. We explained how the smart city and the eco-district can be used as vectors for sustainable development. This study therefore aims to:

- Integrate the new concepts of the smart city and the eco-district in sustainable development.
- Identify the problem of air pollution in the city of Arzew.
- Propose the application of CityTree as an ecological solution for the fight against pollution.
- Estimate the positive results of applying this solution in the city of Arzew.
- Determine the challenges that Algeria will have to face if it wants to adopt this system in the future.

Key words : Pollution, CityTree, health, eco-district, smart city, Arzew, air, sustainable development

ملخص :

تلوث الهواء هو مشكلة حالية في مدينة أرزيو . الهدف من هذا العمل هو معالجة هذا المشكل من خلال حل جديد يسمى "CityTree" من أجل الحد من آثار التلوث على صحة الإنسان.

من ناحية أخرى ، أوضحنا كيف يمكن استخدام المدينة الذكية والمنطقة البيئية كنواقل للتنمية المستدامة. لذلك تهدف هذه الدراسة إلى :

- دمج المفاهيم الجديدة للمدينة الذكية و الأحياء الصديقة للبيئية مع مفهوم التنمية المستدامة.
- التعرف على مشكلة تلوث الهواء في مدينة أرزيو.
- اقتراح تطبيق CityTree كحل بيئي لمكافحة التلوث.
- تقدير النتائج الإيجابية لتطبيق هذا الحل في مدينة أرزيو.
- تحديد التحديات التي سيتعين على الجزائر مواجهتها إذا أرادت تبني هذا النظام في المستقبل.

الكلمات المفتاحية : التلوث ، CityTree، الصحة ، المدينة الذكية ، أرزيو ، الهواء ، التنمية المستدامة.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale :	1
Chapitre I : Développement durable et ville intelligente.....	3
Introduction :	3
I-1 Définition du développement durable :	3
I-2 Les trois piliers et les enjeux du développement durable :	5
I-2-1 Les enjeux environnementaux du développement durable :	5
I-2-2 Les enjeux sociaux du développement durable :	7
I-2-3 Les enjeux économiques du développement durable :	7
I-3 Les principes fondamentaux du développement durable :	7
I-4 les objectifs du développement durable :	8
I-5 Les acteurs du développement durable :	10
I-7 Du développement durable à la ville durable :	10
I-8 La ville intelligente :	11
I-9 Les composantes de la ville intelligente :	12
I-9-1 Gouvernance intelligente :	17
I-9-2 Citoyen intelligent :	17
I-9-3 Économie intelligente :	18
I-9-4 Mobilité intelligente :	18
I-9-6 Habitat intelligent :	19
I-10 Le rôle des nouvelles technologies de l'information et des communications et les secteurs impliqués :	20
I-11 Limites du concept et de sa mise en œuvre :	23
Conclusion :	24

Chapitre II : Eco-quartier : mécanismes et stratégies d'application.	26
Introduction	26
II-1 Définition d'un éco-quartier	26
II-2 Historique des éco-quartiers	28
II-3 la stratégie d'éco-quartier	29
Figure II-2 : Management de projet	31
II-4 Caractéristiques de l'éco-quartier	31
II-5 Les principes de l'éco-quartier	32
II-6 Les enjeux de l'éco-quartier durable	32
II-7 Les types des éco-quartiers	33
II-7-1 L'éco-village	34
II-7-2 Télé-village	34
II-7-3 Prototype expérimental	34
II-7-4 Eco-communautés urbaines	35
II-7-5 Iles urbaines écologiques	35
II-7-6 Unités urbaines écologiques	35
II-7-7 Le quartier type :	35
II-8 Les critères d'un éco quartier	36
II-9 Les objectifs d'un quartier durable	39
II-10 Les 5 piliers d'un éco quartier	40
II-10-1 Critères relatifs à l'aménagement	40
II-11 La labellisation des éco quartiers	41
Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.....	45
Introduction :	45
III-1 L'air :	45
III-2 L'atmosphère :	47
La troposphère.....	47
Stratosphère	47
Mésosphère.....	47
Thermosphère.....	48

III-3 La pollution atmosphérique	49
III-3-1 Définition.....	49
III-4 Les polluants atmosphériques et leurs sources	50
III-4 -1 Les sources des polluants atmosphériques	50
III-4-1-1 Pollution d'origine naturelle	51
III-4-1-2 Pollution d'origine anthropique	52
III-4-1-2-1 La production d'énergie thermique.....	53
III-4-2 Les familles des polluants	55
III-5 Les facteurs météorologiques qui influencent la dispersion des Polluants :	58
III-5-1 La pression atmosphérique	58
III-5-2 La vitesse et la direction du vent :	59
III-5-3 La température :.....	59
III-5-4 L'humidité :	59
III-6 Les échelles de la pollution atmosphérique :	59
III-6-1 La pollution à l'échelle locale.....	59
III-6-2 La pollution à l'échelle régionale	60
III-6-3 La pollution à l'échelle planétaire	60
III-7 Les effets de la pollution atmosphérique	61
III-7-1 Effets sur l'environnement	61
III-7-2 Les effets sur la santé.....	63
III-8 Normes sur la qualité de l'air:	67
III-8-1 Normes Algériennes	67
III-8-3 Normes de l'OMS	68
III-9 Techniques de mesure et d'analyse des polluants :	69
III-10 Politique et méthodes de travail des réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique :	71
III-10-1 Objectifs	71
III-10-2 Indice ATMO	72
III-10-3 Quelques réseaux nationaux et internationaux :	73
III-10-3-1 Réseau AIRPARIF :	73
III-10-3-2 Réseau APPA	73
III-10-3-3 Réseau Air Normand.....	74
III-10-3-4 Réseaux internationaux	74
III-10-3-4 Réseaux Sama Safia (Algérie).....	74

Conclusion.....	75
CHAPITRE IV : Application de la solution « City Tree » dans la ville « d'ARZEW».	76
Introduction	76
IV-1Présentation de la ville « ARZEW »	76
IV-1-1 Localisation d'Arzew	76
IV-1-2 Les paramètres météorologiques	77
IV-1-2-1 Température	77
IV-1-2-2 Régime des vents	79
IV-1-2-3 Les précipitations	80
IV-1-3 La zone industrielle d'Arzew	80
IV-2 Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé de la population d'Arzew:	81
IV-3 Les solutions écologiques pour réduire la pollution de l'air dans les villes	83
IV-3-1 La biofiltration végétalisée (Le mur végétal)	84
IV-3-1-2 Définition du mur végétal	84
IV-3-1-3 Principe d'un mur végétal	86
IV-3-1-4 Les avantages du mur végétal	87
IV-4 L'entreprise « Green City Solutions »	88
IV-4-1 Présentation de l'entreprise	88
IV-4-2 Historique de l'entreprise	89
IV-4-3 L'objectif de Green City Solutions	91
IV-5 La solution « CityTree »	92
IV-5-1 Présentation de CityTree	92
IV-5-2 Les caractéristiques de CityTree	94
IV-5-3 Mode de fonctionnement	95
IV-5-4 Performance environnementale	96
IV-6 L'application de CityTree dans la ville d'Arzew	97
IV-6-1 Les résultats d'une application de CityTree sur la ville d'Arzew	98
IV-6-2 L'implantation de CityTree dans la place du 1er Novembre	98
IV-6-2-1 Choix du site	98
IV-6-2-2 Les impacts de CityTree	100
IV-7 les obstacles de l'adaptation de CityTree en Algérie.....	103

Sommaire

IV-7-1 Facteur économique.....	103
IV-7-2 Facteur humain	103
IV-7-3 Facteur environnemental	105
Conclusion.....	106
Conclusion générale:	107
Annexes :	109
Bibliographie :	112

Liste des tableaux:

N⁰	Tableaux	Intitulés	Pages
Chapitre I			
01	Tableau I-1	Tableau synthèse des six dimensions pour devenir une ville intelligente	14
Chapitre III			
02	Tableau III-1	Composition de l'atmosphère sèche au voisinage de la surface terrestre (Référence de l'année 1992)	46
03	Tableau III-2	Normes Algériennes sur la qualité de l'air	68
04	Tableau III-3	Principaux polluants atmosphériques, leurs sources et limites (OMS, 2005)	68
05	Tableau III-4	Caractéristiques de certaines techniques d'analyse des polluants (Ngo, 2006)	70
Chapitre IV			
06	Tableau IV-1	Valeurs climatiques moyennes et totales annuelles de la ville d'Arzew	78
07	Tableau IV-2	Les statistiques des malades hospitalisés à EPH EL-MOHGOUN en (2021)	83
08	Tableau IV-3	Différence entre un mur végétal et une façade verte	85
09	Tableau IV-4	Quantité des polluants de l'air dans quelques régions en Algerie (revue francophone d'écologie industrielle.2014)	97
10	Tableau IV-5	Tableau des résultats après l'application de CityTree à Arzew	98

Liste des figures :

N°	Figure	Intitulé	Pages
Chapitre I			
01	Figure I-1	Les trois piliers du développement durable	5
02	Figure I-2	Les objectifs du développement durables	8
03	Figure I-3	Les six leviers d'une ville intelligente	13
04	Figure I-4	La roue de la ville intelligente	14
05	Figure I-5	Les composantes de la ville intelligente	16
06	Figure I-6	Les différentes sphères d'intervention d'une ville intelligente	21
Chapitre II			
07	Figure II-1	Exemple d'un éco quartier « Diar el djenane »	28
08	Figure II-2	Management de projet	31
09	Figure II-3	les principes du quartier durable	32
10	Figure II-4	Les piliers d'un éco quartier	40
11	Figure II-5	Les étapes de labellisation d'un éco quartier	43
12	Figure II-6	Les 20 engagements e la charte des éco-quartiers	43
Chapitre III			
13	Figure III-1	Les couches de l'atmosphère	48
14	Figure III-2	Décès prématurés imputables à l'exposition à l'ozone dans les zones urbaines en 2000 et 2030	50
15	Figure III-3	Les paramètres et processus de la pollution atmosphérique	53
16	Figure III-4	Formation des polluants primaires et secondaires dans l'atmosphère	58
17	Figure III-5	Structure du benzo(a)pyréne (BaP)	67
18	Figure III-6	Principe d'un tube actif	70
19	Figure III-7	Fonctionnement d'un réseau de surveillance de la pollution de l'air	72
20	Figure III-8	Indice ATMO	73
21	Figure III-9	Station d'analyse destinée à la surveillance « SAMA SAFIA D'Oran »	75
Chapitre IV			
22	Figure IV-1	localisation de la ville d'Arzew	77
23	Figure IV-2	Variations interannuelles du régime du vent	79

Liste des tableaux

24	Figure IV-3	Répartition mensuelle des précipitations sur Arzew pour les années 2017-2018	80
25	Figure IV-4	plan de masse de la zone industrielle d'Arzew	81
26	Figure IV-5	Micro capteurs	84
27	Figure IV-6	Station multiphysique	84
28	Figure IV-7	Mur végétal installé sur la façade des Halles d'Avignon –Place Pie France	85
29	Figure IV-8	Le mur végétal et la façade verte	86
30	Figure IV-9	Structure type d'un mur végétal	87
31	Figure IV-10	L'équipe fondatrice de Green City Solutions	89
32	Figure IV-11	L'installation du premier CityTree à Oslo	89
33	Figure IV-12	Mousse végétale purifiante de l'air	92
34	Figure IV-13	Le premier modèle du CityTree	93
35	Figure IV-14	Le nouveau modèle en bois	94
36	Figure IV-15	Panneaux solaires	95
37	Figure IV-16	Plantes purifiantes d'air	95
38	Figure IV-17	Borne Wifi	95
39	Figure IV-18	Ecran de publicité intégrée	95
40	Figure IV-19	Place du 1 ^{er} Novembre (Arzew)	99
41	Figure IV-20	Localisation de place du 1 ^{er} Novembre –Arzew	99
42	Figure IV-21	Place du 1 ^{er} Novembre pendant la nuit	100
43	Figure IV-22	Utilisation de CityTree comme espace publicitaire	101
44	Figure IV-23	Banc intégré pour s'asseoir	102
45	Figure IV-24	Absence de sol sur le terrain	102
46	Figure IV-25	Plantes intégrées au CityTree	102
47	Figure IV-26	Sabotages des bancs publics en Algérie	104
48	Figure IV-27	Distribution mondiale des précipitations annuelles	105

Liste des abréviations :

DD : Développement durable

NTIC : nouvelles technologies de l'information et de la communication

ONU : l'Organisation des nations unies.

ODD : Les objectifs du développement durable.

BedZED: Beddington Zero Energy Development.

CO₂: Dioxyde de Carbone

HAP: hydrocarbures aromatiques polycycliques.

COV : Composé organique volatil.

SO₂ : Dioxyde de soufre.

NO_x : Les oxydes d'Azote.

PM₁₀ : Particules en suspensions dont le diamètre est inférieur à 10 µm

PM₁₀ : Particules en suspensions dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm

pH : potentiel hydrogène

Hb : Hémoglobine

Ppm : Partie par million

Ppt : Partie par trillion (billion)

µg/m³ : Microgramme par mètre cube.

D_p : Diamètre moyen des particules

OMS : L'Organisation mondiale de la santé

MV : Méga Volt

GNL : gaz naturel liquéfié

GPZ : gaz pétrolier Arzew

GLZ : gaz liquéfié Arzew

CPE : contrat pré emploi

Liste des abréviations

EPSP : Etablissement publics de santé de proximité

EPH : établissements publics hospitaliers

BPCO : broncho pneumopathie chronique obstructive

AOK : Allgemeine Ortskrankenasse

EUREF : Abkürzung für Europäisches Energieforum (Forum européen de l'énergie)

UE : union européenne

GmbH : Gesellschaft mit beschränkter Haftung (Société à responsabilité limitée)

PDG : président directeur général

ORL : Oto-rhino-laryngologie

tn/an : Tonne par année

DRIZ : Direction régionale industrielle d'Arzew

Introduction générale :

Le développement socio-économique enregistré au début du 20^{ème} siècle à travers le monde, a engendré de graves problèmes de pollution qui ont touché la terre, l'eau et l'atmosphère, portant ainsi atteinte à la santé humaine et à l'équilibre des écosystèmes.

La pollution sous ses diverses formes, pèse beaucoup sur la qualité de vie dans de nombreuses villes dans le monde. Elle a un coût économique et social très considérable. La pollution de l'air, cause selon l'OMS (OMS, 2014) la mort chaque année à 7 millions de personnes. Selon la même source, elle est responsable de 2% des maladies cardiaques et pulmonaires dans le monde.

Ces dernières années, tant sur le plan académique que politique, l'idée de développement durable a fait l'objet de plus en plus de discussions. Il est devenu très urgent de choisir un nouveau modèle de développement qui puisse protéger l'environnement et assurer la pérennité des besoins de la population.

L'Algérie, comme d'autres pays, a connu un développement industriel considérable. Cependant, cette évolution a eu de nombreux effets négatifs sur l'environnement, dont le plus important peut être la pollution de l'air, en particulier dans les zones urbaines.

La ville d'Arzew dans la wilaya d'Oran fait partie des régions d'Algérie où la dégradation du cadre de vie a atteint des pics alarmants.

La zone industrielle s'étend sur plus de 12 km, le long de la baie d'Arzew, soit plus de 3 500 ha. Ils sont en tout 15 complexes implantés dans cette zone rajoutés aux unités de service. Il existe une douzaine de torches qui rejettent chaque jour dans l'atmosphère des milliers de m³ des polluants gazeux (CO₂, COV, Poussières...). Ce qui rend plus difficile, aujourd'hui, de trouver dans la commune d'Arzew une famille totalement épargnée par les maladies respiratoires.

C'est dans cette problématique que se situe notre étude dont l'objectif principale est de proposer une solution adaptées dans le cadre du développement durable pour réduire la pollution de l'air et son impact sur la population d'Arzew.

Dans ce cadre, nous allons présenter une nouvelle solution écologique appelée « Le CityTree ». Nous avons (théoriquement) étudié son impact sur les niveaux de pollution de l'air dans la ville d'Arzew, ainsi que la réduction des taux de concentration des polluants atmosphériques urbains tels que le dioxyde de carbone, les poussières fines et les oxydes d'azotes.

Effectivement, le CityTree est un concept révolutionnaire qui pourrait faire des grands changements dans le cadre de la protection de l'environnement et la santé humaine.

Ce mémoire est organisé comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous présenterons le concept de développement durable, son histoire, ses enjeux, ses piliers et ses objectifs. Ce chapitre comprend également une présentation de la ville intelligente et ces caractéristiques les plus importantes.
- Dans le deuxième chapitre, une présentation de la notion « éco-quartier », ses caractéristiques, ses stratégies d'application et ses piliers.
- Dans le troisième chapitre, nous donnerons des généralités sur la pollution atmosphérique avec les sources, les effets sur la santé et l'environnement et les principaux polluants. Les mesures et les réseaux de surveillances de la qualité de l'air dans le monde et dans l'Algérie.
- Enfin, le dernier chapitre sera consacré pour l'application de le CityTree dans la ville d'Arzew, ce chapitre s'achèvera par l'estimation des nouvelles valeurs des polluants atmosphériques après l'application et les différents obstacles (naturels et humains) auxquels l'Algérie pourrait être confrontée en cas d'adoption de ce système.

CHAPITRE I :

Développement durable et ville intelligente

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

Introduction :

L'humain, pour perpétuer son espèce a été amené, au fil des générations, à adopter des modes de vie communautaires en s'agglomérant, et pour vivre a été contraint de forger les moyens de sa subsistance en inventant les outils de sa prospérité. Ce long processus d'adaptation des structures de vie prend une nouvelle forme ; celle du développement économique et social des communautés ou des regroupements plus larges des populations. Un des vecteurs de ce développement est la ville intelligente.

La ville intelligente est souvent perçue comme le concept à opérationnaliser pour régler la plupart des problèmes, enjeux et défis urbains actuels. C'est un outil pour la réalisation et la mise en œuvre d'une communauté axée sur la durabilité.

I-1 Définition du développement durable :

Que signifie se développer "durablement" ? [1]

Le terme "durable" désigne quelque chose qui peut durer dans le temps, de manière infinie. L'association de ce terme avec le mot "développement" a souvent été critiquée, puisque ces deux mots semblent contradictoires au premier abord.

En effet, le développement économique, d'un côté, a pour but une croissance infinie. De l'autre, nous savons aujourd'hui que les ressources de la planète ne sont pas infinies et nécessitent donc une gestion durable. Cependant, ce débat linguistique ne doit pas faire perdre de vue la pensée générale positive qui est véhiculée par le développement durable.

Quand est apparu le développement durable ? [2]

Le mot de développement durable apparaît au début des années 1970 et 1980 dans des écrits scientifiques. L'un des premiers textes référencés faisant usage de ce concept dans le sens actuel est le Rapport du Club de Rome "Halte à la croissance", mais on en trouve des occurrences dans d'autres textes de la même époque dans des disciplines diverses. Ce rapport publié en 1972 et écrit par deux scientifiques du MIT tentait de questionner notre modèle de

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

développement économique basé sur la croissance économique infinie dans un monde aux ressources finies. Il montrait alors les limites écologiques de notre modèle.

Au niveau international, on commence à parler de développement durable pour la première fois dans les rapports des Congrès de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature). Mais bien avant cela, le développement durable avait commencé à émerger comme idée

Développement durable : les causes de l'émergence du concept [2]

L'émergence de l'idée du développement durable est concomitante avec celle de la société industrielle. A partir de la deuxième moitié du 19ème siècle, les sociétés occidentales commencent à constater que leurs activités notamment économiques et industrielles ont un impact significatif sur l'environnement et sur l'équilibre social. Plusieurs crises écologiques et sociales vont avoir lieu dans le monde et vont faire prendre conscience qu'il faut un modèle plus durable.

Voici quelques exemples des crises économiques et sociales qui ont secoué le monde au XXème siècle :

- 1907 : crise bancaire américaine
- 1923 : crise de l'hyperinflation américaine
- 1929 : la crise financière des années 1930 commence
- 1968 : mouvement social de mai 1968 en France et dans le monde
- 1973 et 1979 : chocs pétroliers
- 1982 : choc de la dette des pays en développement

Et quelques exemples de crises écologiques

- 1954 : retombées nucléaires de Rongelap
- 1956 : crise du mercure de Minamata
- 1957 : marée noire de Torrey Canyon
- 1976 : catastrophe Seveso
- 1984 : catastrophe de Bhopal
- 1986 : catastrophe nucléaire de Tchernobyl
- 1989 : marée noire de l'Exxon Valdez
- 1999 : catastrophe Erika

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

- Mais aussi : le réchauffement climatique, la pollution de l'air, la question de la couche d'ozone, la disparition de la biodiversité....

Le rapport Brundtland a proposé une définition universelle du développement durable : c'est « Le développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs »

I-2 Les trois piliers et les enjeux du développement durable :

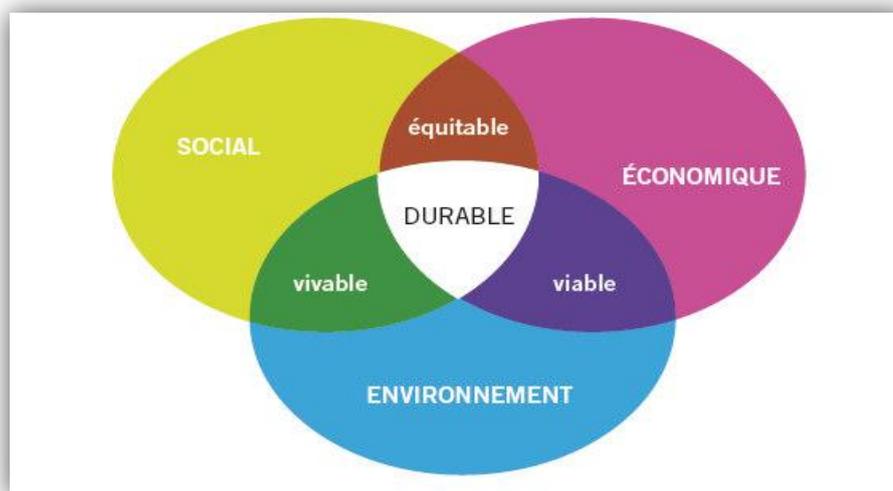


Figure I-1 : les trois piliers du développement durable

Les enjeux du DD peuvent être classés en trois catégories qui correspondent aux trois piliers : environnementaux, sociaux et économiques.

I-2-1 Les enjeux environnementaux du développement durable :

- **La biodiversité :** La biodiversité et les écosystèmes sont à la base de toute forme de vie sur terre. Le développement économique, la pollution, l'agriculture et la pêche industrielles intensives mettent à mal cette biodiversité naturelle.
- **Les déchets :** Une gestion durable des déchets propose des outils qui permettent de jeter moins, de « jeter mieux », de diminuer l'impact écologique du traitement des déchets tout en répondant à un impératif de viabilité économique et en faisant appel à des circuits d'économie

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

sociale et solidaires. Elle respecte ainsi les trois piliers fondamentaux du développement durable (environnement, économie et social).

- **L'eau** : Au cours des vingt prochaines années, la quantité moyenne d'eau disponible par personne dans le monde est supposée diminuer d'un tiers, selon le rapport mondial sur l'eau, publié en 2003. [1]
- **L'énergie** : Les énergies fossiles représentent aujourd'hui plus des trois quarts de la consommation mondiale d'énergie primaire, dans les transports, l'industrie et l'habitat. Mais elles sont aussi sources d'émissions de gaz à effet de serre. L'utilisation des énergies renouvelables permettrait de répondre aux besoins énergétiques de la population actuelle, mais également aux besoins des générations à venir. En effet, ces énergies sont renouvelables et leur plus grande utilisation permettra de mieux assurer la pérennité des ressources de la terre et des énergies fossiles pour les générations de demain. Elle permettra également de prévenir l'épuisement des ressources naturelles avec les conditions nécessaires du développement durable. [3]
- **Le réchauffement climatique** : Le niveau de pollution de gaz à effet de serre a augmenté la température d'environ 1°C. Les trois programmes d'action post-2015 à l'ordre du jour– l'Accord de Paris, le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et le Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe ; constituent la base indispensable pour un développement durable, bas carbone et résilient au climat dans un contexte de changement climatique. [4]
- **Les ressources naturelles** : L'exploitation des ressources naturelles doit permettre l'amélioration du bien-être des générations présentes sans compromettre la possibilité pour les générations futures d'améliorer leurs. La lutte contre l'exploitation illégale des ressources constitue un enjeu majeur pour l'avenir de la planète, mais également un sujet sensible en raison des questions économiques, politiques et culturelles qu'il soulève.

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

- **Les transports** : Avec 13,41 gigatonnes de CO₂ émis en 2016 dans le monde, le transport est le deuxième contributeur de gaz à effet de serre. La réduction de la circulation automobile est l'un des axes prioritaires de la lutte contre la pollution.

I-2-2 Les enjeux sociaux du développement durable :

Pour garantir à tous les membres de la société un accès aux ressources et services de base (éducation, santé, alimentation, logement...) pour satisfaire les besoins de l'humanité, réduire les inégalités et maintenir la cohésion sociale

I-2-3 Les enjeux économiques du développement durable :

En diminuant l'extrême pauvreté et en garantissant l'emploi du plus grand nombre dans une activité économique dignement rémunérée. L'économie durable est une gestion saine des activités humaines sans préjudices pour l'Homme ou pour l'environnement.

I-3 Les principes fondamentaux du développement durable :

- **Solidarité** entre les pays, entre les peuples, entre les générations, et entre les membres d'une société. Par exemple : économiser les matières premières pour que le plus grand nombre en profite.
- **Précaution** dans les décisions afin de ne pas causer de catastrophes quand on sait qu'il existe des risques pour la santé ou l'environnement. Par exemple : limiter les émissions de CO₂ pour freiner le changement climatique.
- **Participation** de chacun, quels que soient sa profession ou son statut social, afin d'assurer la réussite de projets durables. Par exemple : mettre en place des conseils d'enfants et de jeunes.
- **Responsabilité** de chacun, citoyen, industriel ou agriculteur. Pour que celui qui abîme, dégrade et pollue répare. Par exemple : faire payer une taxe aux industries qui polluent beaucoup. Ces principes sont parfois incompatibles avec la société de consommation dans laquelle nous vivons.

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

C'est pourquoi, de nombreuses personnes (élus, associations, entreprises, particuliers, jeunes...) demandent que notre système économique soit repensé pour tendre vers une société plus durable afin de préserver la planète et ses ressources.

Le développement durable est non seulement un besoin urgent, qui n'est pas une contrainte mais une réelle opportunité pour redessiner notre société.

I-4 les objectifs du développement durable : [5]

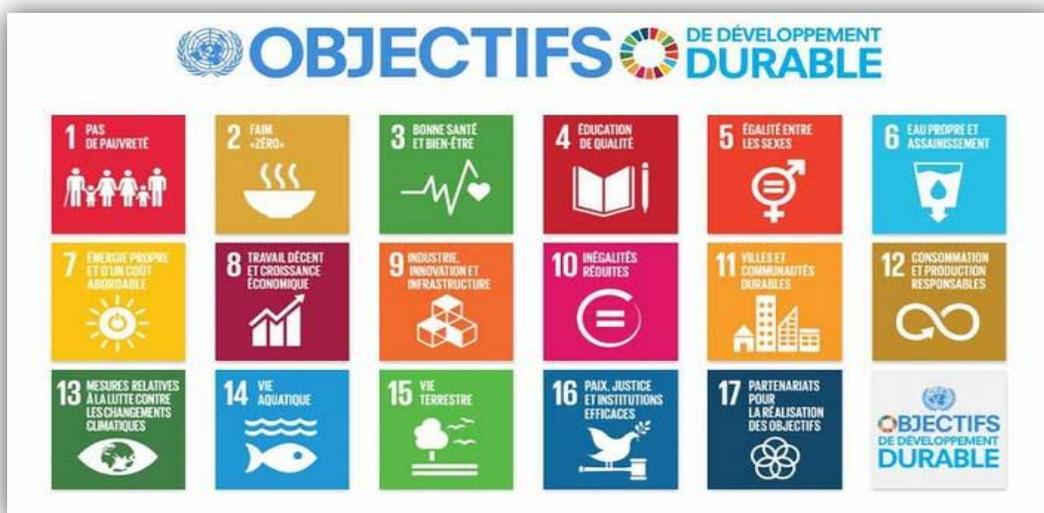


Figure I-2 : Les objectifs du développement durable

Le Programme de développement durable à l'horizon 2030 est un plan d'action pour l'humanité, la planète et la prospérité, renforçant la paix et nécessitant des partenariats pour sa mise en œuvre. Ces cinq éléments du développement durable sont intimement liés. Tenant compte des succès comme des insuffisances des objectifs du Millénaire pour le développement (OMD), les ODD mettent l'accent sur de nouveaux domaines tels que l'inégalité économique, l'innovation, le changement climatique, les modes de consommation durable, la paix et la justice, entre autres. Les ODD sont universels, inclusifs, et représentent un engagement ambitieux envers l'humanité et la planète. L'expression « objectifs mondiaux » pour le développement durable est également utilisée pour faire référence aux ODD.

- **Objectif 1 : Pas de pauvreté :** Eliminer la pauvreté sous toutes ses formes et partout dans le monde.

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

- **Objectif 2 :** Faim « Zéro » : Eliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable.
- **Objectif 3 :** Bonne santé et bien-être : Permettre à tous de vivre en bonne santé et promouvoir le bien-être de tous à tous âges.
- **Objectif 4 :** Education de qualité : Assurer à tous une éducation équitable, inclusive et de qualité et des possibilités d'apprentissage tout au long de la vie ;
- **Objectif 5 :** Egalité entre les sexes : Parvenir à l'égalité des sexes et autonomiser toutes les femmes et les filles.
- **Objectif 6 :** Eau propre et assainissement : Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau.
- **Objectif 7 :** Energie propre et d'un coût abordable : Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes à un coût abordable.
- **Objectif 8 :** Travail décent et croissance économique : Promouvoir une croissance économique soutenue, partagée et durable, le plein emploi productif et un travail décent pour tous.
- **Objectif 9 :** Industrie, innovation et infrastructure : Bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation.
- **Objectif 10 :** Inégalités réduites : Réduire les inégalités dans les pays et d'un pays à l'autre.
- **Objectif 11 :** Villes et communautés durables : Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables.
- **Objectif 12 :** Consommation et production responsables : Etablir des modes de consommation et de production durables.
- **Objectif 13 :** Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques : Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions.
- **Objectif 14 :** Vie aquatique : Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable.
- **Objectif 15 :** Vie terrestre : Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation des terres et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité.

- **Objectif 16 :** Paix, justice et institutions efficaces : Promouvoir l'avènement des sociétés pacifiques et inclusives au fins du développement durable, assurer l'accès de tous à la justice et mettre en place, à tous les niveaux, des institutions efficaces, responsables et ouvertes à tous.
- **Objectif 17 :** Partenariats pour la réalisation des objectifs : Renforcer les moyens de mettre en œuvre le partenariat mondial pour le développement durable et le revitaliser.

I-5 Les acteurs du développement durable :

Tout le monde est concerné par cette transition vers un nouveau modèle de société plus durable. Les différents acteurs qui agissent déjà, à leur échelle en menant des actions de développement durable sont :

- Les citoyens nationaux et internationaux : enfants, jeunes, parents etc...
- Les éco-délégués au collège et au lycée
- Les établissements d'enseignement : écoles, collèges, lycées, universités, campus
- Les associations et clubs
- Les entreprises
- Les agriculteurs
- Les collectivités territoriales : villes, départements, régions...
- L'Etat
- L'Union Européenne

Et bien d'autres... Nous sommes tous concernés par le développement durable et avançons ensemble vers un nouveau modèle de société plus respectueux de l'environnement.

I-7 Du développement durable à la ville durable :

La mise en œuvre d'une démarche de développement durable ainsi que la réalisation de certains projets peuvent convertir la ville en ville dite durable.

Il n'existe pas de définition univoque et consensuelle, à proprement parler, du concept de « ville intelligente ». L'opérationnalisation ainsi que l'application du concept d'origine anglo-

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

saxonne sont variables selon le pays, le territoire, le contexte, et les enjeux territoriaux. De façon générale, le concept de ville intelligente appliqué à la planification et aux politiques urbaines réfère à la façon dont les nouvelles technologies de l'information et des communications sont utilisées en matière de gestion publique pour améliorer la situation actuelle d'une ville dans différentes sphères et régler diverses problématiques urbaines. Une ville intelligente est celle qui a su intégrer les technologies de l'information et de la communication à grande échelle dans différents secteurs d'activité afin d'améliorer la vie quotidienne des usagers et des citoyens. De plus, ces technologies permettent d'engager un changement de comportement chez les citoyens, mais aussi au sein de l'administration et dans les entreprises vers une croissance plus durable. (Chambre de commerce du Canada, 2012) Au fil du temps, la croissance urbaine a créé de nouveaux enjeux pour les pouvoirs publics. Des villes comme Montréal ont dépassé la capacité de leurs infrastructures, de leurs réseaux de transport ainsi que de leurs services publics rendus. Cette urbanisation a un effet sur les infrastructures physiques, sur la capacité fiscale des villes et sur l'environnement et les ressources naturelles (Chambre de commerce du Canada, 2012). Mais, ces nouvelles technologies favorisent la mise en place d'innovations et de nouvelles solutions technologiques qui peuvent en outre améliorer les infrastructures physiques de la ville dont le transport, l'approvisionnement en eau, la gestion de l'énergie et la gestion des eaux usées ainsi que les services d'urgence. (Doran, 2014) Ce concept, qui renvoie notamment à la réduction des impacts environnementaux du développement urbain, est aussi une façon de repenser nos modes de fonctionnement au sein de la ville et ses processus de gestion. Ce concept propose donc une vision moderne pour repenser la ville à l'ère des nouvelles technologies de l'information et des communications : c'est le « **modèle 2.0** » de la ville.

I-8 La ville intelligente :

L'expression « Ville intelligente » est la traduction française de l'expression anglo-saxonne Smart City. Par ailleurs, la ville de Southampton au Royaume-Uni serait la première ville dite intelligente. Ce concept met l'emphase sur les nouvelles technologies de l'information et des communications (NTIC). En effet, ces solutions technologiques permettraient de répondre aux difficultés que rencontrent les pouvoirs publics, essentiellement en matière de gestion des infrastructures des grandes villes, pour faire face à la croissance continue de la population

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

(ITIS, 2012). La ville intelligente devrait pouvoir régler plusieurs problématiques liées aux réseaux de transport collectif, de congestion routière, de gestion des matières résiduelles, de gestion des infrastructures d'eau et d'énergie, et de télécommunication. Dans un processus de mise en œuvre de la ville intelligente, la gouvernance est un pilier fondamental et la participation des citoyens en constitue un des éléments essentiels. En effet, le citoyen n'est pas seulement un consommateur, il devient une partie prenante du processus. Le concept de ville intelligente n'est pas une finalité en soi, mais un moyen pour arriver à atteindre des objectifs, tel que le maintien ou l'amélioration de la qualité de vie des habitants, le développement durable, l'économie des ressources ou encore la mobilité durable. Incorporer de nouvelles technologies 7 de l'information et de communications aux différents secteurs et services de la ville permettra d'atteindre ces objectifs. De façon générale, l'objectif de ce concept est de favoriser le développement le plus vertueux possible. [7]

I-9 Les composantes de la ville intelligente :

Différents modèles de ville intelligente sont présentés dans la littérature. Les modèles holistiques de Giffinger (Giffinger, s.d.) et de Cohen (Cohen, 2011) sont ceux qui sont le plus souvent utilisés pour démontrer les six composantes de la ville intelligente qui sont présentées en détail un peu plus loin dans la présente section. Le modèle de ville intelligente présenté ci-dessous, de Rudolf Giffinger, (Giffinger, s.d.) expert en recherche analytique du développement urbain et régional de l'université technologique de Vienne, a énoncé six critères pour définir ce qu'est la Smart City : économie intelligente (Smart Economy), gouvernance intelligente (Smart Governance), mobilité intelligente (Smart Mobility), environnement et énergie durable (Smart Environment), habitat intelligent (Smart Living), écocitoyenneté (Smart People). [8]

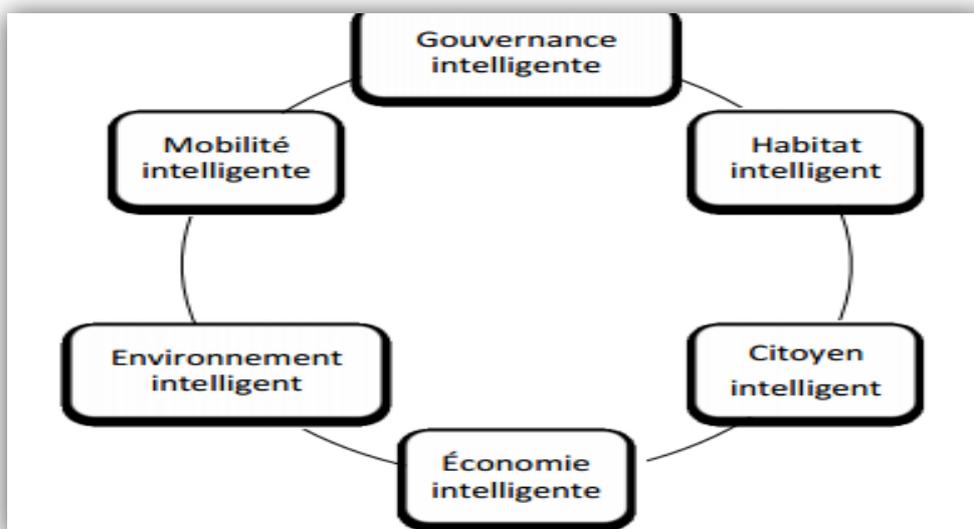


Figure I-3 : Les six leviers d'une ville intelligente.

(Inspiré de : Giffinger, s.d)

La figure I-5 a été élaborée par Boyd Cohen, chercheur, professeur et expert en stratégies urbaines et climatiques. Il est également spécialisé dans le domaine des villes intelligentes. Cette figure, nommée la « smart city wheel », présente les six dimensions pour devenir une ville intelligente, correspondant à une économie intelligente, une gouvernance intelligente, des citoyens intelligents, un habitat intelligent, une mobilité intelligente ainsi qu'un environnement intelligent. Dans la deuxième roue de ce diagramme Gouvernance intelligente Habitat intelligent Citoyen intelligent Économie intelligente Environnement intelligent Mobilité intelligente 11 circulaire, Boyd Cohen suggère les domaines dans lesquelles les différentes dimensions s'appliquent. Finalement, il propose également divers indicateurs pour mesurer la performance des six dimensions.

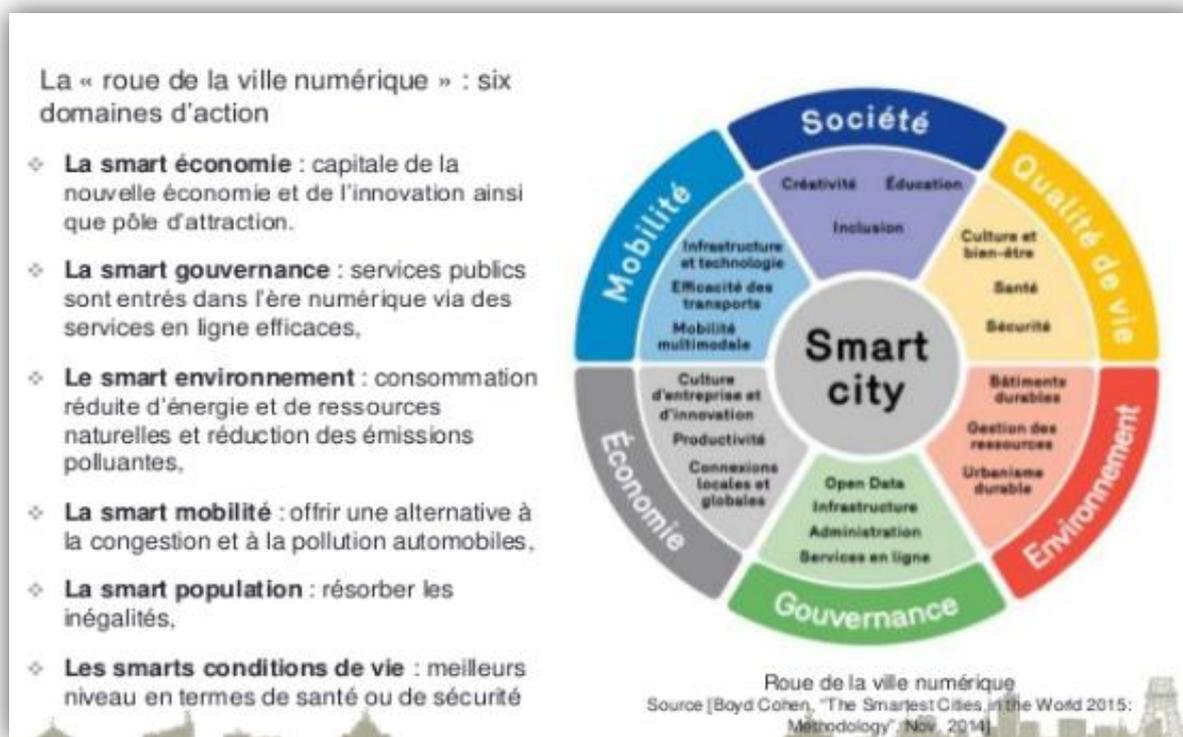


Figure I-4 : La roue de la ville intelligente (Cohen. B, 2014)

Le modèle de ville intelligente de Giffinger et celui de Cohen se ressemblent sensiblement. Les deux modèles intègrent six dimensions pour devenir une ville intelligente. Pour bien comprendre la pertinence de ces six dimensions en relation avec les problématiques auxquelles elles répondent, le **tableau I-1** constitue une synthèse présentant les dimensions ou leviers pour devenir une ville intelligente, les défis urbains actuels, les outils de mise en œuvre ainsi que les objectifs visés.

Tableau I-1: Tableau synthèse des six dimensions pour devenir une ville intelligente

DIMENSIONS DE LA VILLE INTELLIGENTE	DÉFIS URBAINS ACTUELS	OUTILS DE MISE EN OEUVRE	OBJECTIFS ET RÉSULTATS VISÉS
	Gouvernance fermée et peu transparente	• Panneaux informatifs électroniques	Gouvernance intégrée, transparente, ouverte et

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

Gouvernance intelligente.		<ul style="list-style-type: none"> • Web diffusion • Logiciel pour le suivi des requêtes en ligne 	favorisant la coopération.
Citoyen intelligent.	La qualité des services rendus aux citoyens, La participation citoyenne	<ul style="list-style-type: none"> • Plateforme en ligne pour favoriser la participation du public 	Favoriser la créativité et la flexibilité des citoyens et la participation à la communauté dans le but d'améliorer son milieu de vie
Économie intelligente	Difficulté d'attirer de nouvelles. Entreprises au centre de la ville	<ul style="list-style-type: none"> • Transactions en lignes • Échanges de données informatisées 	Attirer des entreprises et de la main-d'œuvre, créer des emplois durables créant de la valeur.
Mobilité intelligente	Infrastructures routières vieillissantes, congestion du réseau routier, demande croissante en transport en commun.	<ul style="list-style-type: none"> • Systèmes de géolocalisation • Bornes de recharge électriques • écrans électroniques • Application cellulaire • Caméras 	Optimiser les différents systèmes de transport en commun et transport actif, le tout coordonné efficacement par des systèmes technologiques.
Environnement intelligent	Consommation des ressources naturelles, gestion de l'eau, gestion des matières résiduelles.	<ul style="list-style-type: none"> • Capteurs • senseurs • smart grids 	Utiliser les ressources naturelles de façon durable et protéger l'environnement naturel. Favoriser la planification et l'aménagement durable du territoire. Créer un environnement sain qui favorise une vie de quartier.
	Gestion du	<ul style="list-style-type: none"> • Plateforme d'échange 	Crée un milieu de vie

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

<p>Habitat intelligent</p>	<p>développement urbain, étalement urbain, qualité et accessibilité aux services offerts.</p>	<p>web pour les quartiers</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nouvelles technologies pour les habitations écologiques 	<p>sécuritaire qui rassemble des composantes culturelles, des services de santé et d'éducation, qui offre des bâtiments de qualité et où il y a une cohésion sociale.</p>
-----------------------------------	---	---	---

En septembre 2015, les États membres de l'ONU ont adopté le programme de développement durable à l'horizon 2030, décliné sous la forme de 17 objectifs de développement durable (ODD). Parmi ces 17 ODD se trouve **l'objectif n° 11 « Villes et communautés durables »** [8]



Figure I-5 : Les composantes de la ville intelligente [8]

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

Les six composantes de la ville intelligente présentées dans les schémas de Giffinger et de Cohen sont illustrées de façon non hiérarchique. Tel que classé dans **le tableau I-1** mentionné précédemment et dans les paragraphes qui suivent, chacune des composantes est définie selon une hiérarchie proposée. Cette hiérarchie est en fait une suite logique de processus ou étapes par lesquels une ville deviendra intelligente. Avant le tout début d'une démarche, il est essentiel d'avoir l'appui de l'instance qui gouverne et par le fait même avoir une bonne gouvernance qui est adaptée et spécifique à la démarche et aux objectifs visés. Ensuite, dans la ville intelligente le citoyen est une partie prenante qui participera de près ou de loin à la réussite de cette démarche. Une fois que les deux dimensions précédentes sont ancrées et bien établies dans la démarche, les quatre autres dimensions sont d'égale importance. C'est à-dire que l'on doit toutes les considérer si l'on veut devenir une ville intelligente, et ce, à importance égale.

I-9-1 Gouvernance intelligente :

La gouvernance des villes intelligentes doit être étudiée comme un processus complexe de changement institutionnel et prendre en considération la nature politique des visions séduisantes de la gouvernance socio-technologique. [9]

Les nouvelles technologies de l'information et des communications servent de levier entre les décideurs, les acteurs publics ainsi que les citoyens. Pensons notamment à des tableaux électroniques dans des lieux publics qui peuvent afficher de l'information à l'intention des citoyens ou encore à une diffusion web simultanée des rencontres du conseil pour permettre à un plus grand nombre de personnes d'y assister. Cette gouvernance qui est dite intelligente est celle qui saura briser les silos au sein de l'administration et des services municipaux et qui permettra la collaboration étroite entre les différents acteurs et les citoyens. La ville devrait interagir avec les citoyens en direct, et ce, grâce à divers outils web dont des interfaces d'accès instantané (**Harrison et Donnelly, 2011**).

I-9-2 Citoyen intelligent :

Le citoyen est une importante partie prenante dans la ville intelligente.

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

Les premières mesures de la ville intelligente se sont concentrées sur la distribution spatiale du capital humain pour comprendre l'accroissement de la divergence entre des espaces ayant une forte densité de diplômés et ceux présentant une population peu diplômée. Face à ce constat, l'attractivité des talents couplés à la formation continue est alors devenue un objectif pour renforcer le capital humain et social de la population. De tels constats se sont largement inspirés des études concernant les classes créatives reconverties sous l'étiquette nouvelle des «citoyens intelligents». C'est pourquoi certains intègrent la créativité, l'ouverture d'esprit ou la diversité ethnique comme sous-domaine. [10]

I-9-3 Économie intelligente :

Une économie intelligente, c'est un pilier économique dont on se sert comme vecteur pour l'innovation et la création d'emplois durables pour la ville. Selon Giffinger, une économie intelligente est basée sur 14 un esprit d'innovation et d'entrepreneuriat, sur la productivité et la flexibilité du marché. Elle possède aussi une aptitude à se transformer et à enchâsser le marché international. (Giffinger, s.d.) L'analyse d'une multitude de données en plus de l'accès à de nouvelles sources d'information permettra aux villes de créer de nouvelles opportunités, de la prospérité et de nouveaux emplois. Une des principales motivations de devenir intelligente est le pouvoir de devenir une ville attrayante sur la scène internationale, mais surtout un désir de développement économique. (Harrison et Donnelly, 2011)

I-9-4 Mobilité intelligente :

L'accès aux données de transport en temps réel via des écrans électroniques dans les stations, dans les wagons de métro ou dans les autobus ou encore via les téléphones intelligents personnels permettrait aux usagers de connaître une foule d'informations. C'est-à-dire, l'état de la circulation sur le réseau routier, le temps d'attente aux arrêts et stations de transport en commun, les pannes et en somme une meilleure gestion des flux urbains. Une mobilité intelligente qui serait possible grâce aux divers centres de gestion des données, aux capteurs d'informations et aux caméras. Ainsi, les utilisateurs des transports deviennent des producteurs de données.

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

Les transports et la ville intelligente vont peu à peu changer notre mobilité mais il faut que la technologie, la législation, les infrastructures et les consommateurs avancent en même temps et dans la même direction.

I-9-5 Environnement intelligent :

Dans une ville intelligente, les divers outils technologiques permettent notamment une protection et une préservation de nos ressources naturelles et des milieux naturels, comme par exemple, des capteurs pour détecter les fuites dans le réseau d'aqueduc, des senseurs pour suivre le transport des matières résiduelles ou des capteurs pour mesurer le niveau de pollution de l'air. Il s'agit là de nouvelles technologies qui permettent de fournir une panoplie d'informations en temps réel. Le développement des smart grids (à savoir des systèmes de gestion centralisés à partir de l'analyse des données collectées dans le domaine de l'éclairage public, l'eau ou les déchets) s'inscrit dans cette tendance. Les autres domaines d'activités similaires concernent les énergies renouvelables, mais également la qualité des logements.

Enfin, certains chercheurs intègrent les principes de smart growth, la lutte contre l'étalement urbain ainsi que l'intégration des nouvelles technologies dans les cultures agricoles présentes sur le territoire. [9]

I-9-6 Habitat intelligent :

L'habitat intelligent peut être applicable à différentes échelles. À l'échelle du milieu de vie, il peut s'agir d'un milieu de vie sécuritaire, où foisonne la culture et qui offre des services de santé et d'éducation. De plus, il peut s'agir de développer des quartiers verts ou des éco quartiers qui peuvent être par exemple élaborés dans le cadre de différents programmes, dont l'Agenda 21. À l'échelle de l'habitat, il peut s'agir d'habitations écologiques, voire des habitations qui sont certifiées selon le Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) ou encore des habitations qui comprennent certaines composantes écologiques. [8]

I-10 Le rôle des nouvelles technologies de l'information et des communications et les secteurs impliqués :

Les TIC (technologies de l'information et de la communication) sont des technologies utilisées dans les domaines de la transmission de l'information, d'Internet et des télécommunications. En 1960, les téléphones, les téléviseurs et les ordinateurs étaient considérés comme de « nouvelles technologies ». Dans les années 1990, les nouvelles technologies ressemblaient davantage aux téléphones mobiles (GPS), aux systèmes d'information géographique et à Internet. Il est vrai que ces technologies ne sont pas si nouvelles, elles ont été développées il y a vingt ans. Dans les villes intelligentes et durables, les technologies de l'information et de la communication (TIC) sont intégrées aux infrastructures traditionnelles. Les TIC jouent un rôle clé dans les villes intelligentes et durables car elles constituent une plate-forme qui peut recueillir des informations et des données pour mieux comprendre comment les villes fonctionnent en termes de consommation de ressources et de services.

Dans le cas du transport en commun, l'accès aux données en temps réel par l'intermédiaire de son téléphone intelligent peut guider l'utilisateur sur le trajet à emprunter et le mode de transport. (Fauchaux et autres, 2010) Dans les années 2000, le téléphone intelligent a fait son apparition sur les marchés internationaux. Les sites Internet et applications mobiles pour téléphones fleurissent afin de faciliter les déplacements des citoyens en ville. « Le téléphone portable devient l'assistant personnel de mobilité. Il permettra bientôt à tout usager de gérer la complexité de son trajet grâce un large choix de modes de transport » indique Gabriel Plassat, Expert pour l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail).

Co-voiturage, auto-partage, pratique du vélo et utilisation des transports collectifs montent en puissance d'année en année grâce à l'essor des supports numériques mis à la disposition des usagers. Ces sources d'informations publiques, associant données en temps réel et géolocalisation, permettent de découvrir les parcs à vélos et parcs automobiles les plus proches, de mettre en relation conducteurs et passagers pour des trajets de covoiturage ou d'assurer une information très complète sur les bus, cars, métros et tramways (lignes, horaires et trajets préférentiels). [10]

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

Centre de gestion de données, caméras, compteurs et capteurs intelligents, supports numériques et dispositifs d'information sont des NTIC dont plusieurs domaines de l'action publique bénéficient. En effet, gestion des bornes de recharge pour véhicules électriques, gestion des péages urbains, stationnements intelligents, éclairage public intelligent, vidéosurveillance, gestion des déchets et traitement, réduction de la consommation d'énergie et d'eau, facilitation des déplacements urbains et mobilité urbaine intelligente sont des services et infrastructures qui pourront être assurés par les nouvelles technologies. (Commission de Régulation de l'Énergie, s.d.) Les technologies de l'information pourront faciliter l'accès à l'information autant pour les usagers que les données qui seront générées par les différents appareils mobiles. Les nouvelles technologies de l'information et des communications sont un vecteur de changement lorsqu'on parle de ville Intelligente. En effet, les TIC peuvent jouer un rôle dans plusieurs des secteurs d'une ville. La figure est un schéma de la ville intelligente qui représente les différents secteurs dans lesquels il est possible d'utiliser différentes technologies de l'information et des communications dans le but de devenir une ville intelligente. Ces secteurs sont les services publics tels que les transports, l'énergie, l'eau, le bâtiment, la santé, l'éducation, la sécurité publique et les services publics.

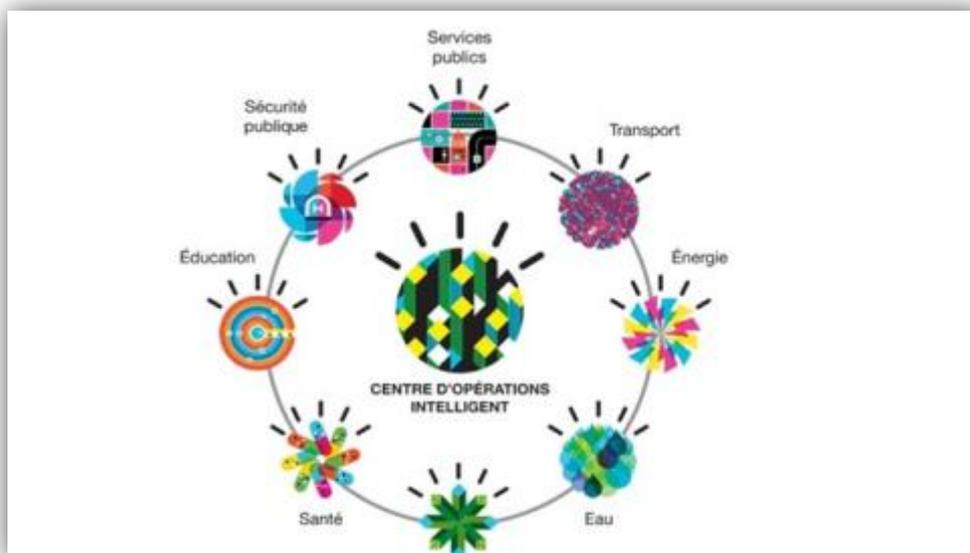


Figure I-6 : Les différentes sphères d'intervention d'une ville intelligente

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

Prenons quelques exemples de domaines d'application. Dans le domaine du transport et de la mobilité, les NTIC peuvent être utilisées pour améliorer la fluidité du trafic ou encore pour optimiser les différents modes de déplacement. Caméras, applications mobiles, capteurs et compteurs intelligents, centre de gestion des données du transport en temps réel sont des technologies qui peuvent répondre aux défis du transport dans une ville. Ces outils et techniques permettent de recueillir une multitude d'informations et permettent ainsi d'améliorer les services existants et de répondre aux problématiques.

Les TIC ont le potentiel de faire partie de la solution pour répondre aux préoccupations climatiques les plus urgentes, et de permettre la transition nécessaire vers une économie circulaire. La surveillance du climat nous aide à comprendre et à interpréter les changements récents, tout en considérant les variations futures. Ces technologies permettent de s'attaquer aux causes profondes du changement climatique, en réduisant par exemple les émissions de gaz à effet de serre nocifs comme le dioxyde de carbone et le méthane. En outre, les TIC peuvent servir à aider les pays et les communautés à s'adapter au changement climatique en réduisant les risques et en tolérant les effets liés aux conséquences de celui-ci. Les TIC, comme la télédétection et les systèmes d'information géographique par exemple, permettent d'évaluer les risques. Elles contribuent également la mise en place de plans d'urgence pour une prise de décisions plus éclairées. En cas de catastrophe, elles sont essentielles à la transmission de messages d'alerte aux personnes à risque. [11]

Le secteur du bâtiment intelligent est également alimenté par les technologies de l'information. Le bâtiment durable privilégie l'utilisation de matériaux durables et la diminution de l'utilisation de ressources non renouvelables. Il participe au bâtiment durable en utilisant des technologies pour faciliter la conception, la construction et le fonctionnement des bâtiments. (Faucheux et autres, 2010) Les différents secteurs et services de la ville, que ce soit le secteur de la voirie, le secteur de l'aménagement, de l'environnement de l'ingénierie, du transport, des télécommunications, des loisirs et de la culture travaillent actuellement en silo. Dans une ville intelligente, ces différents services et secteurs d'activités de la ville devraient être interconnectés et devraient pouvoir communiquer ensemble grâce aux nouvelles technologies. Ces dernières devraient permettre à l'information de circuler entre les services, mais aussi plus facilement entre l'administration, le client et le citoyen.

I-11 Limites du concept et de sa mise en œuvre :

Le concept de ville intelligente et sa mise en œuvre rencontrent des limites de différente nature selon les objectifs visés et l'ampleur du chantier de mise en œuvre. Les besoins en infrastructure d'information et infrastructure physique sont assez importants et les coûts sont proportionnellement élevés. Les coûts de gestion, de fonctionnement et d'entretien peuvent être élevés également. L'évolution rapide des technologies peut mener à l'obsolescence créant un nouveau besoin et des coûts afférents. Impliquer le citoyen dans ce processus de changement et obtenir son acceptation demeure également un défi. L'acceptabilité sociale du projet et le respect de la vie privée demeurent un volet social à considérer pour la mise en œuvre du concept. Les yeux sont présentement tournés vers ce concept qui semble apporter les solutions optimales aux problématiques urbaines actuelles, notamment issues des modes de développement des villes. Le fait de se concentrer uniquement sur ce concept pourrait mettre de côté le développement durable très prôné dans les dernières années. Certains projets bien réussis ont confirmé aux villes un statut de Ville intelligente. Les villes qui entreprennent une démarche afin de devenir intelligente ont tendance à implanter ces projets tels quels alors que ces projets pré faits ne correspondent pas nécessairement à la réalité de la ville. La fracture numérique est ce fossé créé entre les personnes qui ont un accès et celles qui n'ont pas accès aux outils numériques, que ce soit l'accès à l'Internet, l'accès au matériel, comme des ordinateurs ou des logiciels, l'accès à la compréhension ou à l'usage des technologies. Cette fracture peut être créée par des facteurs d'ordre géographique, socio-économique et générationnel. (Goulet et autres, 2014) Si l'on veut impliquer le plus de participants, il faut trouver d'autres moyens de recueillir le pouls des citoyens, notamment par des causeries rassemblant de petits groupes de résidents par quartier. Le concept de ville intelligente demeure une approche très normative. C'est-à-dire qu'il s'agit d'un modèle de ville à atteindre. Une ville peut posséder diverses technologies de l'information et des communications au sein de ses services, être très efficace et efficiente sans se dire intelligente. La ville intelligente c'est aussi une étiquette et une question de marketing. Il existe une forme de compétition auprès des villes. Effectivement, chaque ville désire être attrayante et invitante. Le concept de ville intelligente se veut un peu comme un branding pour attirer. Quoique les désirs de mettre en œuvre une stratégie de ville intelligente aient

Chapitre I : Développement durable et ville intelligente

pour objectif d'atteindre un but et de régler certaines problématiques, il peut s'agir, en partie, d'un désir de projeter une image à l'international. [7]

Le concept de ville intelligente s'instaura dans un univers où le numérique règne. Il s'agirait de la façon contemporaine de revoir le fonctionnement de nos villes. Devenir une ville intelligente nécessite des infrastructures informatiques et technologiques, mais également un effort au niveau de la démarche et de l'élaboration d'une stratégie pour la mise en œuvre des différents projets

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons déterminé comment la ville intelligente peut être mobilisée comme vecteur du développement durable. On a constaté qu'une seule et inique définition de la ville intelligente n'existait pas. Pour qu'une ville soit intelligente ; il est impératif d'avoir les six composants principaux de (Giffinger. R) ainsi que l'utilisation des technologies de l'information et de communication dans ses infrastructures, services et mode de vie des citoyens pour répondre aux besoins de sa population, mais aussi pour améliorer la qualité de vie.

Chapitre II :
Eco-quartier: mécanismes et stratégies
d'application

Chapitre II : Eco-quartier : mécanismes et stratégies d'application.

Introduction :

Si on insiste sur le fait que la ville est la principale source de pollutions dont souffrent la planète, la solution doit impérativement venir de la ville. Le mot « urbain » qui autre fois était une référence pour ce qui est beau, sophistiqué et évolué est devenu, après quelques décennies, synonyme de désordre, nuisance et dégradation.

Il ne s'agira plus d'urbanisme tout court, mais d'urbanisme écologique pour pouvoir sauver la ville et lui faire redorer son blason.

L'éco-quartier est un projet de développement urbain qui vise à intégrer les objectifs de développement durable et à réduire l'empreinte écologique du projet en prenant en compte de manière cohérente tous les enjeux environnementaux

II-1 Définition d'un éco-quartier :

Le quartier durable est un territoire qui, pour sa création ou sa réhabilitation intègre dans une démarche volontaire, une conception et une gestion intégrant les critères environnementaux, un développement social urbain équilibré favorisant la valorisation des habitants, la mixité sociale et des lieux de vie collective, des objectifs de développement économique, de création d'activités et d'emplois locaux, les principes de la gouvernance que sont la transparence, la solidarité, la participation et le partenariat. [12]

Un quartier durable est une zone de mixité fonctionnelle développant un esprit de quartier ; c'est un endroit où les personnes veulent vivre et travailler, maintenant et dans le futur. Les

Chapitre II : Eco-quartier : mécanismes et stratégies d'application.

quartiers durables répondent aux divers besoins de ses habitants actuels et futurs, ils sont sensibles à l'environnement et contribuent à une haute qualité de vie. [13]

Ils sont sûres et globaux, bien planifiés, construits et gérés, et offrent des opportunités égales et des services de qualité à tous. (**Accord de Bristol, 6-7 décembre 2005**) La planification de quartiers durables a pour objectif de fonder un quartier sur des principes environnementaux, économiques et sociaux. »

Un éco-quartier, ou quartier durable est un quartier urbain qui s'inscrit dans une perspective de Développement durable : il doit réduire au maximum l'impact sur l'environnement, favoriser le Développement économique, la qualité de vie, la mixité et l'intégration sociale.

Il s'agit de construire un quartier en prenant en considération un grand nombre de problématiques sociales, économiques et environnementales dans l'urbanisme, la conception et l'architecture de ce quartier.

L'éco-quartier va intégrer en amont de sa conception de nombreux critères, notamment :

- La gestion de l'eau : traitement écologique des eaux usées, épuration, protection des nappes

Phréatiques, récupération de l'eau de pluie pour une réutilisation dans le quartier.

- Le traitement des déchets : collecte des déchets sélective, tri, recyclage, compostage, traitement thermique. [14]



Figure II-1 : Exemple d'un éco quartier « Diar el djenane » en Algérie (source : <http://www.arte-charpentier.com/fr/projet/eco-quartier-diar-el-djenane/>)

II-2 Historique des éco-quartiers :

Il remonte à la fin des années 1980 début des années 1990 comme précisé par l'un des spécialistes dans le domaine à savoir « L'éco quartier ne en Europe du Nord à la fin des années 1980-début des années 1990 avec les quartiers Vauban à Fribourg-en-Brisgau, Bo01 à Malmö ou encore BedZed à Londres, il se veut un quartier exemplaire au regard du développement durable. » [15]. On peut donc résumer la naissance du concept « éco quartier », progressivement en cinq dates Clés qui sont:

- 1992 : Conférence de Rio de Janeiro. La ville est considérée comme le champ d'application privilégié pour concrétiser le développement durable
- 1996 : Charte d'Aalborg. Quelques villes allemandes, scandinaves ou néerlandaises ouvrent la voie à de nouvelles approches d'aménagement urbain. Les premiers éco quartiers naissent, faisant figure de modèle

- 24 mai 2007 : Charte de Leipzig sur la ville européenne durable. Issue d'une concertation entre les 27 ministres européens en charge du développement urbain, elle « met en avant les villes européennes traditionnelles comme un bien économique, social et culturel précieux et irremplaçable »
- Octobre 2008 : Développement du mouvement en France dans le cadre du « plan ville durable » présenté par Jean-Louis Borloo, Ministre de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM)
- 3 août 2009 : Promulgation de la loi Grenelle 1. Toutes les communes qui ont des programmes de développement de « l'habitat significatif » doivent avoir au moins un éco quartier avant 2012.

II-3 la stratégie d'éco-quartier :

- La stratégie énergétique : atteindre un bilan énergétique neutre, voire positif, c'est à dire que la Production et la consommation d'énergie doivent au minimum se compenser. La politique énergétique du quartier durable devra reposer sur des énergies renouvelables, et la mise en place de système spécifiques.

- L'utilisation de matériaux locaux et écologiques pour la construction : éco-conception, éco construction, éco-matériaux.

- Le respect des critères de la Haute Qualité Environnementale pour la construction

- La mise en place de systèmes de déplacements propres : transports en commun, transport "doux», Réduction des distances

une politique de mixité et d'intégration sociale, avec toutes catégories de populations se mélangeant dans le quartier.

- La participation des citoyens à la vie du quartier, la mise en place d'une gouvernance

- La création d'équipements, de commerces, d'infrastructures accessibles à tous.

Un éco-quartier coordonne dans une même dynamique les éléments suivants :

Chapitre II : Eco-quartier : mécanismes et stratégies d'application.

- La réponse à l'évolution démographique par une gamme de logements adaptés aux différentes Situations et aspirations, dans un esprit d'équilibre social et intergénérationnel
- La création d'une ville vivante et diversifiée, par la création d'emplois, et l'impulsion de nouvelles Dynamiques économiques et commerciales
- La promotion des "courtes distances", le développement de modes de transports alternatifs à la voiture individuelle, la promotion des modes doux et de la mobilité intermodale
- Des choix énergétiques raisonnés et le recours aux énergies renouvelables
- L'utilisation des techniques, matériaux et dispositifs propres à l'éco-aménagement et l'éco construction
- La création de systèmes alternatifs d'assainissement et de gestion des eaux pluviales
- Une intégration de la prévention des risques et de la lutte contre les nuisances comme éléments constitutifs de l'optimisation du cadre de vie
- La protection des paysages et une approche des espaces naturels comme valeur ajoutée à l'urbanité du quartier, et comme trame support de la biodiversité
- Une gouvernance renouvelée où la participation, l'information et la formation des différents acteurs permettent que les principes et innovations du nouveau quartier soient compris, acceptés et intégré dans les pratiques et les gestes quotidiens de tous les habitants. [16]



Figure II-2 : Management de projet [16]

II-4 Caractéristiques de l'éco-quartier :

Caractérisés par une innovation énergétique et architecturale. Ces éco- quartiers sont des morceaux de ville qui doivent prendre en compte les enjeux de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme, à savoir :

- Réduire au maximum l'impact sur l'environnement,
- Favoriser le développement économique,
- Proposer de nouvelles habitudes de déplacements,
- Garantir une bonne qualité de vie à ses usagers et de permettre la mixité et l'intégration sociale.
- Une construction durable du quartier
- Une gestion économe des déchets
- Une meilleure consommation et gestion de l'eau
- Une réduction de la consommation d'énergie.

- Favoriser la mixité sociale. [17]

II-5 Les principes de l'éco-quartier :

La planification de quartiers durables a pour objectif de fonder un quartier sur des principes environnementaux, économiques et sociaux en mettant l'accent sur :



Figure II-3 : les principes du quartier durable [16]

II-6 Les enjeux de l'éco-quartier durable : [18]

Un éco quartier est un projet liant autant que possible les différents enjeux

Environnementaux dans le but de réduire l'impact du bâti sur l'environnement.

Les dix enjeux de développement durable liés à l'aménagement de quartiers durables sont :

- Des bâtiments innovants et performants, qui offrent des espaces de qualité et s'adaptent avec souplesse aux besoins de chacun.

- Une diversité de lieux et d'activités : habitations, espaces publics, activités économiques, services publics, établissements scolaires, commerces et services de proximité, équipements culturels, sportifs et citoyens.

- La maîtrise des risques sanitaires liés à la pollution de l'air, à la circulation, au bruit, et prévention des risques majeurs (technologiques et naturels).

Chapitre II : Eco-quartier : mécanismes et stratégies d'application.

-Une mixité sociale et un équilibre générationnel, parce que la vraie richesse est dans la diversité et la transmission.

- Des moyens de transports diversifiés, reliés et abordables pour faciliter la mobilité des hommes et des biens, des moyens de communication adaptés pour faciliter la mobilité de l'information.

- La participation de toutes et de tous à la création et à la gestion de l'éco-quartier, afin de garantir sa pérennité, son attractivité et son rayonnement.

- Le développement d'activités économiques de proximité (circuits courts), circulaires et solidaires.

- Une réduction ambitieuse des émissions de gaz à effet de serre afin de lutter contre le changement climatique : limitation des besoins en énergie, développement des énergies renouvelables, mobilité des personnes et des marchandises grâce à des modes de déplacement « doux ».

-La préservation des milieux naturels et l'enrichissement de la biodiversité, notamment par une gestion différenciée des espaces verts et une continuité écologique.

-Une gestion durable des ressources naturelles et le choix de matériaux de construction à faible impact environnemental.

II-7 Les types des éco-quartiers :

Certains auteurs (**Souami, 2009**) (**Barton H, 2000**) (**Lefèvre, 2008**) proposent une typologisation pour les premiers éco-quartiers. Ces propositions de catégorisation peuvent être regroupées à travers deux tendances :

- Typologies liées au contexte et au fonctionnement

- Typologies liées au modèle d'urbanisation et la façon de l'optimiser pour la prise en compte des principes majeurs d'un développement urbain durable

Les auteurs (**Souami, 2009**) (**Barton H, 2000**) parlent de types de quartiers en se basant sur des critères quasi similaires : localisation, échelle, fonction et agencements.

Chapitre II : Eco-quartier : mécanismes et stratégies d'application.

Pierre Lefèvre (**Lefèvre, 2008**) propose une catégorisation par type d'aménagement urbain. Elle se base sur 4 modèles d'aménagement urbain préexistants :

- L'urbanisation linéaire : quartier qui se structure à partir d'un axe linéaire ou qui s'étire entre deux points d'intérêt.
- L'urbanisation radioconcentrique : quartier qui se structure à partir d'un centre urbain (secondaire) de façon radioconcentrique
- L'urbanisation de secteur : quartier qui s'organise pour une fonction spécifique
- La cité jardin : quartier qui se structure autour des espaces verts cultivés ou qui permet une présence prédominante des espaces verts

Dans les deux cas il n'existe pas de modèle urbanistique unique pour les éco-quartiers. [19]

II-7-1 L'éco-village :

Ce sont des projets de villages ou hameaux basés sur le territoire, l'agriculture, la constitution de petites entreprises et sur le tourisme local.

Les éco-villages reposent sur trois axes : un modèle économique alternatif, une place prépondérante accordée à l'écologie et une vie communautaire active. Un des objectifs de ce concept est de redonner une place plus équilibrée à l'homme en harmonie avec son environnement, dans un respect des écosystèmes présents. [20]

II-7-2 Télé-village :

Ce modèle, plutôt rural ou semi-rural, est basé sur les télécommunications.

Le télé-village est plus susceptible d'être créé par le marché (promoteurs) que par des habitants engagés dans une démarche de développement durable. Ce sont souvent des extensions d'universités ou des bureaux locaux qui proposent la possibilité du télétravail. [19]

II-7-3 Prototype expérimental :

Ils visent par conséquent une autonomie totale et s'analysent comme des écosystèmes fermés (par exemple, production de l'énergie dans le quartier même).

Les « quartiers prototypes » se développent principalement lors d'événements importants (jeux olympiques...). Dans ce cas, il est difficilement envisageable de multiplier ces expériences. [16]

II-7-4 Eco-communautés urbaines :

Elles prennent diverses formes, mais toutes ont les mêmes objectifs: vivre en harmonie avec l'environnement, adhérer aux principes de développement durable et de solidarité sociale.

Ces communautés visent l'utilisation durable des ressources naturelles – constructions écologiques, sources d'énergie renouvelable, protection et régénération des écosystèmes, agriculture biologique, perma-culture, gestion des déchets, achats locaux, etc.;

Elles aspirent à une viabilité économique par la création de micro-éco-entreprises. [21]

II-7-5 Iles urbaines écologiques :

Les îles urbaines écologiques sont des développements urbains de grande échelle « nouvelles villes » basés sur la circulation et la mobilité (en anglais « TODs » : Transit Orientated Developments). Ce sont des projets de villes impliquant nécessairement des partenariats entre autorités locales et nationales et le secteur de l'aménagement et de la construction. [19]

II-7-6 Unités urbaines écologiques :

Les nouveaux éco quartiers urbains sont basés sur des objectifs clés d'efficacité énergétique des transports, de haute qualité environnementale et de création de communautés, mais pas sur des objectifs écologiques spécifiques. Par ailleurs ce sont souvent des petites parties d'ensembles urbains plus grands.

II-7-7 Le quartier type :

Il s'agit de projets des quartiers initiés de manière classique, utilisant des outils communs de construction et d'aménagement, mais contenant également des objectifs de qualité environnementale. Ces quartiers ordinaires adaptent le modèle nord européen (prototype expérimental) à l'environnement et aux ressources locales. Les méthodes de production sont

ordinaires plutôt que spéciales, et le but est de les changer dans une perspective de développement durable.

II-8 Les critères d'un éco quartier : [16]

- **Un quartier conçu pour réduire son impact environnemental :**

L'objectif de zéro carbone dans l'habitat est indispensable pour limiter le réchauffement climatique car c'est l'un des seuls secteurs où cela est réalisable facilement avec les techniques d'aujourd'hui. Selon Rodolphe Deborre, les moyens pour y parvenir se déclinent en plusieurs étapes, de la plus accessible et efficace, à la plus fine :

- Concevoir des bâtiments à faible consommation d'énergie :

Cela passe par l'application des principes de la construction bioclimatique (orientation sud, stores protecteurs)

- La réduction importante de la consommation d'énergie pour l'eau chaude sanitaire et pour l'électricité hors chauffage reste plus délicate.
- L'utilisation des énergies renouvelables : Pour subvenir aux (faibles) besoins en énergie, de manière à réduire au maximum les émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie du bâtiment mais aussi à transformer le bâtiment en un logement producteur d'énergie aussi baptisé « bâtiment à énergie positive ».

Ceux-ci évitent non seulement une grande partie des problèmes liés à la fabrication des matériaux, mais contribuent également à la création d'une ambiance saine à l'intérieure d'une maison en évitant la pollution des substances chimiques émises par certains matériaux synthétiques.

La gestion de l'eau :

Elle doit être compensée par de la rétention d'eau et une régulation des débits dans les stations d'épuration. Les solutions, déjà mises en place dans plusieurs collectivités, peuvent être la

Chapitre II : Eco-quartier : mécanismes et stratégies d'application.

récupération des eaux de pluie, la récupération des eaux usées, ou encore la renaturalisation des sols.

Le transport :

Aménager un quartier durable implique donc de penser très en amont quels seront les flux créés par le mode de vie offert aux habitants, et comment minimiser leur impact environnemental. Il est primordial de créer un réseau de transport collectif qui apporte une desserte de qualité aux habitants, de manière à ce qu'ils n'aient pas besoin d'utiliser quotidiennement une voiture individuelle. Cette démarche peut être accompagnée du développement d'autres transports doux, comme l'autopartage pour les habitants et les entreprises implantées, les véhicules propres (voitures hybrides...), les pistes cyclables,

La gestion des déchets :

Avec le chauffage et l'eau, les charges d'habitat financent la collecte des déchets. C'est donc encore un volet sur lequel on peut agir pour le bénéfice du citoyen à long terme. Des solutions innovantes ont été développées :

Le compostage : les déchets verts, déchets de jardin, épluchures de légumes... peuvent facilement être transformés en compost, qui enrichira le sol des jardins individuels ou des espaces verts de la municipalité, laquelle pourra ainsi diminuer sa consommation d'engrais chimiques. La Ville D'Angers, Rennes Métropole et le Grand Lyon... ont d'ores et déjà mis en place des systèmes de compostage individuel.

Intégration de critères sociaux et économiques :

- La volonté d'un développement social harmonieux.

-L'enjeu est de taille : Il s'agit d'un enjeu de paix sociale. S'il est difficile de décréter la mixité sociale, il n'en reste pas moins qu'elle est accessible et les expériences étrangères sont là pour nous le prouver. La mixité sociale a d'ailleurs plusieurs visages.

La mixité sociale

La mixité intergénérationnelle : des écoles et des jardins d'enfants ouvrent en fonction des contraintes horaires des parents et l'établissement pour personnes âgées est intégré à la vie du

Chapitre II : Eco-quartier : mécanismes et stratégies d'application.

quartier. Pour une expérience réussite on doit agencer des espaces conçus pour favoriser le lien social et les rencontres : jardins pour les locataires, espaces verts, terrains de jeux autorisés, jardins ouverts participant à l'aménagement de l'espace public.

Focus sur la qualité de vie :

Outre les caractéristiques techniques mentionnées, l'utilisateur fera toujours son choix en fonction de la qualité de vie que pourra offrir le quartier et celle-ci s'exprime aussi à travers d'autres aspects :

Un environnement sonore de qualité : si les nuisances sonores quotidiennes ne peuvent jamais provoquer de surdité traumatique, elles peuvent être à l'origine de troubles tels que anxiété, irritabilité, dépression ou encore cardiovasculaires. La lutte contre le bruit passe par la diminution du trafic routier en zone résidentielle ou urbaine, des murs anti-bruit autour des grands axes, et une conception appropriée des appareils électroménagers.

L'amélioration du cadre de vie à travers l'intégration d'espaces verts : ceux-ci peuvent être des coulées vertes, des parcs, des pergolas, le retour des jardins ouvriers ou des potagers.

La qualité des services publics : le quartier durable doit être en mesure d'apporter les services publics qui garantissent le bon fonctionnement d'une société. Suivant sa taille, il sera autonome ou dépendra des quartiers environnants. Dans tous les cas, il doit s'inscrire dans le tissu urbain existant et doit profiter des synergies avec les quartiers voisins.

Pour un développement économique durable :

Un quartier durable est également l'occasion d'insérer des pratiques économiques responsables.

Dans les faits, cela passe par l'accueil de bureaux en plus des logements. Cette mixité permet d'assurer un certain niveau d'activités aux commerces de proximité, en particulier pour la restauration, ce qui en fait un quartier vivant et convivial. Il s'agit de créer des quartiers, multifonctionnels, qui ont leur propre vie, comme un village, un centre-ville, ou encore les villes que l'on a créé jusqu'au 19^e siècle, et non pas comme celles du 20^e, ville-dortoir, ville-usine, ville-musée, centre d'affaires...

La démarche de quartier durable pousse à aller encore plus loin, en intégrant les aspects de développement économique dans la construction même du quartier.

La rénovation des bâtiments :

La rénovation des bâtiments porte en elle un véritable avantage économique par rapport à la construction : une politique encourageant la rénovation en basse énergie a un effet positif sur l'emploi car une rénovation en basse énergie nécessite 70% de temps de travail et 30% de matériel acheté alors que pour le même travail la répartition pour une rénovation classique est de 50/50, et donc moins créatrice d'emplois.

II-9 Les objectifs d'un quartier durable :

Lorsque l'on parle de quartier durable, il faut s'interroger sur la notion même de durabilité : le quartier, en tant que portion d'une ville, interroge la notion même de ville. Comme le souligne Michel Thiollière, Maire de Saint-Etienne, « Les villes sont nées parce que des hommes espéraient une vie meilleure. Des villes meurent, ou risquent de mourir, parce que des activités s'interrompent brutalement, parce que la ville a été désertée, parce que des paris ont été perdus. Des villes sortent de la crise : ce sont celles là qui nous en apprennent le plus »

Un quartier écologique se doit de respecter certains objectifs afin de pouvoir être considéré en tant que tel. Des objectifs qui rentrent dans une démarche de développement économique et social, ainsi que de bilan énergétique positif des logements :

- L'environnement local et la qualité de vie. [22]
- L'environnement global.
- Promouvoir une gestion responsable des ressources.
- Proposer des logements pour tous et de tous types participant au « vivre ensemble » et à la mixité sociale.
- L'intégration du quartier dans la ville avec la densité, la mixité, les déplacements...
- La participation
- L'économie du projet avec les emplois, les activités, l'insertion...

II-10 Les 5 piliers d'un éco quartier :

II-10-1 Critères relatifs à l'aménagement :

Il est très important de garder à l'esprit que les orientations prises dans l'aménagement influent directement sur la qualité de vie du quartier et sur la perception qu'en auront les habitants de la ville. C'est notamment lors de la création du plan de masse que l'on raccorde les cheminements doux, que l'on intègre

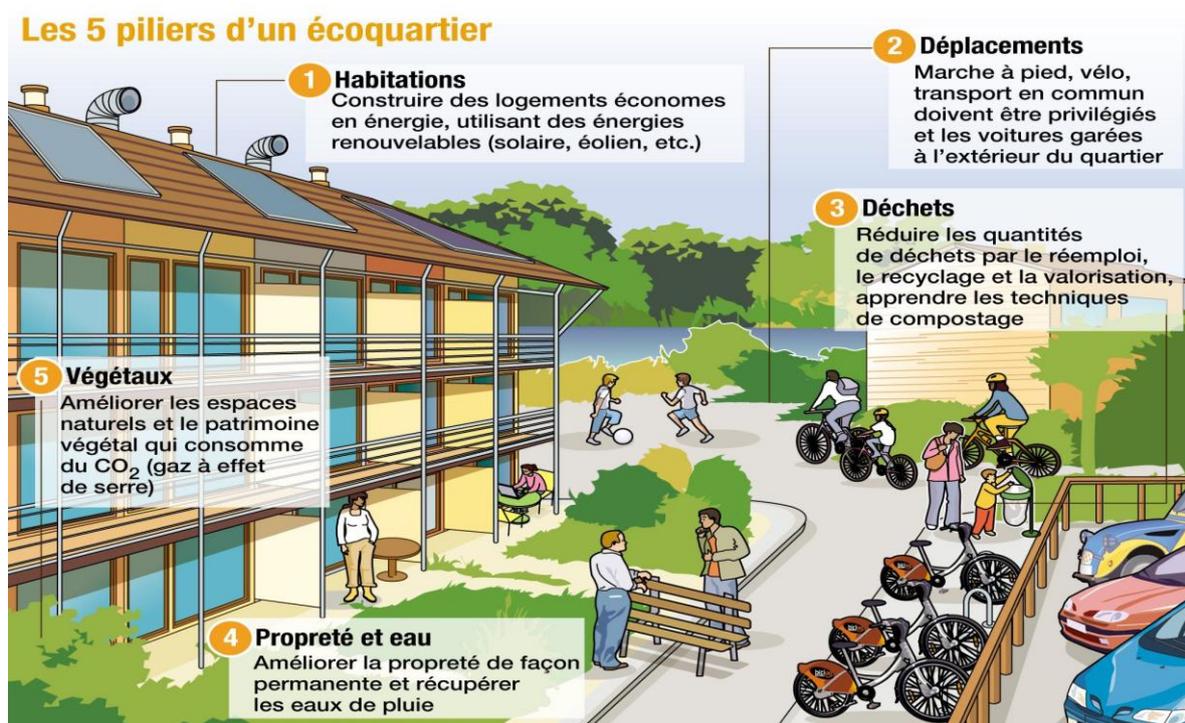


Figure II-4 : Les piliers d'un éco quartier (source : www.pinterest.fr)

L'opération au reste du quartier, que l'on met en pratique les fruits de la réflexion d'avant-projet. On fixe la place des transports dans l'opération : les accès, les stationnements, les arrêts des transports en commun.

Dans l'aménagement d'un éco quartier, la plupart des enjeux environnementaux sont liés en se basant sur des réglementations thermiques qui fixent les objectifs (en kWh/m²/an) à atteindre lors de la construction ou de la rénovation.

Différents labels existent, suivant les pays (européens), pour distinguer la qualité environnementale de telle ou telle construction.

Dans un éco quartier, ce sont ces deux critères qu'il faut donc traiter en priorité pour obtenir un meilleur résultat énergétique.

Pour limiter l'impact du chauffage sur la facture énergétique il y a plusieurs solutions qui peuvent apparaître dans l'aménagement du bâti:

- L'architecture bioclimatique.
- Le solaire et photovoltaïque.
- La gestion de l'eau pluviale.
- La cogénération et réseau de chaleur.
- La réglementation thermique.

II-11 La labellisation des éco quartiers :

Avec le label Eco Quartier, l'objectif est de garantir la qualité des projets sur un socle d'exigences fondamentales, tant sur la technique que la gouvernance ou la dynamique économique insufflée, et ce, quel que soit le territoire sur lequel il est implanté. Ceci implique une certaine souplesse permettant la contextualisation et l'adaptation de la démarche à tout type de ville, quelle que soit sa taille, son contexte, son histoire, sa culture et à tous les stades d'avancement du projet.

La démarche de labellisation s'articule autour d'une grille de **20 engagements** qui s'accompagnent chacun de critères qualitatifs (ex : l'éco-quartier favorise-t-il la régulation des vitesses de circulation, la collectivité a-t-elle porté une réflexion sur la pratique des futurs usagers, un diagnostic des nuisances a-t-il été réalisé...) et d'indicateurs chiffrés (ex : % de logements sociaux, % d'espaces publics, % surface imperméabilisée, % d'électricité produite à partir d'énergie renouvelable...)

Au total une centaine de questions sont posées dans le dossier de labellisation. Ainsi, c'est à la fois :

- Un **outil de travail** pour enrichir le projet dans le sens des objectifs de développement durable.
- Un **outil d'évaluation** du projet dans le temps.

Chapitre II : Eco-quartier : mécanismes et stratégies d'application.

La démarche de labellisation comporte 4 étapes, correspondant aux différents stades du projet : conception, chantier, livraison et vécu 3 ans après la livraison. Les projets sont ainsi suivis dans le temps et entrent dans une démarche d'amélioration continue.

Étape 1 : L'éco-quartier en projet : Le label étape 1 intervient le plus en amont possible des projets d'aménagement et se révèle déterminant pour la réussite de l'opération.

Étape 2 : l'éco-quartier en chantier : Une fois les études achevées et le chantier engagé, le porteur de projet peut se porter candidat au label - étape 2 sur la plateforme ÉcoQuartier.

Une expertise des opérations candidates est alors réalisée pour identifier ses points forts et proposer des pistes d'amélioration au regard du référentiel ÉcoQuartier.

Étape 3 : l'éco-quartier livré : Lorsque l'ÉcoQuartier est livré (ou quasi livré), le porteur de projet peut poursuivre la démarche et se porter candidat sur la plateforme ÉcoQuartier pour le label ÉcoQuartier .

Une expertise est alors réalisée par 2 experts pour l'obtention du label ÉcoQuartier

Étape 4 : l'éco-quartier confirmé : Trois ans après la livraison et après l'obtention du label - étape 3, les projets engagés dans la démarche ÉcoQuartier peuvent prétendre à la quatrième et dernière étape de labellisation. À cette étape, le label distingue les bonnes pratiques en matière d'évaluation et d'amélioration continue des projets.

Dès la première étape, la charte ÉcoQuartier incite à la mise en œuvre de dispositifs d'évaluation et d'amélioration continue tout au long du projet. [23]

Chapitre II : Eco-quartier : mécanismes et stratégies d'application.



Figure II-5 : Les étapes de labellisation d'un éco quartier (Source : <https://www.val-deoise.gouv.fr>)

1	Réaliser les projets répondant aux besoins de tous en s'appuyant sur les ressources et contraintes du territoire	6	Travailler en priorité sur la ville existante et proposer une densité adaptée pour lutter contre l'étalement urbain	11	Contribuer à un développement économique local, équilibré et solidaire	16	Produire un urbanisme permettant d'anticiper et de s'adapter aux changements climatiques et aux risques
2	Formaliser et mettre en œuvre un processus de pilotage et une gouvernance élargie	7	Mettre en œuvre les conditions de la mixité (sociale et intergénérationnelle), du bien-vivre ensemble et de la solidarité	12	Favoriser la diversité des fonctions dans l'optique d'un territoire des courtes distances	17	Viser la sobriété énergétique et la diversification des sources au profit des énergies renouvelables et de récupération
3	Intégrer l'approche en coût global lors des choix d'investissement	8	Assurer un cadre de vie sain et sûr	13	Optimiser la consommation des ressources et des matériaux et développer les filières locales et les circuits courts	18	Limiter la production des déchets, développer et consolider des filières de valorisation et de recyclage



Figure II-6 : Les 20 engagements de la charte des éco-quartiers [24]

Conclusion :

Le quartier durable est aujourd'hui la formalisation d'un urbanisme en évolution avec de nouvelles idées et propositions qui répondent à des exigences et des aspirations de projets urbains plus respectueux de l'environnement et dans un nouveau rapport à la nature. Il ne doit pas rester qu'une expérimentation centrée sur elle-même, une vitrine figée visant à mettre en valeur ses concepteurs ou les élus du moment. Il doit être un lieu à vivre, un espace d'échange et de projections dans le futur, un espace qui peut évoluer de manière « organique ».

Chapitre III :

La pollution atmosphérique :

Les différents polluants, leurs sources et les méthodes de surveillance

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

Introduction :

La pollution de l'air a un impact négatif sur la santé, les végétaux, les écosystèmes et les bâtiments : les effets sont nombreux et certains n'ont été que récemment documentés et pris en compte (par exemple les effets relatifs à l'acidification, l'eutrophisation et la pollution photochimique, les effets des rejets de gaz carbonique et autres gaz à effet de serre sur le changement climatique, ou les effets des particules fines sur la santé). Il n'existe pas en général de seuil de nocivité mais plutôt une relation croissante entre les effets et les niveaux de pollution, parfois assortis de phénomènes cumulatifs, comme pour certaines expositions chroniques.

En effet, l'étude de la pollution atmosphérique vise à bien en comprendre ses particularités dans le but de limiter au mieux ses effets.

III-1 L'air :

D'après l'encyclopédie Encarta l'air est défini comme : « un fluide gazeux qui constitue l'atmosphère, indispensable à la vie car il participe au processus de la respiration et à la photosynthèse des végétaux ».

Il est constitué d'un mélange de plusieurs gaz, dont les deux principaux sont l'oxygène à 21% et l'azote à 78%. Le 1% qui reste est un mélange d'argon, de gaz carbonique, d'ozone, d'hydrogène, d'hélium, auquel il faut rajouter une fraction marginale de vapeur d'eau et de particules solides en suspension

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

Tableau 0III-1 : Composition de l'atmosphère sèche au voisinage de la surface terrestre (Référence de l'année 1992)

Composé	Formule	Proportion volumique
Azote	N ₂	78,084 %
Oxygène	O ₂	20,946 %
Argon	Ar	0,934 %
Dioxyde de carbone	CO ₂	367 ppm
Néon	Ne	18,18 ppm
Hélium	He	5,24 ppm
Méthane	CH ₄	1,7...1,8 ppm
Krypton	Kr	1,14 ppm
Dihydrogène	H ₂	0,5 ppm
Oxyde nitrique	N ₂ O	0,3 ppm
Xénon	Xe	87 ppb
Monoxyde de carbone	CO	30.....250 ppb
Ozone	O ₃	10.....100 ppb
Dioxyde d'azote	NO ₂	10.....100 ppb
Monoxyde d'azote	NO	5.....100 ppb
Dioxyde de soufre	SO ₂	<1.....50 ppb
Ammoniac	NH ₃	0,1.....1 ppb
Formaldéhyde	HCHO	0,1.....1 ppb
Chlorométhane	CH ₃ Cl	620 ppt
Dichlorodifluorométhane (R12)	CF ₂ Cl ₂	500 ppt
Oxysulfure de carbone	COS	400....600 ppt
Trichlorofluorométhane (R 11)	CFCl ₃	280 ppt
Méthylchloroforme	CH ₃ CCl ₃	130 ppt
Tétrachloroforme	CCl ₄	100....200 ppt
Acide nitrique	HNO ₃	50.....1000 ppt
Disulfure de carbone	CS ₂	20..... 300 ppt
Sulfure de diméthyle	CH ₃ SCH ₃	20.....300 ppt
Nitrate de peroxyacétyl	CH ₃ C(O)O ₂ NO ₂	10.....500 ppt
Méthylmercaptan	CH ₃ SH	10.....400 ppt

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

Radical hydroperoxyde	HO ₂	4 ppt
Bromotrifluorométhane	CF ₃ Br	2 ppt
Hexafluorure de soufre	SF ₆	0,5 ppt
Radical hydroxyle	OH	0,04 ppt
Peroxyde d'hydrogène	H ₂ O ₂	=<5 ppt
Sulfure de dihydrogène	H ₂ S	=<0,5

Ppm : Partie par million

Ppt : Partie par trillion (billion)

III-2 L'atmosphère :

L'atmosphère est divisée en plusieurs couches d'importance variable : leurs limites ont été fixées selon les discontinuités dans les variations de la température, en fonction de l'altitude.

De bas en haut :

La troposphère : est la partie la plus basse de l'atmosphère ; elle commence à la surface et s'étend entre 7 et 8 km aux pôles et de 13 à 16 km à l'équateur, avec des variations dues aux conditions climatiques. . C'est dans cette couche qu'on retrouve la plus grande partie des phénomènes météorologiques. Au fur et à mesure qu'on s'élève dans la troposphère la température décroît de façon régulière d'environ 6 degrés Celsius tous les 1000 mètres pour atteindre -56 C à la tropopause (zone séparant la troposphère de la stratosphère). L'air près du sol est plus chaud qu'en altitude car la surface réchauffe cette couche d'air.

Stratosphère : La stratosphère est au-dessus de la troposphère. C'est dans la stratosphère qu'on trouve la couche d'ozone. Cette dernière est essentielle à la vie sur Terre, car elle absorbe la majorité des rayons solaires ultraviolets qui sont extrêmement nocifs pour tout être vivant. Cette absorption provoque un dégagement d'énergie sous forme de chaleur. C'est pourquoi la température augmente lorsqu'on s'élève dans la stratosphère. Les mouvements de l'air y sont beaucoup moindres. Il s'agit d'un environnement beaucoup plus calme. La stratopause sépare la stratosphère de la mésosphère.

Mésosphère : La mésosphère est au-dessus de la stratosphère. Dans cette couche, la température recommence à décroître avec l'altitude pour atteindre -80 °C à une altitude d'environ 80 km. Les poussières et particules qui proviennent de l'espace (les météores)

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

s'enflamment lorsqu'elles entrent dans la mésosphère à cause de la friction de l'air. Ce phénomène nous apparaît sous la forme « d'étoiles filantes ».

Thermosphère : La couche la plus haute est la thermosphère. Dans cette couche se trouve la région où près des pôles se forment les aurores boréales et australes. La température augmente avec l'altitude et peut atteindre environ 100 degrés Celsius. La thermosphère atteint des milliers de kilomètres d'altitude et disparaît graduellement dans l'espace. La thermosphère devient presque nulle et les molécules d'air sont très rares. La partie inférieure de la thermosphère est appelée l'ionosphère. L'ionosphère réfléchit les ondes courtes (ondes radio). Ces ondes, émises par un émetteur, rebondissent sur l'ionosphère et sont renvoyées vers la Terre. Si elles sont retournées avec un certain angle, elles peuvent faire presque le tour du globe. [26]



Figure III-1 : Les couches de l'atmosphère (Source : aquaportail.com)

III-3 La pollution atmosphérique :

III-3-1 Définition

On entend par pollution atmosphérique, au sens de la présente loi, l'émission dans l'atmosphère de gaz, de fumées ou de particules solides ou liquides, corrosifs, toxiques ou odorants, de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agro-alimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites **(Loi n° 83-03 du 05-02-1983 relative à la protection de l'environnement -Algerie)**

Dans ce dernier cas, la pollution est souvent le résultat direct des progrès industriels de ces derniers siècles, comme par exemple l'émission continue et parfois sans précaution des polluants associés aux processus de combustion (véhicules automobiles, installations industrielles, production d'énergie par combustion...). Depuis quelques dizaines d'années, des études ont montré un lien entre la dégradation de l'environnement et de la santé humaine, et la présence de ces polluants dans l'atmosphère. **(Monk, et al., 2009) (Anderson, 2009) (Kulkarni, et al., 2008) (FNORS, Septembre 2008).**

L'accumulation de ces polluants est aussi à l'origine des phénomènes de pluies acides qui ont un impact très négatif sur la végétation ou encore du réchauffement terrestre . Afin de bien cerner le contexte dans lequel ce travail se situe et de bien définir le cahier des charges de l'outil de diagnostic que nous proposons de développer, nous avons donc recensé dans le paragraphe suivant les polluants atmosphériques primaires ou secondaires.

La pollution atmosphérique est considérée comme étant responsable d'environ 800 000 décès prématurés chaque année dans le monde (OECD, 2008). En exemple, la **figure III-2** présente l'évolution prévisionnelle des décès prématurés liés à l'excès d'ozone entre 2000 et 2030 (OECD, 2008). Quelle que soit la zone géographique, la situation est déjà très inquiétante avec près de 8 à 15 décès prématurés imputés à la pollution atmosphérique par million d'habitants et par an, mais les prévisions à 20 ans sont très pessimistes avec en particulier une augmentation d'un facteur 10 dans la zone Asie.

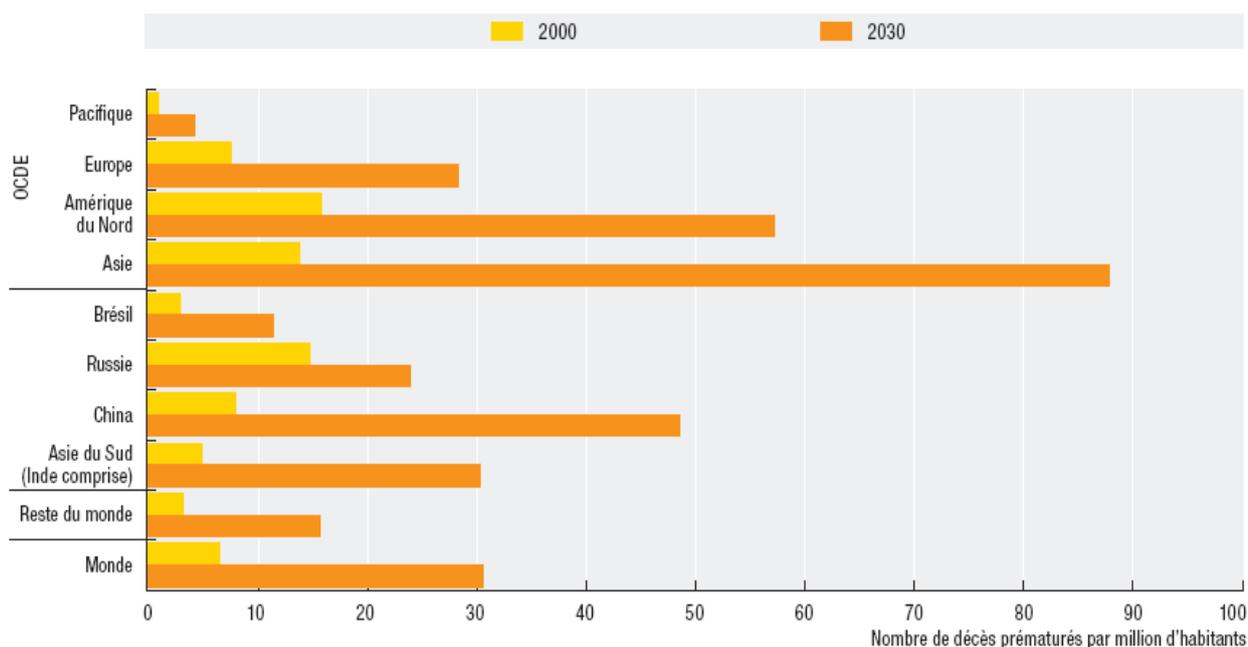


Figure III-2 : Décès prématurés imputables à l'exposition à l'ozone dans les zones urbaines en 2000 et 2030 (OECD, 2008).

III-4 Les polluants atmosphériques et leurs sources :

III-4 -1 Les sources des polluants atmosphériques :

Les sources de polluants atmosphériques peuvent être divisées en 2 catégories : les sources anthropiques et les sources biogéniques. Par définition, une source anthropique est une source de pollution liée à l'activité humaine ; elle se subdivise en 3 catégories : secteur industriel, secteur résidentiel et transport. Les sources biogéniques sont les sources associées aux émissions d'origines naturelles liées à la biosphère .L'agriculture est également une source de pollution majeure avec en particulier les engrais azotés ou encore l'élevage des animaux à l'origine de pollution par le méthane (produit par leur système digestif), et par l'ammoniac (issu de la transformation de l'urée).

Enfin, on intègre également dans les sources biogéniques les phénomènes naturels comme les nuages de cendres associées aux éruptions volcaniques .Le caractère dangereux de ces

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

polluants, à légiférer : des directives et des normes ont été mises en place pour limiter et contrôler les émissions polluantes des principales sources anthropiques et également permettre la surveillance des polluants réglementés avec des objectifs de qualité uniforme .

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur la santé, les écosystèmes, etc. La grande majorité des polluants, gaz ou particules proviennent de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon) qui, à eux seuls, comblent environ 80 % des besoins énergétiques mondiaux. Ces combustibles sont surtout utilisés pour le transport, l'industrie, le chauffage et dans les centrales thermiques de production d'électricité. Ils se concentrent, en majorité, en milieu urbain. Il faut aussi noter que dans plusieurs grandes villes, le chauffage au bois est une source très importante de pollution atmosphérique. La provenance et la concentration des polluants varient d'un endroit à l'autre en fonction de la densité de la population, du type d'industries, des normes environnementales en vigueur, etc.

Dans un même quartier et selon l'heure ou la saison, on peut aussi observer des différences importantes. Ainsi, les taux de pollution sont souvent plus élevés aux abords des grandes artères routières ou des industries, et les taux élevés d'ozone s'observent presque seulement en été. Il faut aussi se rappeler que l'ozone peut se retrouver jusqu'à 800 km plus loin que son point d'origine.

III-4-1-1 Pollution d'origine naturelle :

Il y a beaucoup de sources naturelles de pollution qui sont souvent beaucoup plus grandes que leurs équivalents synthétiques, à savoir :

- Les feux des forêts, des cultures ou des prairies contribuent à des émissions importantes de noyaux de condensation, d'imbrûlés et de gaz.
- Les volcans émettent des gaz comme le dioxyde de soufre et de l'hydrogène sulfureux, et des particules des cendres en grande quantité, dont les nuages peuvent parcourir des distances considérables.

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

- Les embruns marins sont constitués par des aérosols renferment des cristaux de sels qui peuvent entraîner à une pollution.
- Les végétaux sont à leur tour à l'origine d'une pollution par les pollens, les spores et les champignons.
- L'homme et les animaux rejettent des quantités importantes de dioxyde de carbone et sont à l'origine d'une pollution microbienne.
- L'ozone formé naturellement à haute altitude à partir de réaction photochimique impliquant l'oxygène de l'air. [27]

III-4-1-2 Pollution d'origine anthropique :

On peut dire que le quasi totalité des activités humaines est une source de pollution de l'air, qui apparaît essentiellement sous deux formes de substances polluantes :

- Gazeuse : présence de gaz nouveaux ou augmentation de la proportion d' un gaz existant naturellement,
- Solide : mise en suspension de particules (poussière, fumées).

On estime que les gaz représentent 90 % des masses globales de polluants rejetées dans l'air et les particules les 10% restants. Les principales sources sont les installations de combustion et les procédés industriels tels que extractions de minéraux, cimenterie, aciérie, fonderie, verrerie, plâtrière, chimie fine, etc. Les émissions de poussière ont très fortement diminué depuis 20 ans. Les particules solides servent de vecteurs à différentes substances toxiques voire cancérigènes ou mutagènes (métaux lourds, HAP,...) et restent de ce fait un sujet important de préoccupation. (CITEPA), Ce phénomène de pollution atmosphérique reste donc complexe et la **figure III-3** résume l'ensemble des paramètres et processus qui y concourent [28]

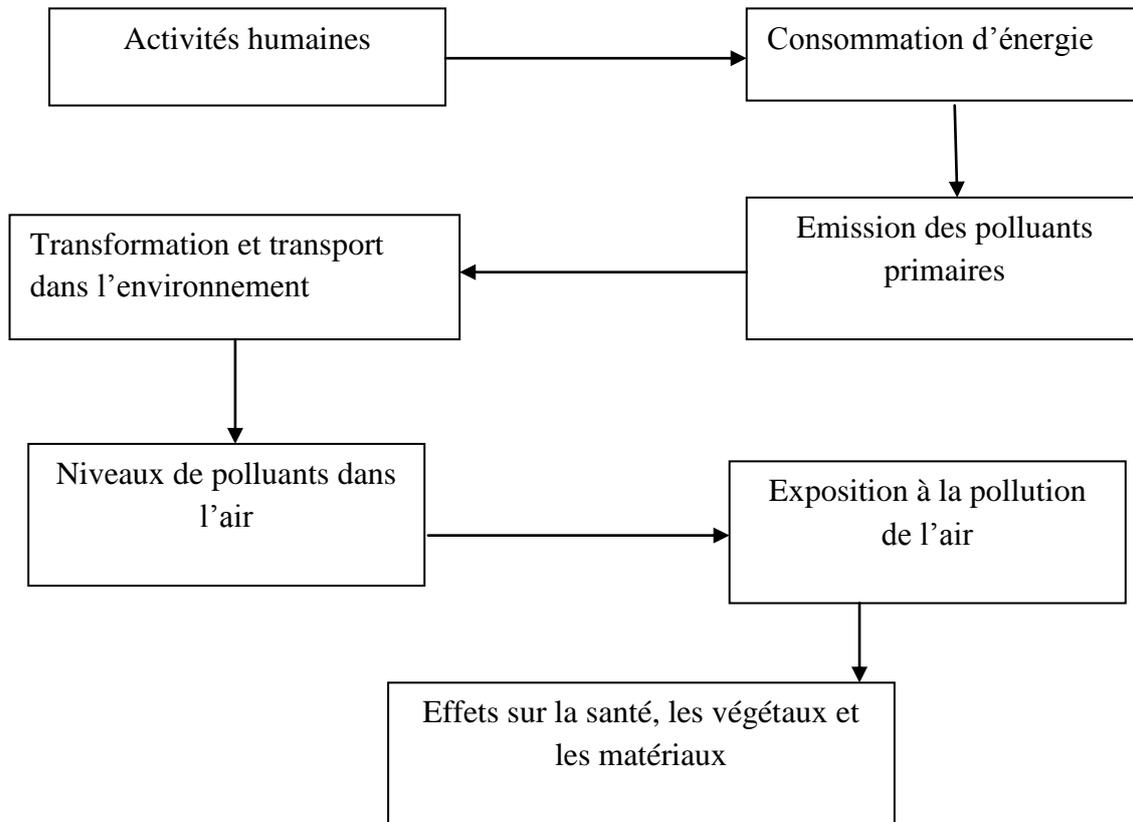


Figure III-3 : Les paramètres et processus de la pollution atmosphérique (Source : Thibaut, 1998, p.17)

Les activités humaines les plus significatives, dans la contribution à la pollution de l'air, sont les suivantes :

III-4-1-2-1 La production d'énergie thermique :

Au niveau individuel ou tertiaire (chauffage des logements et des bureaux) comme au niveau industriel (production de vapeur ou d'électricité), la combustion de combustibles fossiles (charbon, fioul lourd, etc.) produit d'importantes émissions polluantes. Le dioxyde de carbone (CO₂), produit inévitable de la combustion des matières organiques dont la concentration croissante dans l'atmosphère contribue à l'effet de serre, le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), les poussières, les métaux lourds, etc. sont concernés.

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

III-4-1-2-2 L'industrie :

L'industrie est à l'origine des émissions spécifiques dues aux processus de traitement ou de fabrication employés. En quantités variables, selon les secteurs industriels, elle est émettrice de monoxyde et de dioxyde de carbone, de dioxyde de soufre, d'oxyde d'azote, de poussière, de composés organiques volatils (COV), de métaux lourds, etc.

La fabrication de la plupart des articles domestiques dans le monde entraîne la libération de substances chimiques toxiques, dans l'atmosphère. C'est le cas, notamment pour la fabrication des ciments. Selon les cas et les pays, les entreprises sont contrôlées et/ou doivent produire des autocontrôles ou évaluation de leurs émissions polluantes. En Europe, certaines données sont obligatoirement publiques et transmises à un registre européen des rejets et des transferts de polluants, traduit en France par l' Arrêté du 31 janvier 2008 et un registre national ; le sol, l'eau et l'air doivent être pris en compte, pour les entreprises produisant des produits dangereux produits à plus 2 t/an, et de déchets non dangereux à plus de 2 000 t/an. Le 13 mars 2008, une circulaire a ajouté 22 polluants de l'air et 22 de l'eau à l'ancienne liste des substances.

L'expansion extraordinaire qu'a connue l'industrie au cours des dernières décennies se traduit par la mise en circulation dans la biosphère d'innombrables composés minéraux ou organiques de toxicité souvent élevée. La métallurgie et l'électronique recourent de plus en plus à des métaux et métalloïdes exotiques qui ne se rencontrent qu'à l'état de traces ou ne figurent pas dans les constituants normaux de la matière vivante : Mercure, Cadmium, Niobium, Arsenic, Antimoine, Vanadium, Sélénium, Europium, etc., sont aujourd'hui employés couramment dans diverses branches industrielles.

III-4-1-2-3 Les transports et l'automobile :

La pollution due aux transports a longtemps été considérée comme un problème de proximité, essentiellement perçue dans les villes en raison de la densité du trafic. Aujourd'hui, on sait que les transports, essentiellement routiers et en particulier l'automobile, sont une source de pollution importante. Les moteurs à explosion sont ainsi de très loin la première cause d'émissions d'oxydes d'azote et de divers hydrocarbures. Les moteurs diesels, moins polluants pour ce qui concerne ce dernier type d'émissions, sont en revanche à l'origine de

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

particules et de dioxyde de soufre. La contribution des transports à la pollution ne cesse de s'accroître du fait de l'augmentation du trafic directement liée à l'évolution économique, en dépit des nombreux progrès technologiques réalisés au cours des dernières années.

Le poids de l'opinion publique peut certes jouer avec autant de force sur les grands choix de sociétés relatifs aux transports (modification des habitudes de déplacement , développement des transports collectifs ...etc.) mais rien n'est moins sûr car les rapports entre citoyens et thèmes environnementaux sont ambigus, tant qu'il s'agit de développer des idées nobles et généreuses à l'échelle de la planète le consensus environnemental est fort, par contre des que les propositions écologistes touchent aux intérêts financiers et aux modes de vie auxquels sont attachés les citoyens le soutien disparaît

III-4-1-2-4 Les déchets :

Les déchets sont considérés comme l'une des plus grandes sources de pollution. Qu'ils soient abandonnés dans une décharge ou incinérés, par leur décomposition ils sont producteurs de plusieurs polluants, tels que le méthane, l'acide chlorhydrique, les métaux lourds, les dioxines et les furanes.

III-4-1-2-5 Les activités agricoles :

L'agriculture contribue également à la pollution atmosphérique. Ses émissions (essentiellement l'ammoniac, le méthane, le protoxyde d'azote, le monoxyde de carbone et les produits phytosanitaires) sont liées à la décomposition des matières organiques et à l'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires.

Les sources domestiques de pollution atmosphérique sont également nombreuses et impliquent une responsabilité de la société vis-à-vis de la salubrité des locaux.

III-4-2 Les familles des polluants :

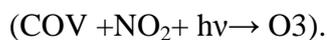
III-4-2-1 Les polluants primaires :

Ils sont directement issus des sources de pollution, on y trouve : des CO_x, SO₂, des NO_x, des hydrocarbures légers, des (COV), des particules contenant ou non des composés métalliques (plomb, mercure cadmium...) ou organiques (PM₁₀ et PM_{2,5}). Ces polluants primaires peuvent se transformer dans la basse atmosphère, sous l'action des rayons solaires et de la chaleur, en polluants dits secondaires tels que l'ozone et autres polluants photochimiques.

III-4-2-2 Les polluants secondaires

Ils sont formés par transformation chimique de certains polluants primaires. La formation de ces derniers nécessite un certain temps durant lequel les masses d'air se déplacent. Ce qui explique pourquoi les pointes de polluants secondaires concernent des territoires souvent plus étendus que les pointes de polluants primaires. On y trouve :

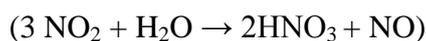
- **L'Ozone O₃** : le bon et le mauvais. La couche d'ozone, située à haute altitude dans la stratosphère à 30 km au-dessus du sol, est vitale car elle filtre les rayons ultraviolets. C'est le bon ozone. Le mauvais ozone se trouve dans la basse atmosphère. C'est alors un polluant issu de transformations chimiques dans l'air entre les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (solvants...).



- **Les oxydes d'azote (NO_x)** : Oxydes d'azote (NO_x) est un terme générique pour monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO₂). Les NO_x sont formés avant tout lors des processus de combustion à haute température (véhicules, installations industrielles, chauffages). Ils sont émis en grande partie sous forme de NO, qui sera oxydé en NO₂.

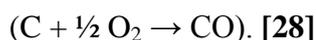


Le NO₂ est alors transformé en acide nitrique et en nitrate. Ces composés se déposeront alors sous forme de pluies acides ou de dépôts secs.



- **Le monoxyde de carbone** : Est un gaz incolore, inodore est insipide.

Lors de la combustion des composés hydrocarbonés et des composés contenant du carbone, il se forme toujours du monoxyde de carbone CO, à côté du dioxyde de carbone, et ceci en quantité particulièrement importante lorsque l'oxygène présent ne permet pas une combustion complète.



- **Les particules en suspension (PM)** : Sont des particules finement dispersés qui sont solides ou liquides, d'environ 10⁻² ...10² um de diamètre ; parfois on parle aussi de suspensions de particules dans des gaz.

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

Parmi les particules solides, on trouve les noyaux de sel de mer provenant des océans, les particules minérales provenant des éruptions volcaniques, le sable des déserts, la poussière de charbon, les particules de suie dans la fumée des unités de chauffage, etc. ; parmi les particules liquides on compte par exemple les petites gouttes d'eau.

Ces constituants d'aérosols peuvent être attribués aux aérosols non vivants et se différencient des aérosols vivants, qui contiennent des microorganismes comme les bactéries, les champignons ou les spores. [28]

- **Les dérivés soufrés :** proviennent principalement des centrales thermiques, des grosses installations de combustion de l'industrie et du secteur tertiaire et résidentiel (chauffage individuel ou collectif). Ainsi, SO₂ peut se transformer en trioxyde de soufre (SO₃) et acide sulfurique (H₂SO₄) en association avec les particules, à l'origine des fameuses pluies acides. [29]
- **Les composés organiques volatils (COV) :** sont généralement des substances formées d'au moins un atome de carbone et un d'hydrogène, présents dans l'air à l'état gazeux. Une partie importante des COV est émise par des activités anthropiques, notamment le transport, les activités industrielles et la combustion. [30]

En plus des polluants primaires et secondaires, il existe d'autres polluants tels que :

- **Les CFC – Chlorofluorocarbures :** sont totalement artificiels (à l'exception du chlorure de méthyle d'origine marine). Ils sont utilisés dans les biens de consommation courante (aérosols propulseurs, mousses, extincteurs, réfrigérants, etc.). Ce sont aussi des gaz à effet de serre et surtout les premiers perturbateurs de l'équilibre de Chapman. Ils sont ainsi considérés comme des destructeurs majeurs de la couche d'ozone. Malgré l'interdiction de leur production, ces substances d'une durée de vie dépassant le siècle pour la majorité, continueront encore leur action destructive pendant longtemps. [29]
- **Le plomb :** Il est de nature métallique et peut exister dans des composés chimiques variés avec différentes caractéristiques. Connu depuis le début des temps, le plomb a beaucoup d'usages industriels (batteries, alliages, pigments, etc.) et est utilisé comme

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

agent antidétonant pour l'essence. Il est utilisé sous formes de monoxyde de plomb ou litharge (PbO), d'éthanoate de plomb ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) et de tétra éthyle de plomb ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$) (Elichegaray Ch .2008).

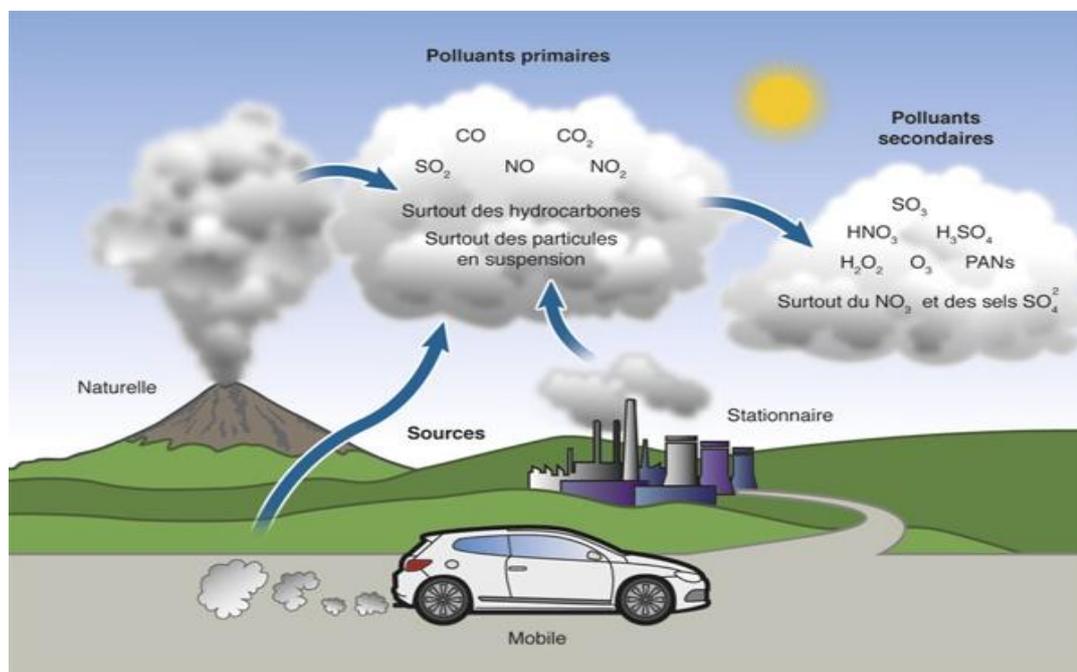


Figure III-4 : Formation des polluants primaires et secondaires dans l'atmosphère

(Source : mémoire fin d'étude : Impact de la pollution atmosphérique extérieure sur l'hypertension : résultats de l'enquête ELISABET)

III-5 Les facteurs métrologiques qui influencent la dispersion des Polluants :

La concentration et la distribution spatiotemporelle des polluants ne sont pas seulement déterminées par les sources et les transformations physicochimiques. Elles le sont aussi par des facteurs qui relèvent de la dynamique atmosphérique.

III-5-1 La pression atmosphérique :

Basses pressions: Les situations dépressionnaires correspondent généralement à une turbulence de l'air assez forte et donc de bonnes conditions de dispersion.

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

Hautes pressions: des situations anticycloniques où la stabilité de l'air ne permet pas la dispersion des polluants entraînent des épisodes de pollution. [31]

III-5-2 La vitesse et la direction du vent :

Le vent tend à disperser la pollution surtout en l'absence de relief. Plus le vent est fort, plus la pollution se disperse rapidement.

III-5-3 La température :

L'ensoleillement provoque un réchauffement des sols et des surfaces. Ceci entraîne des phénomènes de convection qui sont à l'origine de mouvements verticaux et horizontaux de l'atmosphère (l'air chaud étant plus léger que de l'air froid). L'ensoleillement agit également sur la chimie des polluants : l'énergie solaire (notamment les ultra-violets) peut "casser" certaines molécules dans l'air et ceci favorise la formation photochimique de l'ozone dans la troposphère. [32]

III-5-4 L'humidité :

Elle joue un rôle dans le captage des particules polluantes. Les gouttelettes d'eau en suspension retiennent les polluants, ce qui accroît leur stagnation. Des réactions chimiques peuvent être favorisées par la présence d'humidité dans l'air.

Par exemple, le SO₂ se transforme en acide sulfurique au contact de l'humidité de l'air et participe au phénomène de pluies acides.

III-6 Les échelles de la pollution atmosphérique :

On distingue trois catégories de pollutions : planétaire, régionale et locale.

III-6-1 La pollution à l'échelle locale :

La pollution provient des effets directs du chauffage individuel, des fumées des usines et des modes de transport. L'impact des divers polluants est direct sur la santé des hommes et des animaux, sur la végétation et sur les matériaux. [33]

Mais elle exerce également une toxicité à plus long terme pour certaines pathologies. Outre les problèmes de santé, la pollution de proximité peut procurer un gêne olfactif important et

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

participer à la dégradation du patrimoine bâti par corrosion et salissure. C'est cette pollution locale qui, a fait l'objet d'un suivi aux abords des grands sites industriels.

III-6-2 La pollution à l'échelle régionale :

Elle caractérise des pollutions que l'on observe dans les zones situées à quelques dizaines, voire à plusieurs centaines de kilomètres des sources de pollution. Trois phénomènes sont regroupés sous ce terme :

- Les pluies acides : sont des précipitations acidifiées au contact du SO_x et de NO_x contenus dans l'atmosphère et émis surtout par les usines et les voitures. Elles peuvent tomber à des centaines de kilomètres du lieu d'émission des polluants. Elles affectent gravement les écosystèmes et certains matériaux utilisés dans les bâtiments. [34]
- La pollution photochimique : se manifeste principalement sous forme de brouillard photochimique dit « smog ». Ce dernier est principalement causé par les véhicules de transport urbain émettant des NO_x et des COV qui réagissent en présence des UV pour former de l'ozone.
- Eutrophisation : est un phénomène qui se traduit par des réponses complexes de l'ensemble des écosystèmes aquatiques d'eau douce, saumâtre ou salée. Elle peut être progressive ou brutale. Les effets les plus notables sont des proliférations de producteurs primaires (plantes aquatiques, algues, cyanobactéries), des phénomènes de toxicité ou d'anoxie (absence d'oxygène), des pertes de biodiversité. [35]

III-6-3 La pollution à l'échelle planétaire :

Il s'agit de la diminution de la couche d'ozone stratosphérique et de l'effet de serre.

Les rejets dus aux activités humaines tendent à diminuer l'épaisseur de la couche d'ozone stratosphérique, qui est nécessaire à l'inverse de l'ozone de basse altitude. En effet, la couche d'ozone absorbe une grande quantité des rayonnements ultraviolets, ce qui engendre une augmentation du risque de développer des pathologies telles que des cancers de la peau.

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

L'effet de serre consiste en un réchauffement de l'atmosphère par des molécules qui ont la propriété de piéger les radiations à grande longueur d'ondes émises par la surface du globe. Aujourd'hui l'effet de serre augmente à cause des émissions anthropiques de certains gaz dits « Gaz à effet de serre », comme NO_x, CO₂, CH₄... ce qui conduit à un déséquilibre climatique.

III-7 Les effets de la pollution atmosphérique :

Les conséquences de la pollution atmosphérique sont de deux sortes :

III-7-1 Effets sur l'environnement :

Parmi les effets sur l'environnement on peut citer :

III-7-1-1 Les pluies acides :

L'eau de pluie est naturellement acide, avec un pH autour de 5-5,6, car elle dissout une partie du dioxyde du carbone présent dans l'air. Cette acidité dissout les minéraux présents à la surface du globe. Mais cette acidité a été considérablement renforcée au XX^e siècle sous l'effet de l'augmentation des rejets polluants, notamment le SO₂, les NO_x, très liés à la combustion des matières fossiles, ainsi que le chlore. Après réaction chimique avec la vapeur d'eau, ces gaz forment de l'acide sulfurique, de l'acide nitrique et de l'acide chlorhydrique qui contribuent à acidifier le sol et les eaux, au point d'avoir été accusés de faire dépérir les forêts situées notamment à proximité des grands centres industriels. [36]

III-7-1-2 La destruction de la couche d'ozone :

Près de 90% de l'Ozone atmosphérique se trouve dans la stratosphère.

C'est le seul composant de la stratosphère qui absorbe le rayonnement ultraviolet venant du soleil. Il protège ainsi la vie sur la terre. La dégradation de cette couche d'ozone est le résultat d'une pollution lente et étendue de l'atmosphère. Elle est catalysée par le chlore dont la principale source est la famille des CFC produits par l'homme. Ces composés sont très stables, non toxiques et très commodes à utiliser comme fluides frigorigènes ou gaz propulseurs dans les produits conditionnés sous forme d'aérosols sous pression. [28]

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

III-7-1-3 L'effet de serre et le changement climatique:

L'accumulation dans l'atmosphère, de gaz qui absorbent le rayonnement infrarouge, provoque un réchauffement de la terre et une perturbation du climat.

Il existe 6 gaz à effet de serre : CO₂, Méthane CH₄, Ozone, les NO_x, La vapeur d'eau et les CFC rejetés par les activités humaines et piégés dans l'atmosphère. Ces gaz absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et contribuent à l'effet de serre.

L'augmentation des concentrations atmosphériques des gaz tend à augmenter la température de l'air. Ce réchauffement climatique a comme conséquences :

- **Elévation du niveau des mers** : est l'augmentation du niveau moyen des océans en cours depuis le début du xxe siècle. C'est une conséquence du réchauffement climatique, il est principalement dû à la fonte des glaces terrestres et à la dilatation thermique des océans³. Le niveau de la mer a augmenté de 0,16 m entre 1902 et 2015.

Les impacts de l'élévation du niveau de mer incluent entre autres les inondations dans les basses terres des régions côtières, principalement lors de très grandes variations du niveau de la mer, l'érosion côtière des plages, et les dommages causés aux écosystèmes côtiers, aux ressources en eau et aux infrastructures côtières. [37]

- **Tropicalisation du climat** : le réchauffement conduirait à une désertification de certains pays (En Afrique notamment). Les températures et la sécheresse empêchent le développement des plantes, le sol aride, ne retient plus les eaux quand elles sont disponibles. L'activité humaine (surexploitation agricole, artificialisation des sols, déforestation) contribue à ce phénomène en détruisant les milieux. De fait la biodiversité diminue localement, accélérant encore la désertification. Cela entraîne aussi un relâchement du carbone stocké dans le sol et dans les végétaux, ce qui contribue à son tour au réchauffement climatique.
- **Augmentation des feux de végétation** : l'augmentation de la température est susceptible d'allumer spontanément des incendies des forêts conduisent à une augmentation des surfaces brûlées. Pour les pays méditerranéens, la surface brûlée annuelle est de 460 000 hectares (Espagne, France, Grèce, Italie et Portugal, 1983-2012)

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

- **Modification des courants océaniques :** Les changements des courants océaniques provoqués par le réchauffement climatique auront des conséquences importantes pour certains pays côtiers. Cela est particulièrement vrai pour les pays de sud qui sont directement touchés par les événements océaniques dans la région tropicale. L'évolution du Gulf Stream est surveillée attentivement en Europe, car ce courant chaud en provenance de Floride explique en grande partie la douceur du climat de ces rives.

Les conséquences d'un apport d'eaux froides et douces en Atlantique Nord (dû au réchauffement climatique) sur le fonctionnement de ce système complexe sont assez difficiles à appréhender et font débat chez les scientifiques : certains prévoyant un choc climatique dès 2020, d'autres estimant que le Gulf Stream ne serait pas en train de s'affaiblir.

III-7-1-4 L'eutrophisation anthropique des milieux aquatiques :

Ce phénomène est principalement provoqué par des excès de substance nutritive comme les phosphates et les nitrates d'origine agricole ou industrielle. Ce phénomène à l'origine de la production des toxines par les algues, qui peut constituer un risque indirect pour la santé humaine (la consommation des poissons, moules qui bio accumulent ces toxines). (**Aggoun et Boukendoul, 2012**)

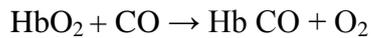
III-7-2 Les effets sur la santé :

Les effets néfastes de la pollution atmosphérique urbaine ont été mis en évidence par des études épidémiologiques. Ils sont cohérents avec les travaux toxicologiques, même si l'ensemble des phénomènes physiopathologiques n'est pas encore expliqué.

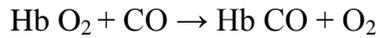
III-7-2-1 Effets des polluants gazeux réglementés :

- ✓ Monoxyde de carbone : Le CO est très toxique, ses propriétés sont liées à la facilité des combinaisons avec les hémoprotéines, telles que l'hémoglobine ou la myoglobine. L'oxygénation tissulaire est assurée par la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine pour constituer l'entité HbO₂. Le CO diffuse à travers les parois alvéolaires des poumons pour se fixer sur l'hémoglobine, par la réaction :

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.



Le monoxyde de carbone est même capable de déplacer l'oxygène de sa combinaison avec l'hémoglobine (l'oxyhémoglobine (Hb O₂) d'après la réaction (**Le cloire p .1998**).



L'intoxication oxycarbonée se traduit par :

- Des troubles instantanés :
 - Céphalées
 - Vertiges
 - Troubles sensoriels de la vue et de l'odorat
 - Absence de mémoire
 - Des troubles différés :
 - Action sur le cœur et les vaisseaux
 - Douleurs ressemblant aux prémices d'un infarctus pour des taux > 50 ppm
 - Action sur le système nerveux pour des taux > 100 ppm
 - Diminution de la résistance bactérienne [38]
- ✓ Oxydes d'azote : Le NO attient facilement les poumons et se fixe aussi sur l'hémoglobine. La toxicité aigue apparait pour des teneurs supérieures à 30 ppm, taux impossible à atteindre même en atmosphère très polluée.

Le NO₂ est un gaz irritant pouvant pénétrer profondément dans les poumons, l'inhalation de fortes concentrations de NO₂ provoque surtout des lésions des bronchioles terminales et des alvéoles (pouvant amener de l'Emphysème). Il altère l'activité respiratoire et augmente les crises chez les asthmatiques. Chez les plus jeunes, il favorise des infections microbiennes des bronches (**Moser m.a 1998**).

- ✓ Les oxydes de soufre :Le gaz irritant de SO₂ peut être à l'origine de certains problèmes de santé, surtout chez les personnes sensibles (les asthmatiques, les personnes âgées et les enfants). Des expositions courtes à des valeurs élevées (plus que 250 µm/m³) peuvent provoquer des spasmes bronchiques, des accès de toux, une altération de la fonction respiratoire et des irritations des yeux. Se fixant sur les particules fines, une faible partie de ce polluant peut même pénétrer jusqu'aux voies respiratoires inférieures.

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

III-7-2-2 Effets des composés organiques volatils :

La pollution due aux émissions de COV peut être approchée de manière globale suivant ses effets directs ou indirects (photo oxydation) sur l'homme et sur le milieu environnant récepteur.

De nombreux COV sont répertoriés comme polluants atmosphériques dangereux par l'Agence américaine de protection de l'environnement (USEPA) (2009). Plusieurs COV sont des cancérogènes connus ou suspectés, tandis que d'autres COV peuvent affecter le système immunitaire, le système nerveux central (cerveau), le foie et les reins. Certaines études ont suggéré des associations entre les COV ambiants et des effets néfastes sur la santé, comme l'asthme (**Delfino et al., 2003**) ; (**Wichmann et al., 2009**).

Les hydrocarbures aliphatiques ne sont pas les composés les plus dangereux pour la santé humaine malgré leur forte utilisation comme dégraissants ou solvants.

La plupart des hydrocarbures monoaromatiques (Les BTEX) sont très dangereux, notamment le benzène qui est fortement cancérogène. Les cancers provoqués par ces composés sont la leucémie et le cancer du poumon. [38]

Les effets directs peuvent être :

- Des irritations cutanées,
- Des irritations des yeux et des organes de respiration;
- Des troubles cardiaques, digestifs, rénaux et hépatiques;
- Des maux de tête; des troubles du système nerveux, des actions cancérogènes et mutagènes.

Ces COV ont des effets indirects du fait qu'ils participent à des réactions photochimiques dans la basse atmosphère, causant ainsi l'augmentation de la concentration en ozone dans la troposphère.

III-7-2-3 Effets des particules :

Les particules fines peuvent pénétrer profondément dans les alvéoles pulmonaires et avoir des conséquences graves sur la santé humaine. (**Moser M.A 1998**).

Les particules absorbées peuvent avoir des effets dommageables notamment sur la fonction pulmonaire et le système cardiovasculaire en provoquant un stress oxydant, l'altération des processus électriques de fonctionnement du cœur et une inflammation systémique, aboutissant

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

à une activation et un dysfonctionnement des cellules endothéliales ; une altération de la pression sanguine et du rythme cardiaque, et notamment une variabilité du rythme cardiaque ; de l'arythmie ; et un dérèglement des voies de coagulation ainsi qu'une ischémie. (L'Organisation Mondiale de la Santé, 2014)

III-7-2-4 Effets de l'Ozone :

Grace à sa grande solubilité dans les solutions aqueuses, l'ozone est capable d'affecter toutes les voies respiratoires notamment par sa capacité à se solubiliser dans le fluide épithélial et à réagir avec les acides gras de la membrane apicale des cellules (Leikauf et Al., 1993 ; 1995 ; Pryor, 1992 ; Pryor et Al., 1995). De plus, l'ozone augmente la réaction inflammatoire des bronches et aggrave la maladie asthmatique (OMS, 2000).

Concernant l'impact de l'ozone sur la santé, il existe des populations sensibles ou à risque : les enfants du fait de l'immaturation de leurs voies respiratoires et de leurs défenses immunitaires, les personnes atteintes de maladies respiratoires ou cardiovasculaires et notamment les personnes âgées, et enfin les personnes pratiquant une activité sportive en période de pic de pollution photochimique à l'ozone, augmentant leur ventilation respiratoire.

La concentration standard d'ozone recommandée dans l'air doit être inférieure à 100 µg/m³ durant 8 heures et une autre de 150 µg/m³ pour une heure d'exposition (Graine h.2009).

III-7-2-5 Effets des polluants très dangereux :

a- Les Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP):

Les HAP particulaires proviennent des échappements des voitures et de tout type de combustion. Ce sont des composés souvent très cancérigènes, d'autant qu'ils sont les plus souvent associés à des fines particules, dites respirables ($D_p < 1 \mu m$). Le HAP le plus dangereux est le benzo(a)pyrène.

Les cancers induits par les HAP sont de quatre types : Poumon, peau, foie et vessie.

[38]

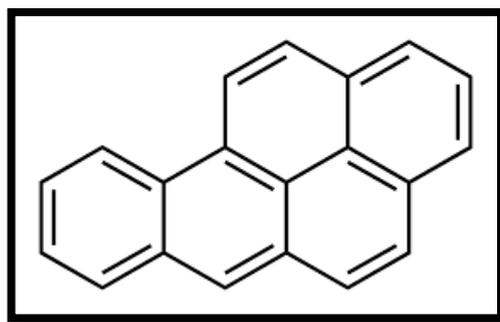


Figure III-5 : Structure du benzo(a)pyrène (BaP)

(Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Benzopyrène> consulté le: 11 avril 2021)

- b- Les dioxines :** La dioxine a pour appellation chimique tétrachloro-2, 3, 7, 8 dibenzo-para-dioxine (TCDD). On emploie souvent le terme de «dioxines» pour une famille de polychlorodibenzo-para-dioxines (PCDD) et polychlorodibenzofurane (PCDF) apparentés sur le plan structurel et chimique.

Ces composés sont émis en très faibles quantités par les combustions ou par les incinérateurs.

Une exposition brève de l'homme à de fortes concentrations en dioxines peut entraîner des lésions dermiques, comme la chloracné (ou acné chlorique), la formation de taches sombres sur la peau et une altération de la fonction hépatique. L'exposition de longue durée s'associe à une dégradation du système immunitaire, du développement du système nerveux, du système endocrinien et des fonctions génésiques. (OMS, 2016)

III-8 Normes sur la qualité de l'air:

III-8-1 Normes Algériennes :

L'Algérie se dote de Normes sur la qualité de l'air à partir de la publication au journal officiel du Décret exécutif n° 06-02 du 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique qui sont présentés sur le tableau **III-2** (Journal officiel de la république algérienne n° 01 du 8 janvier 2006. <http://www.joradp.dz>)

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

Tableau III-2: Normes algériennes sur la qualité de l'air

	Les polluants atmosphériques			
	Dioxyde d'azote (NO ₂)	Dioxyde de soufre (SO ₂)	Ozone (O ₃)	Particules fines en suspension
Objectif de qualité	135 µg/m ³	150 µg/m ³	110 µg/m ³	50 µg/m ³
Valeur limite	200 µg/m ³	350 µg/m ³	200 µg/m ³	80 µg/m ³
Seuil d'information	400 µg/m ³	350 µg/m ³	180 µg/m ³	/
Seuil d'alerte	600 µg/m ³	600 µg/m ³	360 µg/m ³	/

(µg/m³ : Microgramme par mètre cube)

III-8-3 Normes de l'OMS :

Les normes relatives à la qualité de l'air sont par ailleurs fixées par chaque pays, afin de protéger la santé publique de ses citoyens, et en tant que telles constituent un élément important de la gestion des risques et des politiques environnementales nationales. Les principaux polluants, leurs caractéristiques et les valeurs guide de l'OMS sont résumés dans le **tableau III-3**

Tableau III-3 : Principaux polluants atmosphériques, leurs sources et limites

(Source : OMS, 2005)

Polluant	Source principale	Norme
Monoxyde de carbone (CO)	Installations de combustion, transports, chauffage domestique.	10 mg.m ⁻³ sur 8 heures et 30mg.m ⁻³ sur 1 heure).
Oxydes d'azote (NOx)	Industries de combustion, transports et installations thermiques.	40µg.m ⁻³ en moy.par an et 200 µg.m ⁻³ en moy.par heure

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

Dioxyde de soufre (SO ₂)	Industries (installations thermiques, raffineries).	20 µg.m ⁻³ en moy. par jour et µg.m ⁻³ sur 10 min.
Particules	Véhicules (en particulier diesel) et combustion de certaines industries	pour les PM_{2,5} :10 µg.m ⁻³ en moy.par an et 25 µg.m ⁻³ en moye .par jour. Pour les PM₁₀ :20 µg.m. ⁻³ en moy.par an et 50 µg.m ⁻³ en moy.par jour.
L'Ozone	Polluant secondaire formé suite à des réactions chimiques entre COV et NOx en présence de rayons ultraviolets	100 µg.m ⁻³ en moy.sur 8 heures.

III-9 Techniques de mesure et d'analyse des polluants :

Avant d'effectuer des mesures ou des analyses, un échantillonnage (prélèvement) a en lieu. Il peut être passif ou actif, permettant ainsi de connaître les concentrations en polluants que nous respirons en milieu urbain.

- **Un échantillonnage passif** : l'air passe à travers un tube par simple diffusion moléculaire, et le polluant (oxydes d'azote, ozone, composés organiques volatils) est piégé sur un milieu absorbant, qui est analysé dans un second temps en laboratoire.
[39]

Cette technique de surveillance en plus d'être non couteuse, permet de disposer d'un grand nombre de points de mesure sur une zone donnée.

- **Un échantillonnage actif** : Le tube actif est relié à une pompe ou piston. On fait passer, à travers le tube, le volume d'air requis par le constructeur. Les polluants sont piégés au passage de l'air par un système de filtration. Cette technique plus coûteuse et délicate qu'un prélèvement passif.

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

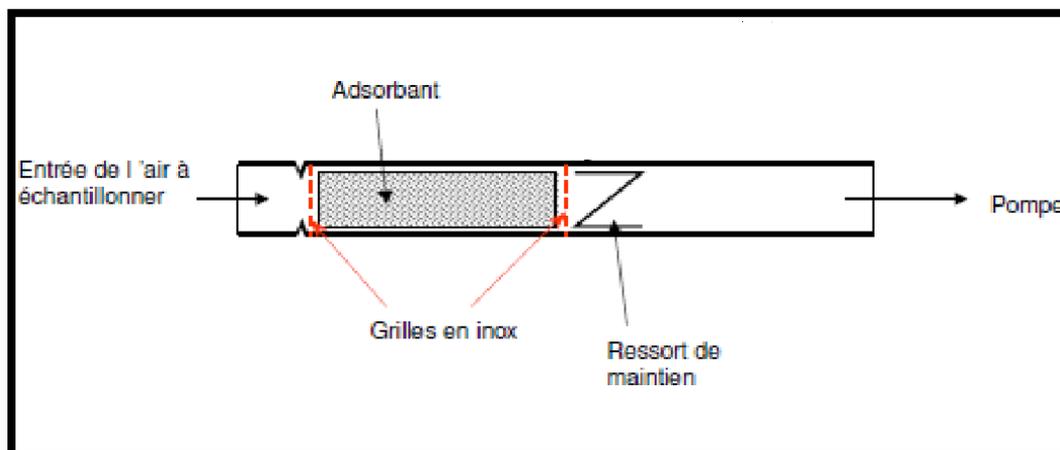


Figure III-6 : Principe d'un tube actif
(Source : semanticsholar.org)

Tableau III-4 : Caractéristiques de certaines techniques d'analyse des polluants (Ngo, 2006)

Technique utilisée	Principe	Gaz détecté	Gammes de mesure	Avantages	Inconvénients
Chimiluminescence	Emission lumineuse par un intermédiaire excité, lors d'une réaction chimique	NO, NO ₂	1 ppb	Très spécifique	*Maintenance *Etalonnage délicat
Chromatographie en phase gazeuse	Séparation de Composés gazeux sur une colonne, suivie d'analyse par FID, PID...	COV (selon détecteur et colonnes)	-<<1ppm à beaucoup plus -selon colonne et détecteur	Sensible, spécifique	Peu portable, Nécessite plusieurs Détecteurs, méthode destructive
Absorption infrarouge	Absorption par le produit à détecter d'un rayonnement IR ($\lambda \geq 800$ nm)	CO, CO ₂ , SO ₂ , HCl, HC	≈ ppm	sélective, sensible	Sensible à l'humidité, à l'empoussièrement et au dioxyde de carbone.

Le **tableau III-4** représente les principales méthodes de mesures utilisées pour l'analyse des polluants atmosphériques en précisant leurs atouts et leurs faiblesses.

III-10 Politique et méthodes de travail des réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique :

III-10-1 Objectifs :

Les réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique constituent la base de contrôle et d'alerte de la pollution atmosphérique. Ces réseaux peuvent être considérés à la fois comme des entreprises, des organisations publiques ou des associations à but non lucratif.

Les missions des réseaux de surveillance sont :

- Etablir des statistiques sur les niveaux des polluants.
- Vérifier les normes de pollution pour les polluants réglementés et effectuer des mesures ponctuelles de polluants non réglementés.
- Déclencher des alertes.
- Informer le public par l'intermédiaire des médias. Les réseaux publient chaque jour un indice de pollution (Indice ATMO) qui caractérise la qualité de l'air dans les villes importantes.

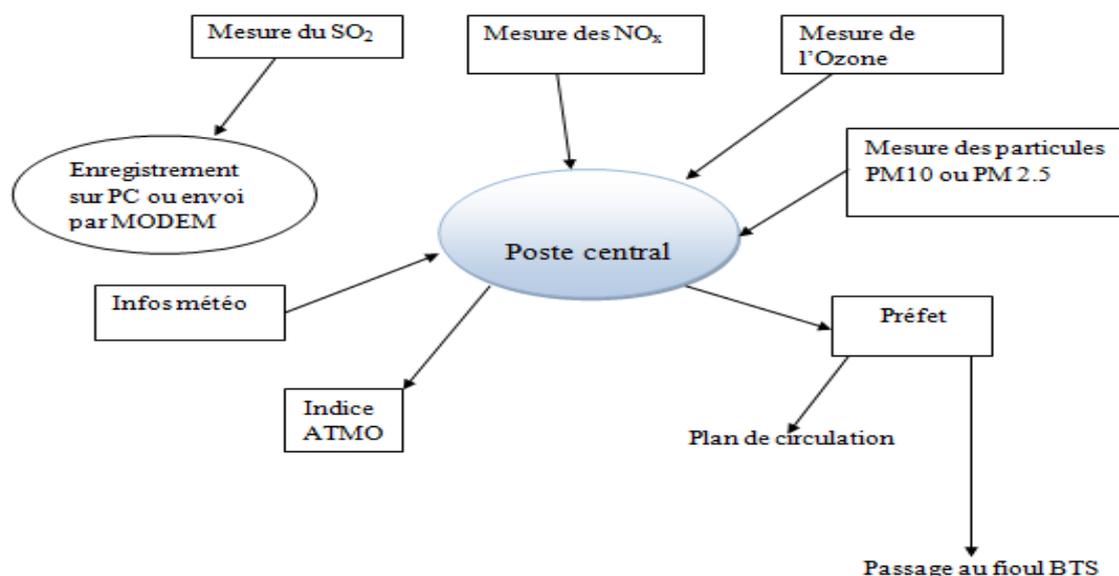


Figure III-7 : Fonctionnement d'un réseau de surveillance de la pollution de l'air

III-10-2 Indice ATMO :

L'indice ATMO actuel est un indicateur journalier de la qualité de l'air calculé sur les agglomérations de plus de 100 000 habitants, à partir des concentrations dans l'air de quatre polluants réglementaires : dioxyde de soufre (SO₂), dioxyde d'azote (NO₂), ozone (O₃) et particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM10). [40]

Il agit comme un thermomètre, avec une nouvelle graduation : il donne une représentation différente de la qualité de l'air. La prise en compte des particules fines PM2.5 et les changements de seuils permettent de mieux décrire la qualité de l'air. L'indice de qualité de l'air est souvent représenté par une " girafe " nommée Atmo, dont l'attitude varie selon la valeur de l'indice. Un qualificatif et une couleur sont associés à chaque valeur de l'indice.

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

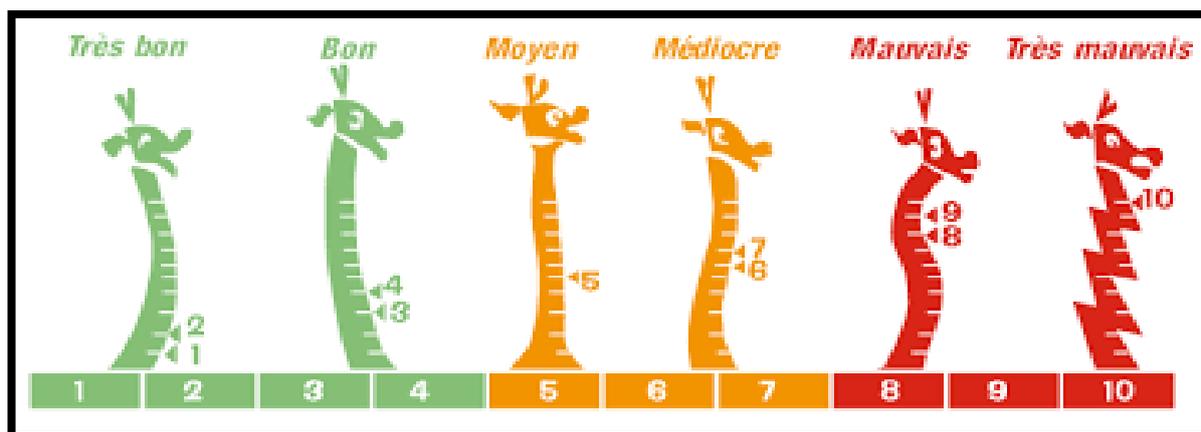


Figure III-8 : Indice ATMO (Source : votreair.airparif.fr/reglementation/indice-qualite-air-francais)

III-10-3 Quelques réseaux nationaux et internationaux :

III-10-3-1 Réseau AIRPARIF :

Airparif est un réseau de Paris et Ile de France. Il fournit un bulletin quotidien sur la qualité de l'air mesurée et donne des bulletins de prévisions ou d'alerte pour les principaux polluants : dioxyde d'azote, ozone, dioxyde de soufre mais aussi les particules en suspension, particulièrement celles inférieures à $10\ \mu\text{m}$ (PM10), le monoxyde de carbone et les composés organiques volatils. [41]

III-10-3-2 Réseau APPA :

L'APPA (L'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique) assure une veille scientifique dans différents champs thématiques concernés par la pollution atmosphérique, et diffuse les résultats de cette veille aux institutions, aux professionnels de différents secteurs et au grand public.

Il permet de réguler le trafic des véhicules et de diminuer la pollution par intervention sur les itinéraires des véhicules et le débit des voies principales. Par exemple, la circulation est modifiée sur les principaux axes suivant la direction du vent.

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

III-10-3-3 Réseau Air Normand :

Ce réseau comprend un système de prévision météo très pointu avec des prévisions sur 6 h et sur 24 h et un système de mesure permanente du SO₂. Son objet est :

- de participer à l'élaboration, à l'amélioration et à l'application des procédures d'information et d'alerte sur délégation du Préfet ;
- d'accompagner les autorités lors de gestion de crise ou de post-crise ayant une incidence sur l'air ;
- de servir de support à la mise en place de toute action destinée à étudier, mesurer les pollutions et nuisances atmosphériques et leurs effets sur la santé, l'environnement et le climat et participer à leurs suivi et évaluation ;
- de participer à l'évaluation et au suivi des actions prévues dans les programmes réglementaires et volontaires.

III-10-3-4 Réseaux internationaux :

- EMEP (European Monitoring and Evaluation Program)
- BAPMON (Background Air Pollution Monitoring Network)
- MERA

Ces réseaux sont destinés à mesurer les niveaux de la pollution atmosphérique à l'échelle globale (Effet de serre, ozone, changement climatique...)

III-10-3-4 Réseaux Sama Safia (Algérie) :

Le réseau SAMASAFIA (ciel pur), mis en place en 2002 à Alger puis étendu à Annaba, pour surveiller en continu la qualité de l'air, a coûté autour d'un million de dollars, financé sur prêt de la banque mondiale. Il comprend un dispositif identique de 4 stations à Alger et Annaba, chargée de mesurer les principaux polluants urbains : oxydes d'azotes, dioxyde de soufre, oxyde de carbone, hydrocarbures, poussières fines et ozone. Les données recueillies permettaient de calculer un indice de qualité de l'air dans ces villes, porté à la connaissance du public à travers sa publication quotidienne dans quelques journaux et son affichage sur des panneaux à la vue des passants. [42]

Chapitre III : La pollution atmosphérique : Les polluants atmosphériques, leurs sources et les méthodes de surveillance.

En Janvier 2008, le ministre de l'environnement a inauguré le troisième réseau de surveillance « SAMA SAFIA » dans la wilaya d'Oran, pour contrôler la pollution atmosphérique de la qualité de l'air et fournir au bilan quantitatif et qualitatif de la pollution du site sélectionné.

Oran à trois stations d'analyse programmé, la première installait au C.H.U (Gamison), la deuxième installait au CEM Charfaui (Medyoni), la troisième installait au lycée pasteur (La veille mosquée). Les trois stations sont reliées par câble téléphonique au laboratoire Régionale de l'environnement.

Le réseau SAMA SAFIA est en état d'arrêt depuis 2009.



Figure III-9 : Station d'analyse destinée à la surveillance « SAMA SAFIA » Oran

Conclusion :

Ce chapitre a été un modeste aperçu sur la problématique de la pollution atmosphérique, nous avons cité les différents polluants atmosphériques et leurs sources, ainsi que les effets de la pollution sur la santé et l'environnement.

En fin, nous avons présenté quelques mesures et réseaux de surveillances de la qualité de l'air dans le monde.

CHAPITRE IV :

Application de la solution CityTree dans la ville d'Arzew

CHAPITRE IV : Application de la solution « City Tree » dans la ville « d'ARZEW»

Introduction :

La pollution atmosphérique urbaine est un problème auquel de nombreuses villes du monde sont confrontées. De plus en plus de gens viennent en ville, l'activité augmente et la qualité de l'air diminue en conséquence.

Les pics de pollution de ces dernières années ont déclenché la mise en place de mesures de dépollution dites "écologiques" dans certaines villes.

Dans ce chapitre, nous allons dans un premier temps présenter la ville d'Arzew, on va citer les impacts de la pollution de l'air sur la population de la ville. Ensuite, nous allons présenter la nouvelle solution pour la lutte contre la pollution atmosphérique « **le CityTree** », et nous allons faire une estimation sur les impacts de l'application de CityTree dans la ville d'Arzew. Et pour finir, nous allons citer les divers obstacles et facteurs qui vont entraver l'adaptation de ce dispositif en Algérie.

IV-1Présentation de la ville « ARZEW » :

IV-1-1 Localisation d'Arzew :

Arzew (ou Arzeu) est situé à 42 kilomètres à l'est d'Oran et 71,9 km² de superficie. La ville et son port sont logés dans la partie ouest d'une vaste baie, au débouché des riches laines du Sig et de l'Habra, rivières qui se confondent dans les anciens marais de la Macta. Le golfe d'Arzew est, avec Mers-el-Kebir, le meilleur mouillage naturel de l'Algérie occidentale, voire de toute l'Algérie. Il n'est pas inintéressant de noter que cette rade portait dans l'Antiquité le nom de Portus Magnus qui est l'équivalent exact de Mers-el-Kebir, nom donné à l'autre rade située à l'ouest d'Oran qui s'appelait alors Portus divini. [43]

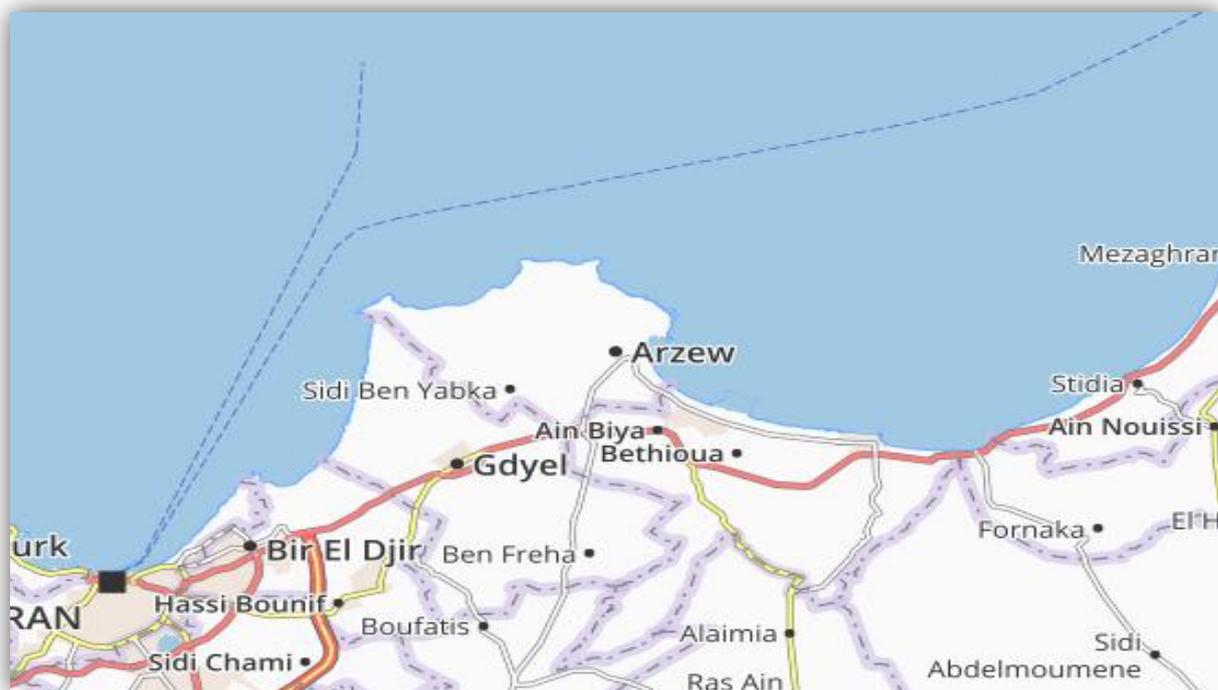


Figure IV-1 : localisation de la ville d'Arzew

Avant la création de la zone industrielle, la côte Est était bordée de plages et de dunes vives sur presque toute sa longueur et s'appuyait sur un riche arrière-pays agricole ; alors que la pêche côtière était pratiquée au port d'Arzew.

Les communes du pôle industriel ont enregistré des taux de croissance démographique significatifs, surtout en ce qui concerne la décennie 1977-1987 : (Arzew : 6.83% ; Ain El Bia : 17,49% ; Béthioua : 1,83%). En effet la population du pôle industriel est passée de 34 000 en 1977 à 115 000 en 1998.

IV-1-2 Les paramètres météorologiques :

IV-1-2-1 Température :

La région d'Arzew est caractérisée par un climat modéré. Généralement, la température minimale de l'air ne s'abaisse pas au-dessous de 0 °C et la maximale ne dépasse pas 40 °C. La moyenne annuelle de température est de 18.5 °C, avec des moyennes mensuelles extrêmes de 28,8°C en mois d'Août

Chapitre IV : Application de la solution « CityTree » dans la ville d'Arzew

Tableau IV-1 : Valeurs climatiques moyennes et totales annuelles de la ville d'Arzew

Année	T	TM	Tm	PP	V	RA	SN	TS	FG	TN
2010	19.3	23.2	16.1	342.65	14.6	72	0	5	0	0
2011	19.4	23.2	16.2	340.38	-	45	0	2	0	0
2012	19.1	22.7	16.2	362.48	-	37	0	11	4	0
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	19.3	21.8	16.4	233.66	12.7	32	0	7	1	0
2018	18.9	21.7	16.1	-	13.2	58	0	13	5	0
2019	19.2	21.9	16.4	217.17	14.1	41	0	7	5	0
2020	19.8	22.3	17.1	226.05	13.8	33	0	4	7	0

T : Température moyenne annuelle

TM : Température maximale moyenne annuelle

Tm : Température minimale moyenne annuelle

PP : Précipitation totale annuelle de pluie (mm)

V : Vitesse moyenne annuelle de vent (Km /h)

RA : Total jours de pluie durant l'année

SN : Total jours de neige durant l'année

TS : Total jours de tempête durant l'année

FG : Total jours de brouillard durant l'année

TN : Total jours de tornades ou nuages en entonnoir
durant l'année

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

IV-1-2-2 Régime des vents :

Les caractéristiques des vents d'Arzew sont : des vents qui soufflent d'Ouest au Sud-ouest. Au mois de décembre prévalent les vents Sud-ouest de 7h à 18h : les vents Ouest et Sud à 13h. Les mêmes remarques peuvent être notées pour les mois de janvier, novembre, mars, avril et mai. Néanmoins pour les trois derniers mois, on enregistre des vents Nord-est). les mois de sécheresse sont les mois à prédominance des vents Nord-est. Il existe, par ailleurs, des vents chauds (Sirocco) provenant du Sud et Sud-ouest. Ce sont des vents chauds et secs de 09 à 16 jours par an (**Figure IV-2**). En plus, le vent est une des forces régissant les courants et les houles (Ces dernières constituent un facteur écologique très important le long du littoral algérien en absence des courants permanents et des marées puisqu'ils sont les seuls à agir activement au niveau des baies et des golfes de la côte au large.

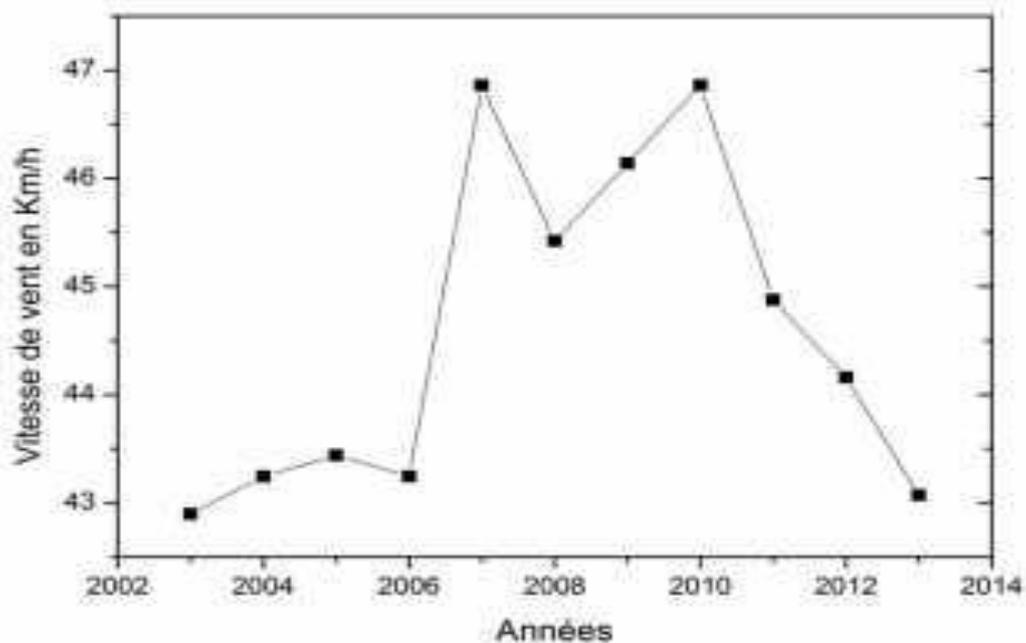


Figure IV-2 : Variations interannuelles du régime du vent (Taghezout .F 2015).

IV-1-2-3 Les précipitations :

Les précipitations sont très variables sur une année et d'une année sur l'autre. Ces variations s'expliquent par l'existence d'importants gradients de précipitations dans le pays. Un gradient de précipitations longitudinal explique que les pluies augmentent en allant d'Ouest en Est.

Une grande variabilité est remarquée sur la répartition mensuelle des précipitations sur la région d'Arzew. Les précipitations moyennes mensuelles peuvent varier de 2 mm d'eau en saison sèche à environ 60 mm en période hivernale.

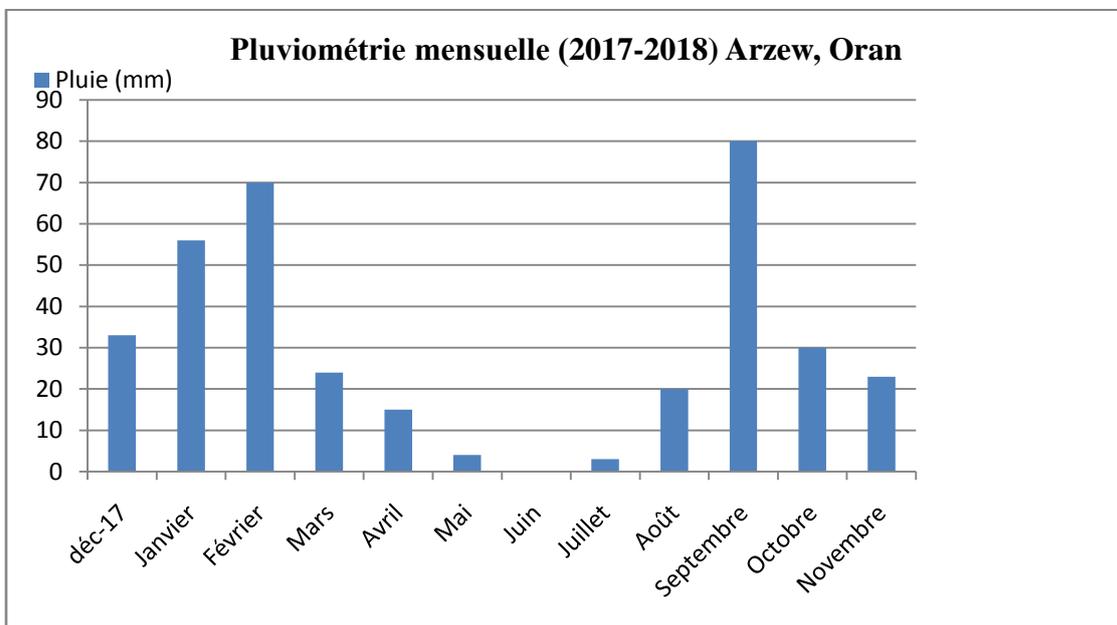


Figure IV-3: Répartition mensuelle des précipitations sur Arzew pour les années 2017-2018

IV-1-3 La zone industrielle d'Arzew :

La zone industrielle d'Arzew s'étend sur une superficie de 2800 hectares, comprend deux ports spécialisés et une plate forme industrielle.

Cette plate forme industrielle comprend une concentration élevée de complexes pétrochimiques et de raffinage à haut risque (05 complexes de liquéfaction, une raffinerie, un complexe de production de méthanol et résines, un complexe d'ammoniac, etc.), une centrale électrique de capacité 960MV, six unités de production (Hélium, Azote, engrais liquides, gaz

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

industriel, emballage...), un réseau de pipe provenant des champs pétrolifères de Hassi Messaoud et Hassi Rmel et un ensemble d'unités de prestation de service dans les domaines de maintenance industrielle, de Génie Civil et de formation de personnel.

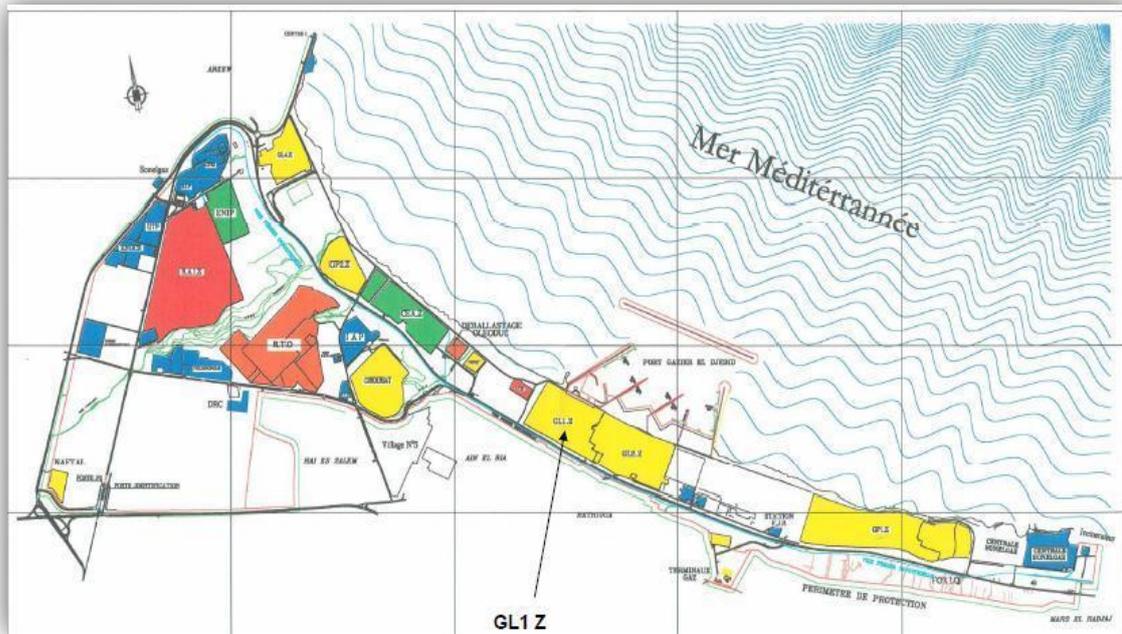


Figure IV-4 : Plan de masse de la zone industrielle d'Arzew.

IV-2 Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé de la population d'Arzew:

La ville d'Arzew, et les localités voisines (el mefsoukh et bethioua) restent fortement soumises à une pollution atmosphérique les plus inquiétantes.

Au Service des Urgences relevant de l'EPSP, le nombre de personnes souffrant des maladies chroniques et des difficultés respiratoires comme les asthmatiques a dépassé les 10 cas/jour. «Le nombre de cas d'asthme bronchique déclaré dépasse les 1200 pour la seule daïra d'Arzew. Cette pathologie est due, selon les spécialistes, à la progression du taux de la pollution atmosphérique émanant de la zone industrielle.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

Les personnes particulièrement exposées à ces risques sont les enfants, les personnes âgées ainsi que les personnes souffrant des maladies chroniques à caractère respiratoire, telles que les cardiaques ou les insuffisants respiratoires.

La santé des enfants d' Arzew :

Les médecins de la santé scolaire sont unanimes à confirmer que près de 35% des élèves à travers la région, souffrent de divers troubles respiratoires, et près de 13% ont déjà contracté de l'asthme.

A forte vocation industrielle, la ville d'Arzew et le reste des agglomérations urbaines si proches demeurent soumise malheureusement à une pollution atmosphérique si alarmante. L'air, à travers cette région, a fini par se faire charger de multiples gaz si nuisibles à la santé, qui favorisent par malheur, le développement de diverses allergies, touchant plus particulièrement l'appareil respiratoire et la sphère ORL. La concentration d'implantation de zones industrielles, liées au développement de la pétrochimie, semble aggraver davantage, au fil des ans, la fréquence de ces pathologies respiratoires. Le constat établi par les médecins de la santé scolaire est encore si inquiétant, près de 34% des effectifs scolarisés au sein de l'établissement de premier et moyen cycle, souffrent de multiples allergies respiratoires, et près de 13%, ont déjà développé de l'asthme qui perturbe leur scolarité et les expose à l'insuffisance respiratoire. Les pathologies les plus diagnostiquées par le personnel médical, restent les rhinites et l'asthme dont l'origine est d'ordre allergique. Les médecins ont également observé que la prévalence de ces maladies, ne cesse de progresser d'une année scolaire à l'autre, et tend à s'élever davantage. A ce sujet, ces derniers soulignent également que la cause principale de ces allergies respiratoires, est due à la pollution de l'air, trop chargée de gaz émis dont les plus répandus sont le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, le monoxyde et le dioxyde de carbone, provenant des unités industrielles de la région. Ces émanations toxiques sont devenues les principaux facteurs qui provoquent la quasi-totalité des maladies dépistées. Ces dernières finissent souvent par altérer l'état de santé des écoliers. Elles les exposent à diverses maladies, dont les dyspnées, des gênes respiratoires et les essoufflements répétitifs. Le reste des élèves ne sont pas épargnés par la production de ces gaz, ils finissent souvent par développer d'autres formes allergiques d'ordre cutané, dont les eczémas, les urticaires, et de diverses dermatites (inflammations de la peau). [44]

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

Le **tableau IV-2** représente l'hospitalisation des malades selon le type des maladies respiratoire et le mode de sortie à l'établissement hospitalier public d'el Mohgoun –Arzew en 2021

Tableau :IV-2 :Les statistiques des malades hospitalisés à EPH EL-MOHGOUN en (2021)

(Annexe A)

Type de maladie	Nombre des malades	Mode de sortie
Asthme bronchique	17	2 décès/ 15 normales
BPCO (bronchopneumopathie chronique obstructive)	4	4 normales
Fibrose pulmonaire	2	2 normales
Tuberculose pulmonaire	1	normale
Processus néoplasique (Cancer)	1	normale
Insuffisance respiratoire	5	5 normales

IV-3 Les solutions écologiques pour réduire la pollution de l'air dans les villes :

Alors que les preuves des effets dévastateurs de la pollution de l'air sur la santé humaine continuent d'augmenter, l'amélioration de la qualité de l'air urbain est devenue l'une des tâches les plus urgentes auxquelles les populations sont confrontées. C'est aussi une opportunité pour les industries désireuses de participer à un projet écologique et civique.

De nombreux projets ont été initiés pour améliorer la qualité de l'air, notamment dans les zones urbaines densément peuplées. Par exemple :

- **Les micro-capteurs** qui sont utilisés pour mesurer en contenu et en temps réel la qualité de l'air extérieur.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

- **Les stations multiphysiques** pour l'étude du bruit, de l'air et de la poussière.
- **La biofiltration végétalisée** qui consiste à utiliser les capacités épuratrices des plantes. La solution permet à l'air ambiant pollué de passer à travers les revêtements des plantes et des minéraux, permettant la culture de plantes et le développement de micro-organismes. Ces végétaux captent alors les particules fines et dissolvent les composés polluants gazeux. Les résidus de pollution sont finalement éliminés par les micro-organismes. Ce procédé peut être appliqué aux toits ou aux murs sans même concevoir de nouveau mobilier urbain. De nombreuses entreprises se lancent dans ce domaine tel que l'entreprise allemande « **Green City Solutions** ».



Figure IV-5 : Micro capteur



Figure IV-6 : Station multiphysique

IV-3-1 La biofiltration végétalisée (Le mur végétal) :

IV-3-1-2 Définition du mur végétal :

Les murs verts ou les murs végétaux sont des structures verticales qui ont différents types de plantes ou d'autres plantes attachées à eux. La verdure est souvent plantée dans un milieu de croissance composé de terre, de pierre ou d'eau. Parce que les murs ont des plantes vivantes, ils comportent généralement des systèmes d'irrigation intégrés.

Les murs végétaux sont un moyen fiable d'améliorer l'apparence visuelle d'un bâtiment, d'améliorer la qualité de l'air. Ils sont considérés comme une excellente solution pour toute propriété qui souhaite agrandir son espace avec les avantages intrinsèque de la nature.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

Les murs verts diffèrent des façades, qui grimpent souvent sur les murs extérieurs des bâtiments, en les utilisant comme support structurel. Dans les murs verts, le milieu de croissance est sur la surface ou la structure du mur, tandis que les façades sont enracinées dans le sol. De plus, la verdure des façades peut prendre beaucoup de temps à se développer pour couvrir un mur entier, tandis que les murs verts peuvent être pré-cultivés.



Figure IV-7: Mur végétal installé sur la façade des Halles d'Avignon –Place Pie France
(Source : www.wikipedia.com consulté le 10-06-2021)

Tableau IV-3 : Différence entre un mur végétal et une façade verte

	Mur végétal (Mur vert)	Façade verte
Elément visuel	✓	✓
Amélioration de l'acoustique	✓	✓
Purification de l'air	✓	X

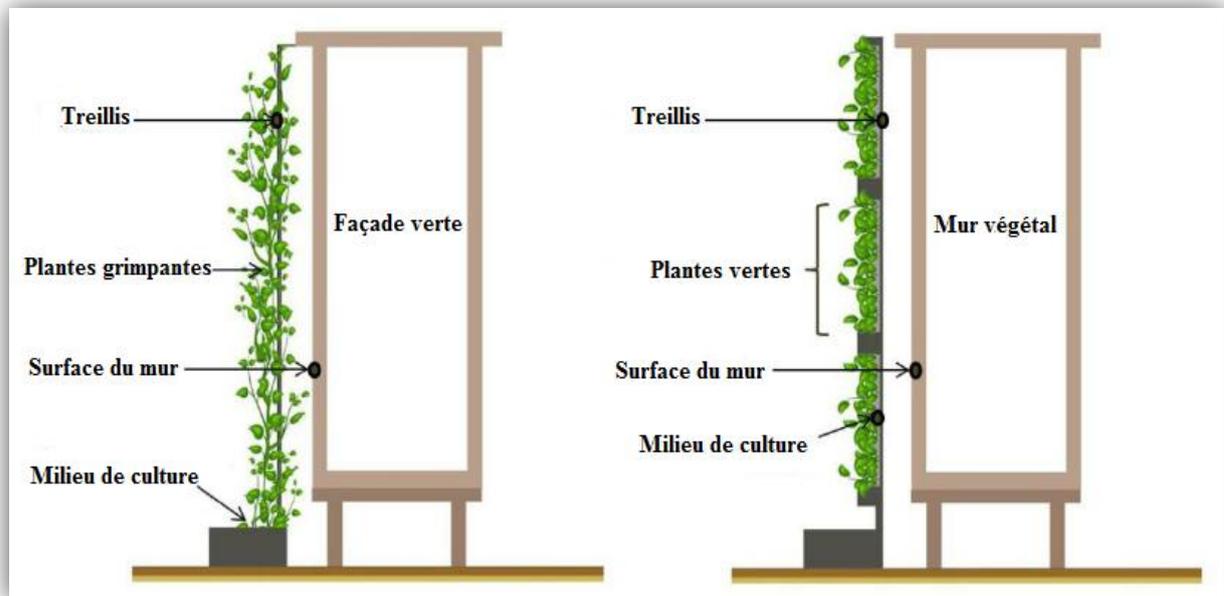


Figure IV-8: Le mur végétal et la façade verte

IV-3-1-3 Principe d'un mur végétal :

Un mur végétal va absorber les bruits. C'est un mur avec une meilleure isolation thermique.

Les plantes régulent les pertes de chaleur et d'humidité. Installé à l'extérieur sur une façade ensoleillée, il va absorber le rayonnement solaire et permettre de maintenir la fraîcheur l'intérieur du bâtiment.

Le choix des plantes dépend du climat et de l'exposition. Des végétaux spécifiques sont prévus pour les murs végétaux intérieurs. Le mur doit être stable et étanche à l'eau.

Une structure légère en aluminium est fixée au mur porteur pour créer un espace d'air ventilé continu.

Des éléments modulables de plantes sont fixés sur des grilles métalliques elles mêmes fixées à la structure aluminium.

Un système d'irrigation automatique est intégré au mur. Il est composé d'un réseau de tuyaux à micro goutteurs pour un système très économe.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

Le mur doit être inspecté au minimum deux fois par an. Les mauvaises herbes sont ôtées à la main, les filtres sont changés,... [45]

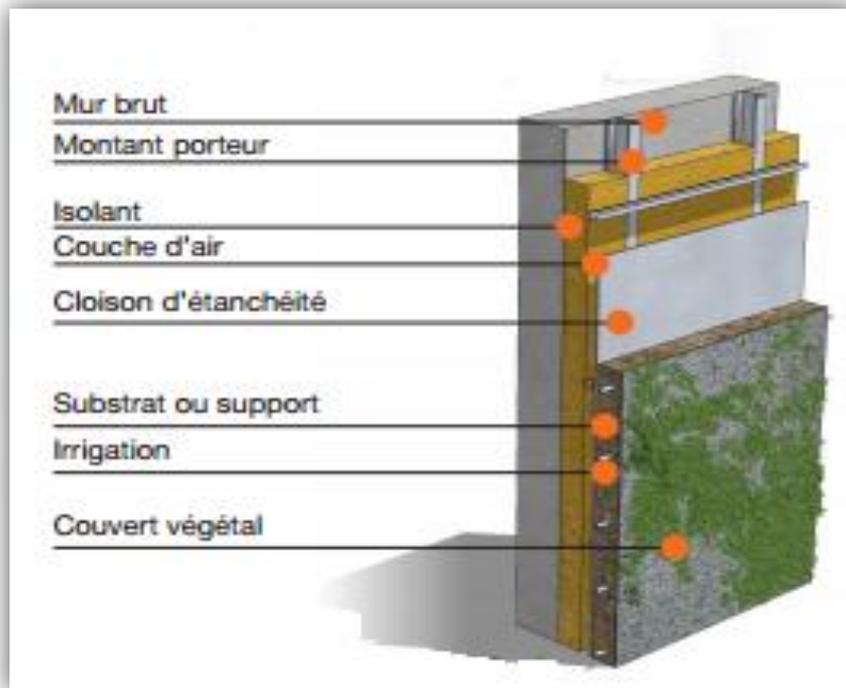


Figure IV-9 : Structure type d'un mur végétal

IV-3-1-4 Les avantages du mur végétal :

Un mur végétal offre des très nombreux avantages, sur les plans économiques, sociaux et écologiques. Il est à la fois un atout esthétique en termes de décoration mais il possède également un grand nombre d'avantages sur l'environnement

A- Purification de l'air : L'un des avantages les plus importants d'un mur végétal est d'améliorer la qualité de l'air. Environ 25% des émissions de carbone produites par l'activité humaine sont absorbées par les plantes.

Les plantes d'un mur végétal filtrent les poussières fines de l'air et transforment le CO₂ en oxygène.

B- Diminution de la température environnante : Les plantes du mur végétal absorbent la lumière solaire. Celle-ci est absorbée à 50% et réfléchi à 30%. Un climat plus frais et plus agréable est ainsi créé. Pour le climat intérieur, cela signifie que la climatisation doit fonctionner 33% moins fort, ce qui entraîne une économie d'énergie.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

Un mur végétal extérieur a également un effet positif sur l'îlot de chaleur urbain dans la ville. Un abaissement de température de 3 °C eut ainsi être réalisé dans la ville. [45]

- C- Réduction du bruit : Le mur végétal fonctionne comme une barrière insonorisante. Elle peut absorber plus de 40% de bruit par rapport à une façade traditionnelle et apporte plus de calme dans l'environnement.
- D- Augmentation de la biodiversité : Les plantes intégrées dans un mur végétal favorisent le cadre de vie des oiseaux, papillons et insectes...
- E- Augmentation de sentiment de bien-être : Un air plus pur entraîne moins de problèmes de santé telle que les irritations respiratoires, ainsi d'une augmentation de la concentration et de l'attention. Un cadre vert détend et engendre moins de stress.

IV-4 L'entreprise « Green City Solutions »:

IV-4-1 Présentation de l'entreprise:

Green City Solutions est une start-up soutenue par l'EIT Climate-KIC (European Institute of Innovation and Technology Climate-Knowledge and Innovation Community). Elle repose essentiellement sur l'amitié de longue date des fondateurs. En voyageant en Asie et en Europe du Sud, ils ont subi de manière indépendante les conséquences négatives de l'air pollué et du réchauffement massif dans les zones métropolitaines. Cette expérience a déclenché leur recherche d'une solution écologique et économique à ces problèmes mondiaux. En mars 2014, Green City Solutions GmbH a été fondée à Dresde par une jeune équipe d'experts de l'horticulture et de la biologie, de l'informatique, de l'architecture et du génie mécanique, principalement par le **PDG Peter Sängner** : Gestion de la production en horticulture, **Liang Wu** : Responsable Informatique des médias et Administration des affaires, **Max Gimpel-Henning** : Responsable Commerce international et Énergie verte, **Simon Thiès** : Innovation sociale et Développement des affaires.

La combinaison intelligente de l'expertise disponible individuellement a finalement été matérialisée dans le produit par la combinaison parfaite de la nature et de la technologie de l'Internet des objets - le premier CityTree au monde a été créé.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew



Figure IV-10 : L'équipe fondatrice de Green City Solutions

IV-4-2 Historique de l'entreprise : [46]

✓ MARS 2014

Fondation de Green City Solutions à Dresde

✓ AVRIL 2015

Installation du premier City Tree acquis par AOK (Allgemeine Ortskrankenkasse) Plus à Jena (Allemand)

✓ SEPTEMBRE 2015

Oslo est le premier site international à acquérir et à installer deux City Trees



Figure IV-11 : L'installation du premier CityTree à Oslo

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

✓ JUILLET 2016

À Hong Kong, le premier projet pilote dans la région asiatique est réalisé

✓ DÉCEMBRE 2016

Achèvement du premier tour de financement

✓ JUIN 2017

Mise en œuvre des premières mesures scientifiques de la performance des filtres à Modène (Italie)

✓ DÉCEMBRE 2017

Installation réussie de plus de 30 arbres urbains dans plus de 10 pays

✓ OCTOBRE 2018

Installation réussie de plus de 50 arbres urbains dans plus de 10 pays

✓ DÉCEMBRE 2018

Déménagement dans le deuxième site de l'entreprise avec sa propre ferme de mousse: la production de nos propres tapis de mousse commence.

✓ MARS 2019

Le projet mousse-arbre de Green City Solutions obtient un financement du programme -cadre de l'UE- pour la recherche et l'innovation, Horizon 2020, dans le cadre de la convention de subvention n ° 847744

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

✓ JUIN 2019

Début de la coopération avec Deutsche Telekom

✓ OCTOBRE 2019

Le CityTree 2.0 entre en production en série

✓ DÉCEMBRE 2019

L'Institut Tropos certifie une performance de filtration des mousses de 82%

✓ JANVIER 2020

L'Institut Tropos certifie une réduction de la poussière fine jusqu'à 53% grâce au CityTree

✓ JANVIER 2020

L'ILK Dresden certifie une réduction de température de 2,5 ° C autour du CityTree

✓ MARS 2020

La nouvelle génération de produits sera présentée avec trois CityTrees dans le cadre du projet Horizon2020 devant Bikini Berlin

IV-4-3 L'objectif de Green City Solutions :

Green City Solutions travaille pour un objectif clair: une meilleure qualité de vie pour les personnes vivant dans les espaces de vie urbains du monde entier. Tout ce qu'ils font s'y conforme.

Une solution inspirée de la nature ; une mousse verte avec une capacité naturelle de lier la poussière fine et de la métaboliser. De plus, les mousses refroidissent l'air ambiant en

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

évaporant de l'eau sur une énorme surface foliaire. Ces capacités peuvent être utilisées de manière optimale pour améliorer la qualité de l'air local et faire de cette mousse un filtre à poussières fin durable et régénérateur avec un effet de refroidissements.



Figure IV- 12: Mousse végétale purifiante de l'air

IV-5 La solution « CityTree » :

IV-5-1 Présentation de CityTree :

Le CityTree (L'arbre de la ville) est un mur de mousse végétale dépolluant, avec une dimension de 4 mètres de haut, 3 mètres de large et d'un mètre d'épaisseur. Il utilise la biotechnologie pour remplacer et imiter les avantages de la réduction de la pollution réalisée par « environ 275 arbres urbains » [50]

C'est une combinaison de mobilier urbain et d'un biofiltre, un banc en dessous et une zone recouverte de mousse au dessus. Cela ouvre de nouvelles possibilités d'application, par exemple dans les domaines des villes intelligentes, des infrastructures, on peut installer des bornes de charge pour téléphone mobile (e-mobilité) et de la communication. [47]

Les modules de mousse intégrés amènent la forêt dans la ville et garantissent que l'air est de manière vérifiable et visiblement propre. Le CityTree combine le pouvoir filtrant naturel des mousses avec la technologie intelligente IoT (Internet des objets) avec un système d'irrigation et de ventilation automatisé.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

Les City Trees sont ainsi surnommés « *les premiers filtres à pollution biotechnologiques au monde* ». L'un des avantages que représentent les CityTrees réside dans le fait qu'il n'occupe pas beaucoup de place, ce qui ne serait pas le cas si l'on plantait 275 arbres dans la ville. De plus, contrairement aux vrais arbres, les CityTrees fonctionnent durant l'hiver. À cela s'ajoute le fait que le système collecte également des données environnementales qui permettent de suivre ses capacités réelles.



Figure IV-13 : Le premier modèle du CityTree

De nombreuses personnes qui sont rentré en contact avec les premiers CityTrees n'ont pas aimé l'aspect "non organique" en forme de "boite". C'est pourquoi Green City Solutions cherche constamment à mettre à jour son premier model. Ils ont changé sa forme externe, au lieu d'acier, ils ont utilisé du bois pour rendre l'apparence du CityTree plus naturel et plus similaire à un arbre réel.

En 2020, Green City Solutions a lancée un nouveau modèle spécialement fabriqué en bois et plus petit que le premier modèle, tout en gardant la même efficacité environnementale.



Figure IV- 14: Le nouveau modèle en bois

IV-5-2 Les caractéristiques de CityTree :

- Plus de 1682 variétés de plantes dans des pots de mousse
- Des panneaux solaires pour une alimentation énergétique autonome.
- Un système d'irrigation automatique intégré
- Des capteurs pour relier et réguler les besoins de la mousse en eau en nutriments, et pour récolter des informations sur la qualité de l'air, le climat ou encore le trafic autour du CityTree.
- Une surface de plantation de 2,80 m² (environ 16 m² d'espaces verts écologiques)
- Le choix des plantes est libre (plantes qui composent la mousse), en fonction des conditions locales, des besoins en entretien et des exigences esthétiques
- Un réservoir d'eau intégré
- Banc public
- Une Borne Wifi

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

- Une Plateforme de données et hub de mobilité grâce à l'installation de la technologie Smart City comme des capteurs de poussières fines ou des bornes de recharge électronique.
- Point de contact d'information pour la communication de l'actualité de la ville via un écran LED ou des panneaux d'information.
- Un endroit vert pour se détendre grâce à des sièges supplémentaires ainsi que d'autres ajouts pour améliorer la qualité du séjour.
- Sans ancrage au sol (déplaçable à tout moment) [48]

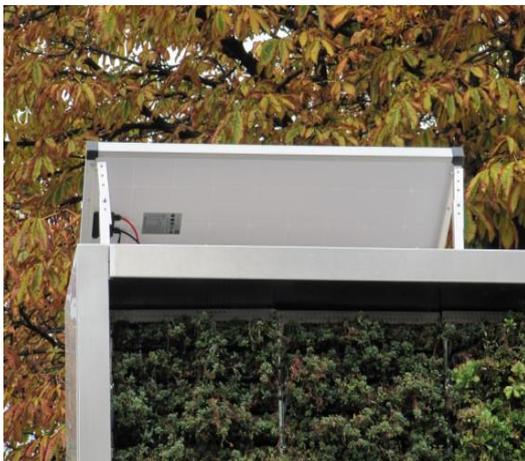


Figure IV-15 : Panneaux solaires



Figure IV-16 : Plantes purifiantes d'air



Figure IV-17 : Borne Wifi



Figure IV-18 : Ecran de publicité intégrée

IV-5-3 Mode de fonctionnement :

1. L'air chaud et pollué est aspiré par les ventilateurs intégrés.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

2. L'air circule à travers les tapis de mousse verticaux et est purifié et refroidi au cours du processus.
3. L'air propre et frais pénètre dans l'environnement grâce à la conception d'ombrage écologique.
4. La technologie de capteur intégré contrôle l'approvisionnement en mousse et mesure les performances et les données environnementales en temps réel.

IV-5-4 Performance environnementale :

- Chaque City Tree peut absorber jusqu'à 25g de particules fines et 120g de NOx par jour (l'équivalent des émissions de 10 000 véhicules sur 25 mètres)
- Capte 240 tonnes de CO₂ chaque année
- Récupération des eaux de pluie

Technologie de l'IoT (internet des objets) : La technologie auto-alimentée de l'IoT recueille des données climatiques et environnementales qui sont combinées et étendues aux valeurs de la qualité de l'air des villes.

Culture de la mousse : La technologie de l'IoT est associée à la capacité naturelle de certaines cultures de mousse et de fleurs pour filtrer les particules fines et l'oxyde d'azote et par conséquent de grandes quantités de CO₂ présentes dans l'air des villes. [46]

Les mousses peuvent filtrer jusqu'à 82% de la poussière fine de l'air qui la traverse. Cela conduit à une réduction de la poussière fine de 53% à une distance d'un mètre et demi.

Les mousses peuvent métaboliser la plupart des poussières absorbées par l'air. Une plus petite partie est stockée dans les sédiments de la mousse et ensuite consommée par ces derniers.

Le reste est biodégradé par les bactéries. La mousse est donc un aspirateur à poussières.

L'eau s'évapore sur l'énorme surface foliaire de la mousse et, en combinaison avec la technologie de ventilation, ca crée un effet rafraîchissant agréable.

- Une Filtration de 3500 m³ de la quantité d'air qui équivaut à la respiration de 7000 personnes.

IV-6 L'application de CityTree dans la ville d'Arzew :

La ville d'Arzew concentre un grand nombre d'activités industrielles et urbaines générant de fortes émissions des polluants gazeux tels que: le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde d'azote (NO), l'ammoniac (NH₃), Le dioxyde de carbone (CO₂), le monoxyde de carbone (CO), l'Ozone (O₃) certains composés organiques volatils et les particules de poussière (PM10) d'un diamètre aérodynamique de 10 µm.

Tableau IV-4 : Quantité des polluants de l'air dans quelques régions en Algérie (revue francophone d'écologie industrielle.2014)

Localité	Type de rejet	Quantité (t/an)
Alger	NOx	1000
	CO	200
	COV	100
	SO2	100
	poussières	80
Arzew	NOx	3000
	CO	500
	COV	350
	SO2	150
	poussières	100
Skikda	NOx	6000
	CO	1000
	COV	450
	SO2	200
	poussières	120

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

IV-6-1 Les résultats d'une application de CityTree sur la ville d'Arzew :

Tableau IV-5 : Tableau des résultats après l'application de CityTree a Arzew

Avant tn/an	Après tn/an	Taux de réduction
Poussières : 100	18	82%
NO _x : 3000	131 ,4	0,0438 tn/an
Température moyenne : 19,3°C	16,8°C	2,5°C

- ❖ Ces résultats sont prédits par calculs sur la base des données fournies par Green City Solutions.
- ✓ Poussières filtrées : 82% des poussières fines donc la quantité des poussières pourra être réduite de 100 tn/an à 18 tn/an.
- ✓ Le CityTree pourra baisser jusqu'a 120g /jour de NOx ce qui équivaut à 0 ,0438 tn/an donc la quantité de NOx sur notre cas d'étude sera réduite à 131 ,4 tn/an au lieu de 3000 tn/an
- ✓ La température moyenne sera réduite à 16,8 °C au lieu de 19,3 °C.

IV-6-2 L'implantation de CityTree dans la place du 1er Novembre :

IV-6-2-1 Choix du site :

La place du 1er Novembre (La placette) est considérée comme l'espace public le plus important de la ville d'Arzew, par sa fréquentation et sa popularité c'est la place la plus connue d'Arzew. C'est le nœud de convergence des flux de populations en plus des principales artères commerciales. C'est un lieu de circulation, communication et de rencontre.

Elle est à la croisée des chemins de plusieurs routes que vous venez du port, du grand marché ou de la DRIZ (Direction Régionale Industrielle d'Arzew).

Avec une fontaine au milieu en forme d'étoile, qui apporte fraîcheur et ambiance apaisante en été.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew



Figure IV-19 : Place du 1^{er} Novembre (Arzew)
(Source : www.facebook.com)

L'objectif principal est de lutter contre la pollution urbaine sources de problèmes de santé et nuisances à l'environnement.

L'espace choisi présente certaines caractéristiques de base qui font de lui un bon modèle pour l'application de CityTree :

- La localisation de la Place du 1^{er} Novembre au centre ville, où la pollution est importante en raison du trafic routier.

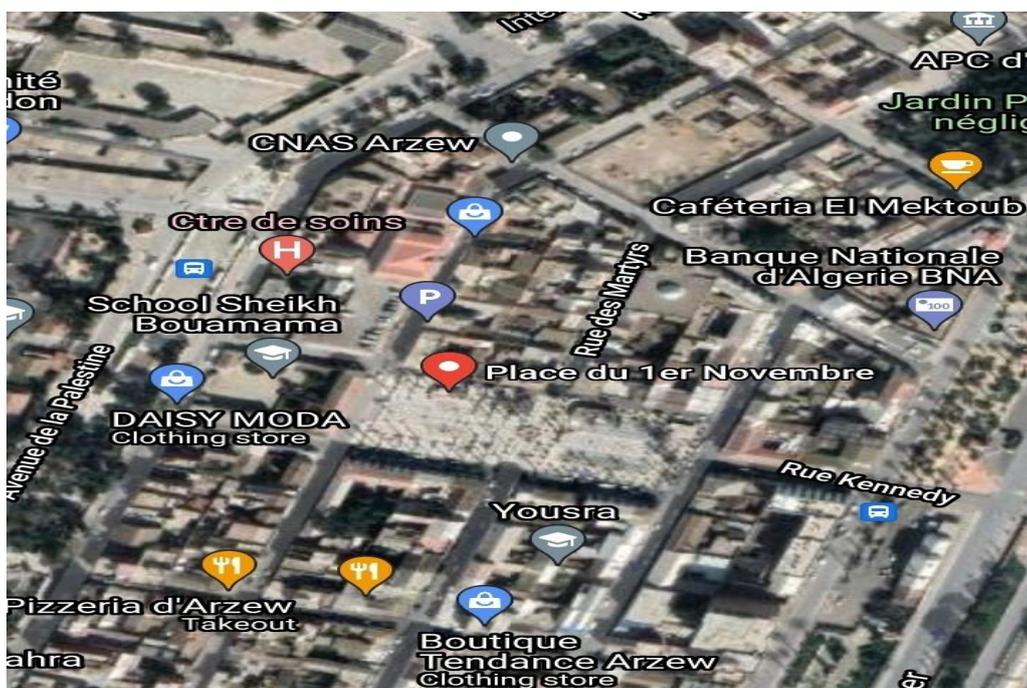


Figure IV-20 : Localisation de place du 1^{er} Novembre –Arzew

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

- C'est un espace public urbain qui attire beaucoup de gens pour s'y asseoir, s'y reposer, discuter entre amis ou famille, prendre un repas ou une collation ...
- il manque de mobiliers et d'espaces verts urbains.



Figure IV-21 : Place du 1^{er} Novembre pendant la nuit
(Juin, 2021)

IV-6-2-2 Les impacts de CityTree :

1-Le CityTree peut réduire la pollution de l'air à 30% dans un rayon de 50 m, donc chaque banc doit être implanté à une distance d'au moins 50 m de l'autre et il occupera seulement une surface au sol de 3,5 m².

2- Un CityTree pourra également embarquer un point d'accès Wifi gratuit et illimité : Le WiFi public assurera une bonne connexion de la société dans une optique de ville intelligente, il attirera un plus grand nombre de visiteurs et ainsi « La placette » sera une destination plus attrayante sachant qu'une connexion gratuite pourrait être considérée comme un élément attractif.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

3- Le CityTree doit être placé dans un endroit visible de la placette.

Il pourra être utilisé pour un affichage publicitaire sous forme physique ou numérique via un écran LED ou panneaux d'information, cela apportera de grands avantages aux entreprises locales qui voudront développer leurs activités à travers des publicités. C'est également un point de contact avec les visiteurs du site, où sont affichés des programmes culturels, des bulletins météorologiques de la ville, des alertes de toutes sortes et des informations d'intérêt général pour les citoyens d'Arzew.



Figure IV-22 : Utilisation de CityTree comme espace publicitaire (Source : www.facebook.com/mygcs)

4- Une borne de recharge intégrée qui fonctionne à l'énergie solaire pour les téléphones portables, les tablettes, les consoles de jeux vidéo, les appareils photo... sure et fiable pour le bien-être et le confort de ses utilisateurs. Cela contribuera à inciter les visiteurs à utiliser le CityTree.

5- La Place du 1^{er} Novembre manque de bancs publics, et parfois certains visiteurs ne peuvent pas trouver de place pour s'asseoir. Le CityTree sert aussi d'espace de

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

détente. Pour ce faire, son design intègre un banc sur lequel les visiteurs de la placette pourront s'asseoir.



Figure IV-23 : Banc intégré pour s'asseoir

6- La place du 1^{er} Novembre manque d'élément végétal, du fait que le terrain est couvert et qu'il n'y a pas de sol en terre végétale, le CityTree intégré apportera une touche verte et valorisera l'attractivité de cet espace et participera à augmenter la sensation de confort et de calme pour les visiteurs de la placette.



Figure IV-24: Absence de sol sur le terrain

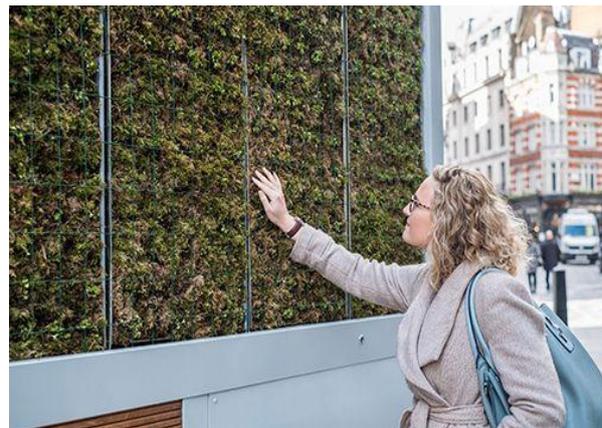


Figure IV-25 :Plantes intégrées au CityTree

IV-7 les obstacles de l'adaptation de CityTree en Algérie:

Depuis 2015, le CityTree a prouvé son efficacité dans de nombreuses villes d'Europe (Oslo, London, Berlin...), où il a réussi à réduire la pollution de l'air dans les milieux urbains.

Il est à noter que les caractéristiques environnementales, économiques et même sociales de ces villes ont peut-être aidé le système à réussir.

L'Algérie, en particulier la ville d'Arzew, peut beaucoup bénéficier de cette technologie afin de lutter contre la pollution atmosphérique. Mais il existe de nombreux facteurs qui peuvent entraver son adaptation.

IV-7-1 Facteur économique :

La qualité de l'air a un coût, plutôt important. D'après Green City Solutions, un CityTree coûte environ 25 000 euros en Europe et plus ailleurs à cause des frais de transport.

En Algérie, le coût d'un de ces arbres urbains pourrait atteindre 4.052.378,48 DA, ce qui est un montant très important pour une seule installation.

L'Algérie fait face à la crise économique actuelle, avec un déficit budgétaire énorme, qui atteindra 14,8% d'ici fin 2021, et ne pourra pas supporter le coût d'importation de CityTree. De plus, les coûts de maintenance réguliers pourront être élevés et difficile à assumer.

IV-7-2 Facteur humain :

a-Formation du personnel : Le CityTree est constitué d'un filtre en mousse muni d'une ventilation intégrée, d'un système d'irrigation et de capteurs pour capturer les données environnementales.

C'est un système complexe qui nécessite un entretien et une surveillance régulière. Par conséquent, il est important de former le personnel à être responsable des travaux de maintenance en cas de panne, d'être prêts à intervenir à tout moment et de leur fournir les documents associés et les équipements nécessaires.

b- Le manque de civisme : Les mobiliers urbains sont souvent cibles d'actes de vandalisme, de vol et de tags.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

CityTree n'est pas différent de ce type de mobilier, et il est donc vulnérable à ce genre d'acte que se soit :

- Une destruction des plantes qui composent la mousse.
- Un sabotage du banc.
- Différents actes de tags et de graffiti sur la structure externe du banc
- Acte de vol de toutes pièces composant le mobilier urbain.



Figure IV- 26: Sabotages des bancs publics en Algérie

Ces comportements d'incivisme ne sont pas des cas isolés, il est donc nécessaire que les autorités concernées en fasse une priorité, et prennent des mesures strictes pour protéger ce genre de mobilier. Et cela par :

- Equiper la placette d'un système de télésurveillance, permettant de détecter la moindre anomalie,
- En plus des caméras, des agents de sécurité devront être affectés au site pour intervenir immédiatement, en cas de problèmes
- la Sensibilisation des citoyens au rôle et à l'importance du CityTree pour leur ville afin qu'ils aient un rôle majeur pour la pérennité de ce projet innovateur.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

IV-7-3 Facteur environnemental :

Les influences météorologiques (les pluies, les vents, température...), combinées avec le relief du sol, la constitution géologique des terrains, la distribution des eaux, donnent naissance à des climats nombreux et divers.

L'Europe en général, est caractérisée par un climat froid avec un volume de précipitation important. Cependant, l'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-Africain. Son climat est très différent entre les régions (Nord-Sud, Est-Ouest). Il est de type méditerranéen sur toute la frange nord, semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'Atlas Saharien. [49] La quantité de pluie diminue au fur et à mesure que nous allons vers le sud.

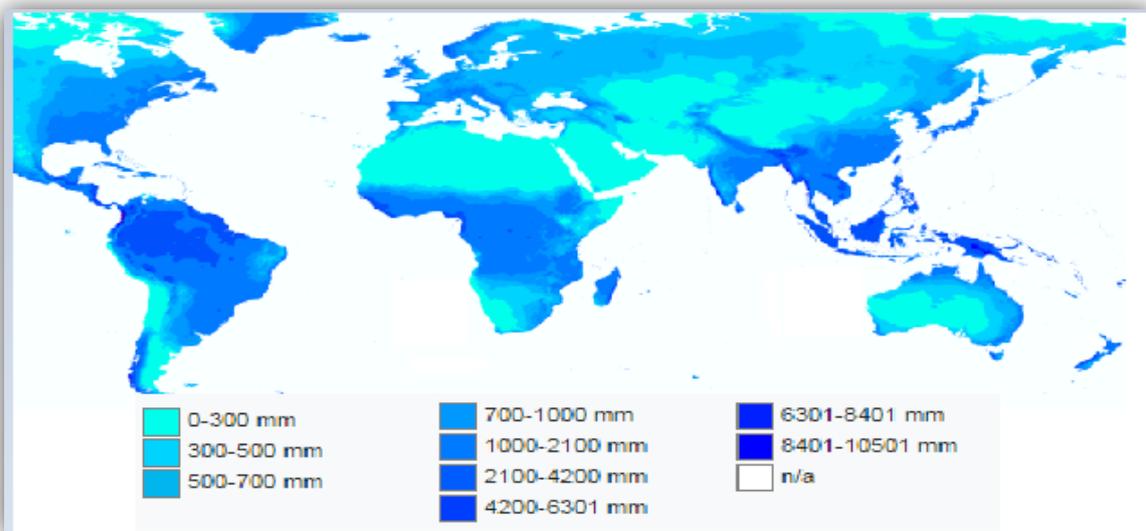


Figure IV-27 : Distribution mondiale des précipitations annuelles.

(Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Pluviom%C3%A9trie>, consulté le 12-06-2021)

Le CityTree récupère l'eau de pluie et la redistribue automatiquement grâce à un système d'irrigation intégré. Il est donc essentiel que le réservoir soit toujours plein d'eau pour arroser les plantes.

Chapitre IV : Application de la solution «CityTree » dans la ville d'Arzew

En raison de la chaleur extrême que connaît l'Algérie, CityTree va probablement se dessécher. Le personnel communal sera amené à approvisionner les réservoirs du système en période sèche, pour permettre à la mousse végétale de perdurer, cela pourrait nécessiter une petite rallonge au budget déjà prévu pour l'entretien et la maintenance.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la nouvelle solution pour la lutte contre la pollution de l'air dans les milieux urbains, « Le CityTree ». Nous avons appliqué théoriquement ce système dans la ville d'Arzew.

Cette application nous a permis d'estimer les changements positifs de l'environnement qui pourraient survenir à Arzew si le CityTree était adopté, et ainsi d'anticiper les obstacles et les facteurs négatifs qui pourraient entraver l'implantation de ce banc urbain de nouvelle génération.

CONCLUSION GENERALE :

Conclusion générale:

Les populations urbaines et leur environnement s'affectent mutuellement. Les personnes en milieu urbain changent leur environnement à travers leur consommation de nourriture, d'eau, d'énergie et de terres. L'environnement urbain pollué affecte à son tour la santé et la qualité de vie des populations urbaines.

L'objectif principal de ce travail était de proposer l'application d'une nouvelle technologie pour la lutte contre la pollution atmosphérique urbaine en Algérie.

Dans ce travail nous avons déterminé comment la ville intelligente pourrait être utilisée comme vecteur pour un développement durable. Nous avons démontré que ce sont les outils technologiques et les méthodes qui peuvent contribuer à ce développement, et que ce dernier ne peut être réalisé qu'avec une transformation significative de la manière dont nous construisons et gérons nos espaces urbains.

A partir de ces deux concepts, nous avons conclu que l'urbanisme écologique est une alternative qui vise à concrétiser les principes du développement durable au niveau de l'aménagement des villes dans une approche systémique réunissant tous les acteurs de la ville. Et ici nous arrivions au concept de « l'éco-quartier » qui est considéré comme un concept innovant avec des principes qui doivent s'adapter à divers contextes et non un modèle à multiplier. Tous ces efforts sont réfléchis pour limiter la pollution de l'air dans les milieux urbains.

Il est impératif de mentionner que la pollution urbaine est un problème qui s'aggrave presque partout dans le monde. Ce phénomène est responsable de nombreux effets indésirables sur la santé humaine et sur l'environnement. L'application des méthodes de lutte contre la pollution s'est révélée très efficace dans la maîtrise des problèmes afin d'améliorer la qualité de l'air.

Parmi les méthodes de dépollution, nous nous sommes penchées sur **la biofiltration végétalisée**, qui consiste à utiliser les plantes pour l'épuration de l'air. Plusieurs projets

Conclusion générale

étaient faits dans ce sens. A titre d'exemple « Le CityTree », le mur végétal inventé par l'entreprise allemande **Green City Solutions**.

Nous avons choisi d'appliquer le CityTree dans la ville d'Arzew, qui est caractérisée par des niveaux élevés de la pollution atmosphérique, causées par les rejets gazeux de la zone industrielle.

A partir des données atmosphériques sur les quantités des polluants urbains dans la ville, nous managions à faire des estimations sur l'impact de CityTree s'il était appliqué en réalité.

A l'aide de cette étude, nous avons constaté que le CityTree pouvait réduire considérablement les taux de divers polluants tel que le CO₂, les NO_x, les poussières fines... ainsi que ces impacts positifs sur l'apparence de la ville et les espaces publics en particulier.

CityTree ressemble à un projet d'investissement réussi. Néanmoins, il fallait en traiter ces aspects négatifs, surtout si on avait comme objectif de le mettre en œuvre en Algérie, donc nous avons cité les différents obstacles qui pouvait entraver le succès de CityTree en Algérie, que ce soit pour des raisons financières, humaines ou même environnementales. Il faudra à l'avenir que l'Algérie puisse réunir les meilleures conditions possibles qui lui faciliteront l'adoption de ces nouvelles technologies.

Annexes :

Annexe A :

Les fiches navettes de quelques malades dans le service des maladies pulmonaires à l'EPH El-Mehgoun (Arzew) :

PAGE 8

SORTIE

CADRE RÉSERVÉ AU PRATICIEN

1 .Date de Sortie	11/01/2021	2 .Heure de Sortie	11h
3 .Mode de Sortie	Plus	4 .Code de Sortie	
5 .Diagnostic ou motif d'entrée	Cancer du p. méq. + bronchite		
6 .Diagnostic de Sortie			
7 .Code C.I.M.		8 .Code G.H.M.	

Nom, Prénom et Grade de Praticien
Date et Cachet
Signature

Visa du chef de Service
مختصة العيوية الإستشفائية
مصلحة الأمراض المحقن
مصلحة الأمراض الصدرية

CADRE RÉSERVÉ A L'ADMINISTRATION DE L'ETABLISSEMENT

9 .N° de Facture :	10 .Date :	11 .Montant Total de la prestation :
12 .N° de Quittance :	13 .Part SS :	14 .Part Patient :
15 .Nature du Document de Sortie :	16 .N° Document :	
17 .Etablissement d'Accueil :	18 .N° Prise en Charge (Santé) :	
19 .Mineur Accompagné à sa Sortie :		

Nom, Prénoms et Fonction du Signataire
Date et Cachet
Signature

PAGE 8

SORTIE

CADRE RÉSERVÉ AU PRATICIEN

1 .Date de Sortie 23/12/2021 2 .Heure de Sortie [] [] [] []
3 .Mode de Sortie [] [] 4 .Code de Sortie [] []
5 .Diagnostic ou motif d'entrée fibrose pulmonaire + HTA + Diabète
6 .Diagnostic de Sortie [] [] [] []
7 .Code C.I.M. J16.3 8 .Code G.H.M. [] [] [] []

Nom, Prénom et Grade de Praticien
Date et Cachet 23/12/2021
Signature [Signature] **BENBRI** Docteur en Médecine

Visa du chef de Service [Signature]

CADRE RÉSERVÉ A L'ADMINISTRATION DE L'ETABLISSEMENT

9 .N° de Facture : 10 .Date : 11 .Montant Total de la prestation :
12 .N° de Quittance : 13 .Part S.S : 14 .Part Patient :
15 .Nature du Document de Sortie : 16 .N° Document :
17 .Etablissement d'Accueil : 18 .N° Prise en Charge (Santé) :
19 .Mineur Accompagné à sa Sortie :

.....
om, Prénoms et Fonction du Signature
Date et Cache

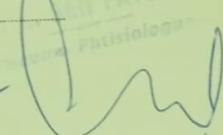
PAGE 8

SORTIE

CADRE RÉSERVÉ AU PRATICIEN

1 .Date de Sortie	04/04/2021	2 .Heure de Sortie	_____
3 .Mode de Sortie	Normal	4 .Code de Sortie	1041
5 .Diagnostic ou motif d'entrée	Asthme bronchique		
6 .Diagnostic de Sortie	_____		
7 .Code C.I.M.	51415	8 .Code G.H.M.	_____

Nom, Prénom et Grade de Praticien _____

Date et Cachet 04/04/2021
Signature 

Visa du chef de Service

المؤسسة العمومية الإستشفائية
بمركز الحسيبة بطنجة
مصلحة الأمراض الصدرية

CADRE RÉSERVÉ A L'ADMINISTRATION DE L'ETABLISSEMENT

9 .N° de Facture :	10 .Date :	11 .Montant Total de la prestation :
12 .N° de Quittance :	13 .Part S.S :	14 .Part Patient :
15 .Nature du Document de Sortie :	16 .N° Document :	
17 .Etablissement d'Accueil :	18 .N° Prise en Charge (Santé) :	
19 .Mineur Accompagné à sa Sortie :		

Nom, Prénoms et Fonction du Signature _____

Date et Cachet _____
Signature _____

Bibliographie :

[1] Zekrat. A, Zerga. I « Développement durable dans le cadre de La mondialisation » Mémoire Master : Sécurité industrielle et Environnement. Oran : Université d'Oran 2, 2016.

[2] <https://youmatter.world/fr/definition/definition-developpement-durable> (Consulté le 23 Avril 2021)

[3] www.developpementdurable.org (Consulté le 22 Avril 2021)

[4] <https://unfccc.int/fr/atteindre-les-objectifs-du-developpement-durable-grace-a-l-action-climatique> (Consulté le 22 Avril 2021)

[5] <https://www.iso.org/fr/sdgs.html> (Consulté le 23 Avril 2021)

[7] Simard. J « La ville intelligente comme vecteur pour le développement durable : le cas de la ville de Montréal » Université de Sherbrooke (Québec, Canada), 2015

[8] www.ifpenergiesnouvelles.fr/article/smart-city-les-enjeux-energetiques-ville-durable

[9] Meijer. A et Bolívar. M P « La gouvernance des villes intelligentes Analyse de la littérature sur la gouvernance urbaine intelligente » 2016

[10] <http://espace.inrs.ca/id/eprint/4917/1/Rapport-LaVilleIntelligente.pdf> (Consulté le 23 Avril 2021)

[10] <https://pro.mobicoop.fr/ville-numerique-au-service-mobilite-intelligente> (Consulté le 23 Avril 2021)

[11] <https://www.heidi.news/climat/les-technologies-numeriques-peuvent-faire-partie-de-la-solution-pour-le-climat> (Consulté le 23 Avril 2021)

[12] https://pddtm.hypotheses.org/tag/quartier-durable#_ftn6 (Consulté le 05 Mars 2021)

[13] Accord de Bristol, «Conclusions of Ministerial Informal on Sustainable Communities in Europe, Bristol» Bristol, Royaume-Uni, 6 – 7 December 2005

[14] ARENE-IMBE : « Quartier Durable-Guide d'expérience européennes », Avril 2005-p12

Bibliographie

- [15] Schaeffer. V, Bierens De Haan. C, « Pays-Bas : quatre quartiers durables entre désirs et réalités » (extraits) in SOUAMI Taoufik (dir.) « Éco Quartiers et urbanisme durable », Problèmes politiques et sociaux, La Documentation Française, février 2011, n° 981, p.40-42.
- [16] Ghernoug. A, Khenfri. M «Vers Un Eco-Quartier à travers l'intégration du Développement Durable « Case D'étude La cité HIHI EL MEKI A O.E.B » » Mémoire fin d'étude : ARCHITECTURE ET DURABILITE ARCHITECTURALE, Université LAARBI BEN MHIDI, Oum El Bouaghi , 2015.
- [17] Azzaoui. M, Lakhdari. W «L'éco-quartier, un nouveaux mode d'habiter pour une métropole rayonnante du grand Oran.» Mémoire de Master : Urbanisme et environnement, UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID, Tlemcen, 2016
- [18] <http://www.eco-quartiers.fr/#!/fr/les-cles/les-10-enjeux-cles/> (Consulté le 25 Avril 2021)
- [19] Yopez-Salmon. G, « Construction d'un outil d'évaluation environnementale des écoquartiers : vers une méthode systémique de mise en œuvre de la ville durable », thèse de doctorat : Sciences et techniques architecturales, L'Université de Bordeaux 1, France, 2011
- [20] <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89covillage> (Consulté le 25 Avril 2021)
- [21] <https://veilletourisme.ca/2008/08/01/des-eco-villages-s%E2%80%99ouvrent-au-tourisme/> (Consulté le 25 Avril 2021)
- [22] Mr. Nadji, MA «Réalisation d'un éco quartier.» Mémoire de Magister : Sciences de l'environnement et climatologie, Université d'Oran 1, Oran, 2015
- [23] <http://www.ecoquartiers.logement.gouv.fr/le-label/etapes> (Consulté le 25 Avril 2021)
- [24] <http://www.eco-quartiers.fr/dl/img/dossier-de-labelisation-ecoquartier-986.pdf>
- [25] https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre (Consulté le 16 Mars 2021)
- [26] Benmedjahed . M «Choix du site et optimisation du dimensionnement d'une installation éolienne dans le nord Algérien et son impact sur l'environnement» Thèse Doctorat : Energies renouvelables, Université Abou-Bakr Belkaid, Tlemcen, 2013.

Bibliographie

- [27] Mouaïci. K «Etude de quelques sources de polluants atmosphériques dans la région de Bejaia» Mémoire ingénieur: Ecologie et environnement, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2002.
- [28] Bliefet. C, Perraud. R « Chimie de l'environnement : Air, eau, sols, déchets » 2001, Edition de Boeck Université, La Belgique. P 160, 234
- [29] Ouzid. S «Mesure des polluants atmosphériques générés par la société des ciments de Tébessa» Mémoire Master: Chimie de l'environnement, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2017.
- [30] Therrien. M « Les COV dans l'air ambiant au Québec bilan 1989 – 1999 », 2006, Bibliothèque nationale du Québec, Québec.
- [31] **Dr** Bouchala, Faiza, Cours 5^{ème} année, Pharmacie : Toxicologie, université Ferhat Abbas, Sétif, 2020.
- [32] <https://atmo-reunion.net/La-dispersion-des-polluants> (Consulté le 06 Avril 2021)
- [33] Ung. A «Cartographie de la pollution atmosphérique en milieu urbain a l'aide de données multisources » Thèse Doctorat: Méthodes Physiques en Télédétection, Université Paris 7, France, 2003.
- [34] **Dr** Hebbar,Ch, Cours L3 Licence, HSI : Protection de l'environnement, Université d'Oran 2-IMSI, Oran, 2019.
- [35] Pinay. G, Gascuel. C, Ménesguen. A, Souchon. Y, Le Moal. M, Levain.A, Etrillard. C, Moatar. F, Pannard. A, Souchu. P « Extrait de rapport « L'eutrophisation : Manifestations, causes, conséquences et prédictibilité » », 2018, Edition Quae, France.
- [36] Miquel. G « Rapport de l'OPECST « La qualité de l'eau et l'assainissement en France » », 2003, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques, France.
- [37]https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89%C3%A9valuation_du_niveau_de_la_mer (Consulté le 13 Avril 2021)

Bibliographie

- [38] Masclet. P « Pollution atmosphérique : Causes, conséquences, solutions et perspectives» 2005, Edition Ellipses, France. P 29, 113, 150, 188, 190
- [39] <https://www.atmo-hdf.fr/component/content/article/19-mesures-et-previsions/techniques-de-surveillance/24-techniques-de-mesures.html> (Consulté le 11 Avril 2021)
- [40] <https://www.ecologie.gouv.fr/nouvel-indice-atmo-plus-precis-et-plus-clair> (Consulté le 12 Avril 2021)
- [41] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Airparif> (Consulté le 12 Avril 2021)
- [42] <https://jne-asso.org/2012/07/22/alger-sans-reseau-de-surveillance-de-la-pollution-de-1%E2%80%99air/> (Consulté le 21 Avril 2021)
- [43] <https://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/2604?gathStatIcon=true&lang=en> (Consulté le 02-06-2021)
- [44] <https://www.elwatan.com/regions/ouest/oran/arzew-la-pollution-fait-progresser-lasthme-et-le-cancer-07-11-2013> (Consulté le 13-06-2021)
- [45] <https://blog.logic-immo.com/2010/07/decoration/j-amenage/mur-vegetal-vegetalise> (Consulté le 18-05-2021)
- [46] www.greencitysolutions.de/en/ (Consulté le 10-05-2021)
- [47] www.next-incubator.com
- [48] <https://diymurvegetal.wordpress.com/2017/01/31/des-city-trees-place-de-la-nation-a-paris/> (Consulté le 08-06-2021)
- [49] <https://www.meteo.dz/climat.html> (Consulté le 12-06-2021)
- [50] <https://dailygeekshow.com/citytree-londres-pollution-ai>