

RAPPORT D'ANALYSE

L'INFORMATIQUE AU SERVICE DE LA
QUALITÉ DE L'AIR ET DU RESPECT
DES NORMES EN VIGUEUR.



Alexis Seurin
Avril 2020

RÉSUMÉ

L'analyse des particules fines en suspension dans l'air est un enjeu crucial du XXIème siècle. L'objectif de cette étude est d'évaluer la possibilité d'amélioration de la qualité de l'air à travers l'analyse des données collectées dans l'air. La problématique est par conséquent la suivante : En quoi l'analyse des données des particules en suspension permet-elle d'améliorer la qualité de l'air ?

Pour répondre à la problématique, nous avons mis en place un dispositif de sourcing de l'information. Cela nous a permis de déterminer les sources les plus fiables. A partir de ces recherches, nous avons récoltées des informations sur l'air et les particules en suspension qui la compose. Nous avons appris que l'air n'est jamais 100 % pur, il est dégradé par des éléments dit « polluants ». Nous avons mis en évidence que dès le XIXème siècle, des conséquences néfastes sur la santé et l'environnement sont apparues, notamment liées à l'utilisation massive du charbon. Afin de répondre au problème de la pollution de l'air, la France a mis en place une réglementation qui prévoit une surveillance de la qualité de l'air dans chaque région et une information du public. De plus, les expérimentations se multiplient afin de respirer un air plus sain.

De ce fait, nous allons élaborer un dispositif d'analyse de la qualité de l'air qui permettra de nous alerter si nous dépassons la réglementation française. Il sera au cœur d'un plan de transition écologique et permettra de limiter les émissions de gaz à effet de serre.

ABSTRACT

The analysis of fine particles suspended in the air is a crucial issue of the 21st century. The objective of this study is to assess the possibility of improving air quality through the analysis of data collected in the air. The problem is therefore as follows: How does the analysis of suspended particle data enable to improve air quality?

To respond to the problem, we have set up a package of information sourcing. This allowed us to determine the most reliable sources. From this research, we gathered information on the air and the suspended particles which compose it. We have learned that the air is never 100% pure, it is degraded by so called "pollutant" elements. We have highlighted that from the 19th century, harmful consequences on health and the environment appeared, notably linked to the massive use of coal. In order to respond to the problem of air pollution, France has put in place regulations which provide for monitoring of the air quality in each region and information for the public. In addition, experiments are multiplying in order to breathe healthier air.

Therefore, we will develop an air quality analysis device that will alert us if we exceed French regulations. It will be at the heart of an ecological transition plan and will be enabled to help limit greenhouse gas emissions.

TABLE DES FIGURES

Figure 2-1 : Composition de l'air (source : Atmo France)	6
Figure 2-2 : Production / Consommation de charbon par région en Mtep, 1993 – 2018 (source : BP Statistical Review of World Energy 2019 68th edition).....	7
Figure 3-1 : Relevé manuscrit des observations météorologiques de l'Ecole normale du Puy, 2è quinzaine de septembre 1864 (Source : Météo-France/Archives nationales)	8
Figure 3-2 : Carte de distribution de la température en France en 1875 d'après les relevés météorologiques des Ecoles normales, <i>Atlas météorologique de l'Observatoire de Paris</i> , année 1876 (t.VIII). Cartes, Paris, 1877. (Source : Météo-France).....	8
Figure 3-3 : Baromètre Fortin (Source : Frédéric Périn, Météo-France).....	8
Figure 3-4 : Thermomètre à minima et maxima (Source : Michael Bonnaire, Météo Vintage)	8
Figure 3-5 : Psychromètre Jules Richard (Source : Michael Bonnaire, Météo Vintage).....	9
Figure 3-6 : Pluviomètre (Source : La langue française)	9
Figure 3-7 : Baromètre enregistreur anéroïde Jules Richard utilisé à Paris-Montsouris au début du XXème siècle (Source : Frédéric Périn, Météo-France)	9
Figure 3-8 : Station météorologique à Hyères, installée en 1989. Fiche de renseignements de la station météorologique de Hyères, 1996. (Source : Météo-France).....	9
Figure 3-9 : Analyseur par chimiluminescence NO/NO2/NOX – Modèle T200 (Source : Teledyne API).....	10
Figure 3-10 : Dispositif national de surveillance de la qualité de l'air (Source : Atmo France)	10
Figure 3-11 : La qualité de l'air dans votre région (Source : Atmo France)	11
Figure 3-12 : Tableau des indices Atmo (Source : Atmo Grand Est)	12
Figure 4-1 : Stations multi-physiques par SimEngineering (Source : Urban Lab)	12
Figure 4-2 : Réseau de microcapteurs par Clarity & Citeos (Source : Urban Lab)	13
Figure 5-1 : Carte électronique Arduino (Source : Arduino).....	13
Figure 5-2 : Platine Grove - Base Shield (Source : Lextronic).....	13
Figure 5-3 : Module Grove capteur de gaz multicanaux MiCS-6814 (Source : Lextronic)	13
Figure 5-4 : Capteur Grove CO2, température et humidité (Source : Lextronic)	13

Sommaire

1.	GLOSSAIRE.....	5
2.	INTRODUCTION	6
3.	LA QUALITÉ DE L’AIR	8
	3.1. Historiser les dispositifs de mesure de la qualité de l’air	8
	3.2. Définir la réglementation française sur la qualité de l’air	10
4.	TENDANCES DU MARCHÉ	12
	4.1. Analyser des différentes sortes de dispositifs répondant aux besoins du secteur d'activité.....	12
	4.2. Identifier les nouvelles expérimentations les plus pertinentes.....	12
5.	CHOIX TECHNOLOGIQUES.....	13
	5.1. Justifier les choix technologiques choisis	13
6.	CONCLUSION	14

1. GLOSSAIRE

Argon	Gaz rare, incolore, inodore, insipide, qui constitue environ le centième de l'atmosphère terrestre.
Asie-Pacifique	Brunei, Cambodge, Chine, Indonésie, Japon, Laos, Malaisie, Mongolie, Corée du Nord, Philippines, Singapour, Asie du Sud (Afghanistan, Bangladesh, Inde, Myanmar, Népal, Pakistan, Sri Lanka), Corée du Sud, Taïwan, Thaïlande, Vietnam, Australie, Nouvelle-Zélande, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Océanie.
Azote	Corps gazeux (N ₂) à la température ordinaire, qui constitue environ les quatre cinquièmes en volume de l'air atmosphérique.
Baromètre	Instrument qui sert à mesurer la pression atmosphérique.
Cadmium	Métal blanc analogue au zinc, qu'il accompagne souvent dans ses gisements.
Capteur	Organe qui élabore, à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique, souvent de nature électrique, utilisable à des fins de mesure.
Chimiluminescence	Phénomène de luminescence lié à certaines réactions chimiques.
Dioxyde d'azote	Le dioxyde d'azote (NO ₂) se forme dans l'atmosphère à partir du monoxyde d'azote (NO) qui se dégage essentiellement lors de la combustion de combustibles fossiles, dans la circulation routière par exemple.
Dioxyde de carbone	Gaz (CO ₂) résultant de la combinaison du carbone avec l'oxygène.
Dioxyde de soufre	Gaz incolore dont l'inhalation peut entraîner des maladies respiratoires.
Houille	Combustible minéral fossile solide, provenant de végétaux ayant subi, au cours des temps géologiques, une transformation lui conférant un grand pouvoir calorifique.
Hygromètre	Appareil qui sert à mesurer l'humidité de l'air.
Indice Atmo	Il permet d'évaluer la qualité de l'air dans les zones habitées par au moins 100.000 personnes. Son échelle varie de 1 (air très sain) à 10 (très forte pollution atmosphérique).
Laser	Appareil mettant en œuvre le phénomène laser pour engendrer un faisceau de rayonnement spatialement et temporellement cohérent.
Mercur	Métal blanc très brillant, liquide à la température ordinaire.
Métaux lourds	Les éléments métalliques naturels caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par cm ³ .
Mtep	Million de tonnes équivalent pétrole - Unité d'énergie d'un point de vue économique et industriel. Le Mtep vaut 41,868 PJ soit l'équivalent du pouvoir calorifique d'une tonne de pétrole.
Oxydes d'azote	Ils interviennent dans le processus de formation de l'ozone (gaz à effet de serre) et contribuent au phénomène des pluies acides. Ils ont également des effets sur la santé.
Oxygène	Corps gazeux (O ₂) constituant en volume le cinquième de l'atmosphère terrestre et nécessaire à la respiration.
Ozone	Gaz agressif qui pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque toux, altération pulmonaire ainsi que des irritations oculaires. Ses effets sont très variables selon les individus. Il contribue également à l'effet de serre.
Particules fines	Les particules fines sont une catégorie de particules en suspension dans l'air ambiant, d'un diamètre inférieur à 2,5 microns. L'utilisation du diesel comme carburant des divers types de véhicules constitue notoirement une source majeure d'émission de particules fines.
Pluviomètre	Instrument qui sert à mesurer la quantité d'eau précipitée par l'atmosphère en un lieu déterminé.
Psychromètre	Appareil qui sert à déterminer l'état hygrométrique de l'air en comparant la température indiquée par un thermomètre à mercure ordinaire (thermomètre sec) à celle d'un thermomètre dont le réservoir est entouré d'une mousseline imbibée d'eau pure (thermomètre mouillé).
Seuil d'alerte	Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.
Soudure	Résultat de l'opération de soudage. Il s'agit d'une opération consistant à réunir deux ou plusieurs parties d'un assemblage.
Thermomètre	Appareil destiné à la mesure des températures.
Vanadium	Métal blanc, présentant des analogies chimiques avec le phosphore.

2. INTRODUCTION

Le temps (du latin *tempestas*, qui correspond à l'état de l'atmosphère) et le climat (du grec *klima*, qui fait référence à l'inclinaison de l'axe de la Terre et à celle des rayons solaires par rapport à l'horizon) intéressent l'Homme depuis l'Antiquité. L'essor et le déclin de grandes civilisations passées sont liées à l'évolution des conditions climatiques¹. Nous savons aujourd'hui que la Terre est entourée d'un mélange de gaz divisé en plusieurs couches, c'est ce qu'on appelle l'atmosphère terrestre. L'atmosphère possède de nombreuses couches gazeuses qui ont une influence sur le climat, notamment par l'effet de serre, et ont un rôle de bouclier qui filtre une grande partie du rayonnement solaire. D'ailleurs, le climat est défini comme une combinaison des états de l'atmosphère que sont la température, les précipitations, l'humidité de l'air, l'ensoleillement et le vent². L'air est composé de quatre gaz majeurs, dont les concentrations sont approximativement les suivantes : 78 % pour l'**azote** (N₂), 21 % pour l'**oxygène** (O₂), 1 % pour l'**argon** (Ar) et 0,035 % pour le **dioxyde de carbone** (CO₂)³.



Figure 2-1 : Composition de l'air (source : Atmo France)

L'air n'est jamais à 100% pur. Il est dégradé par des éléments dit « polluants ».

Cependant, depuis le XIX^{ème} siècle, la pollution industrielle est soudain devenue massive. Elle a eu des effets néfastes sur l'environnement. Louis-Laurent Simonin, auteur de *La vie souterraine, ou Les mines et les mineurs*⁴, décrit cette pollution :

« Les rues sont pleines d'une boue noire, épaisse; les façades des maisons sont noircies par la fumée et la poussière du charbon. Cette poussière pénétrante ne respecte rien; les feuilles des arbres, le linge, le visage de l'homme, elle salit et noircit tout, et le bourg de Terre-Noire, que l'on rencontre en chemin, porte dignement son nom. [...] Les cheminées des usines envoient dans l'air leur panache de flamme et de fumée, l'atmosphère est imprégnée de cette odeur de bitume et d'éther particulière à la houille [...] C'est le pays des courageux houilleurs; c'est le bassin de la Loire ou de Saint-Étienne, ainsi nommé de la ville que le travail de la houille a surtout transformée, enrichie. » (SIMONIN, 1867, p. 47).

¹ MALAIZE, Bruno. Changements climatiques et civilisations antiques. *Encyclopédie de l'Environnement* [en ligne], 23 décembre 2019 [consulté le 23 avril 2020], Disponible sur le Web <<https://www.encycopedie-environnement.org/climat/changements-climatiques-et-civilisations-antiques>>. ISSN 2555-0950.

² HERNANDEZ-ZAKINE, Carole. *Guide de l'air*. 1^{er} éd. Paris : Seuil, 2003. ISBN 2-02-036763-7.

³ MOREAU, René. L'atmosphère et l'enveloppe gazeuse de la Terre. *Encyclopédie de l'Environnement* [en ligne], 15 novembre 2019 [consulté le 23 avril 2020], Disponible sur le Web <<https://www.encycopedie-environnement.org/air/atmosphere-et-lenveloppe-gazeuse-de-terre>>. ISSN 2555-0950.

⁴ SIMONIN, Louis. *La vie souterraine, ou Les mines et les mineurs* [en ligne]. 2^e éd. Paris : LIBRAIRIE DE L. HACHETTE ET CIE, 1867 [consulté le 23 avril 2020]. Disponible sur le Web : <<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k96017994/>>.

Vous l'aurez compris, c'est le charbon, désignant généralement la **houille**, qui grâce à son extraction dans les mines a rendu possible la révolution industrielle au XIXème siècle. Le point noir vient de ses émissions de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, **dioxyde de soufre**, **oxydes d'azote**, volatilisation de **métaux lourds** : **vanadium**, **cadmium**, **mercure**)⁵. Néanmoins, même avec la meilleure connaissance scientifique sur le sujet, la production mondiale de charbon a augmenté de 4,3 % en 2018. Les conséquences néfastes du charbon sur la santé et l'environnement n'ont pas arrêté sa croissance. D'ailleurs, elle est due à la production concentrée en Asie-Pacifique* (163 **Mtep**), la Chine représentant la moitié de la croissance mondiale et la production indonésienne en hausse de 51 Mtep.

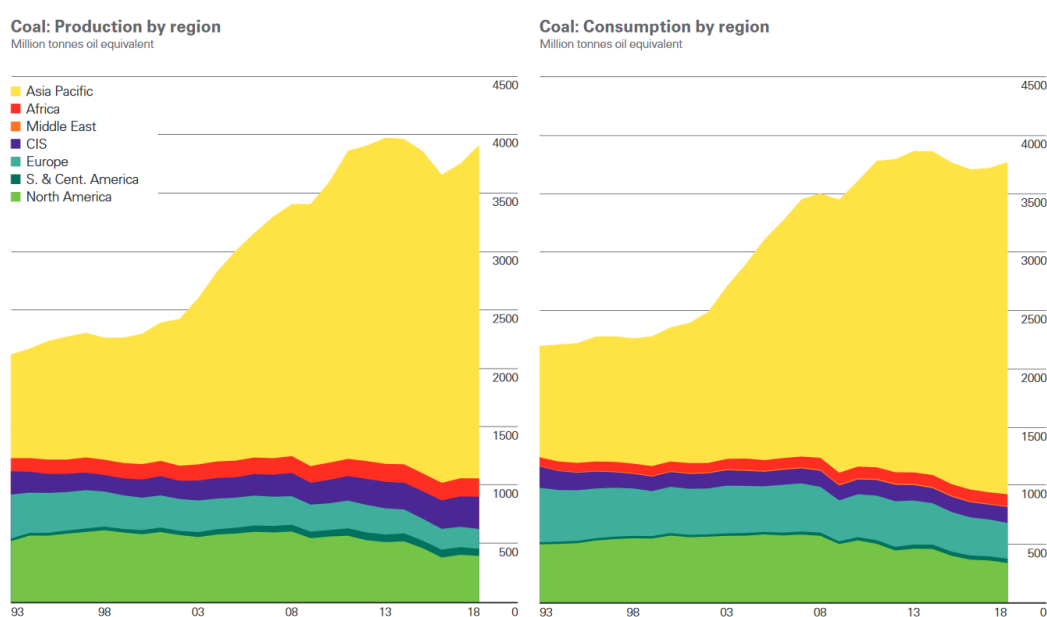


Figure 2-2 : Production / Consommation de charbon par région en Mtep, 1993 – 2018 (source : BP Statistical Review of World Energy 2019 | 68th edition)

Résoudre le problème de la consommation massive des matières fossiles est loin d'être évident. Néanmoins, nous avons la conviction qu'une transition écologique et énergétique est possible, c'est pour cela que nous devons repenser la stratégie des entreprises, ainsi que celle des collectivités territoriales, afin de cibler les polluants. Premièrement, nous allons collecter les informations les plus pertinentes concernant les dispositifs de mesure de la qualité de l'air. Dans un second temps, nous allons définir la réglementation française sur la qualité de l'air. Dans un troisième temps, nous allons présenter les nouvelles expérimentations dans le domaine et le dispositif de mesure de qualité de l'air qui facilite la surveillance des particules en suspension. Le but de notre étude est de répondre à la problématique suivante : En quoi l'analyse des données des particules en suspension permet-elle d'améliorer la qualité de l'air ?

⁵ Houille [en ligne]. Société Chimique de France [consulté le 23 avril 2020], Disponible sur le Web : <http://www.societechimiquedefrance.fr/Houille.html?lang=fr>.



Figure 3-5 : Psychromètre Jules Richard
(Source : Michael Bonnaire, Météo Vintage)



Figure 3-6 : Pluviomètre (Source : La langue française)

A la fin du XIX^{ème} siècle, les observatoires météorologiques utilisent des instruments enregistreurs pour suivre en continu les variations des paramètres météorologiques. On retrouve notamment le baromètre, le thermomètre et l'**hygromètre**⁶.



Figure 3-7 : Baromètre enregistreur anéroïde Jules Richard utilisé à Paris-Montsouris au début du XX^{ème} siècle (Source : Frédéric Périn, Météo-France)

L'automatisation des stations de mesure commence en 1969. Suite à cela, les imprimés climatologiques manuscrits disparaissent à la fin du XX^{ème} siècle laissant place à l'archivage des données dans la base de données de Météo-France.



Figure 3-8 : Station météorologique à Hyères, installée en 1989. Fiche de renseignements de la station météorologique de Hyères, 1996. (Source : Météo-France)

⁶ Services de l'Etat : Répondre aux besoins du pays [en ligne]. Météo-France [consulté le 26 avril 2020], Disponible sur le Web : <<http://archivesduclimat.meteofrance.fr/galerie2.html>>.

La qualité de l'air existe sous deux formes de pollution de l'air : la pollution atmosphérique et la pollution de l'air intérieur. Elle a une influence directe sur la santé.

Il existe de nombreuses technologies innovantes comme le **laser**, la **chimiluminescence**, etc. pour mesurer la qualité de l'air.



Figure 3-9 : Analyseur par chimiluminescence NO/NO2/NOX – Modèle T200 (Source : Teledyne API)

3.2. Définir la réglementation française sur la qualité de l'air

En France, la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie de 1996 (dite loi LAURE) reconnaît à chacun le droit de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Face aux défis de la pollution de l'air, l'Etat français a intégré ce texte au Code de l'Environnement (article L.221-1 à L.221-6). Il prévoit une surveillance de la qualité de l'air dans chaque région et une information du public. Ces deux actions sont mises à œuvre via l'arrêté relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant⁷ qui est porté par trois acteurs qui échangent du sein du comité de pilotage de la surveillance de la qualité de l'air (**CPS**). Il s'agit d'une instance de concertation et de décision.

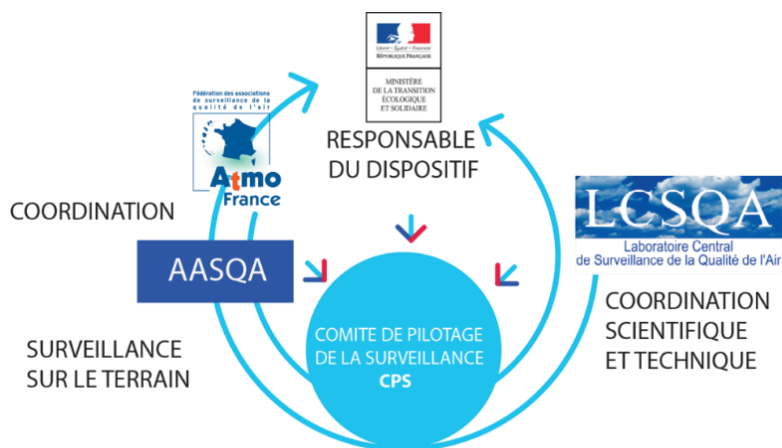


Figure 3-10 : Dispositif national de surveillance de la qualité de l'air (Source : Atmo France)

La responsabilité de ce dispositif est confiée au ministère de la Transition écologique et solidaire. Il définit les réglementations relatives aux polluants atmosphériques. La coordination technique et scientifique est assurée par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (**LCSQA**), qui

⁷ Ministère de la Transition écologique et solidaire. Arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant ; [en ligne] Journal officiel, n°0095 du 22 avril 2017. Disponible sur le Web : <<https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2017/4/19/DEV1710772A/jo/texte>>

est un groupement scientifique. Il réalise des audits techniques des Associations Agréées Surveillance Qualité de l'Air (**AASQA**).

Les AASQA surveillent des polluants (oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, l'ozone, le monoxyde de carbone, etc.)⁸.

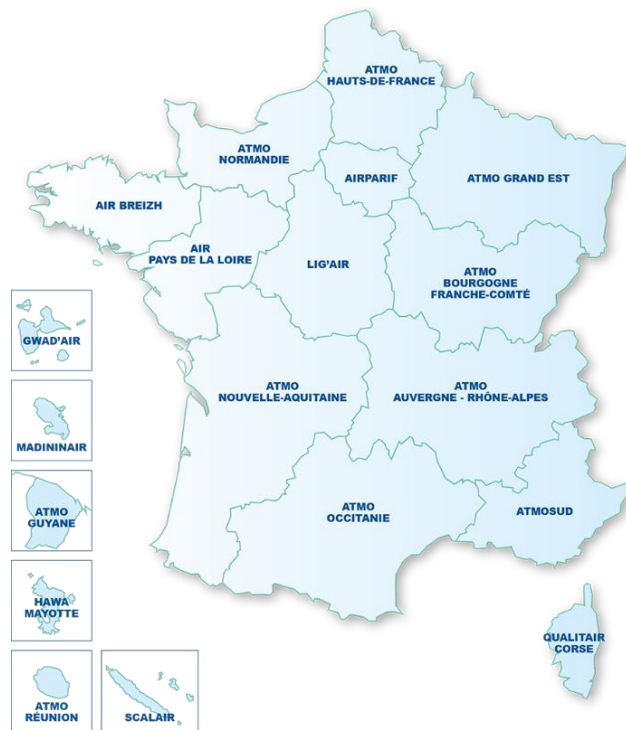


Figure 3-11 : La qualité de l'air dans votre région (Source : Atmo France)

En 2018, selon le Ministère de la Transition écologique et solidaire : « 5 polluants sur les 12 réglementés à l'échelle européenne présentent des dépassements des normes réglementaires de qualité de l'air pour la protection de la santé humaine à long terme »⁹.

Depuis le protocole de Kyoto¹⁰, accord international visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, diverses mesures ont été prises comme l'établissement de **seuils d'alerte**¹¹.

En France, il existe l'indice Atmo, compris entre 1 et 10, qui prend en compte les niveaux de **dioxyde de soufre, dioxyde d'azote, ozone et particules fines**. Il est calculé pour une journée et pour une zone géographique. Leur valeur est exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

⁸ *Que mesure-t-on ?* [en ligne]. Atmo France [consulté le 22 avril 2020], Disponible sur le Web : <<https://atmo-france.org/que-mesure-t-on/>>.

⁹ *Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2018* [en ligne]. Données et études statistiques du Ministère de la Transition écologique et solidaire [consulté le 22 avril 2020], Disponible sur le Web : <<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-de-la-qualite-de-lair-exterieur-en-france-en-2018>>.

¹⁰ *Protocole de Kyoto* [en ligne]. Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques [consulté le 23 avril 2020], Disponible sur le Web : <https://unfccc.int/sites/default/files/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf>.

¹¹ *Les critères nationaux de qualité de l'air* [en ligne]. Airparif [consulté le 23 avril 2020], Disponible sur le Web : <<http://www.airparif.asso.fr/reglementation/normes-francaises>>.

Indices	Echelle PM ₁₀ (µg/m³) <i>Moyenne journalière</i>	Echelle SO ₂ (µg/m³) <i>Moyenne horaire</i>	Echelle NO ₂ (µg/m³) <i>Moyenne horaire</i>	Echelle O ₃ (µg/m³) <i>Moyenne horaire</i>
1	0 à 6	0 à 39	0 à 29	0 à 29
2	7 à 13	40 à 79	30 à 54	30 à 54
3	14 à 20	80 à 119	55 à 84	55 à 79
4	21 à 27	120 à 159	85 à 109	80 à 104
5	28 à 34	160 à 199	110 à 134	105 à 129
6	35 à 41	200 à 249	135 à 164	130 à 149
7	42 à 49	250 à 299	165 à 199	150 à 179
8	50 à 64	300 à 399	200 à 274	180 à 209
9	65 à 79	400 à 499	275 à 399	210 à 239
10	sup. à 80	sup. à 500	sup. à 400	sup. à 240

Figure 3-12 : Tableau des indices Atmo (Source : Atmo Grand Est)

4. TENDANCES DU MARCHÉ

4.1. Analyser des différentes sortes de dispositifs répondant aux besoins du secteur d'activité

Des dispositifs ont été créés afin de détecter les polluants les plus présents dans l'air. Air Visual, un boîtier qui peut détecter jusqu'à six polluants de l'air intérieur et comparer ces données à celle de l'extérieur. Netatmo Healthy Home Coach, un appareil qui mesure la qualité de l'air, l'humidité, la température et le bruit. Laser Egg 2, un produit de la firme Kaiterra qui alerte l'utilisateur si le taux de polluants dans l'air augmente.

4.2. Identifier les nouvelles expérimentations les plus pertinentes

Les expérimentations autour de la qualité de l'air se multiplient. On peut citer les stations de mesure développées par SimEngineering qui s'appuie sur les stations de mesure **Airparif**.



Figure 4-1 : Stations multi-physiques par SimEngineering (Source : Urban Lab)

Un autre système de surveillance de la qualité de l'air a été développé, basé sur des capteurs low-cost.



Figure 4-2 : Réseau de microcapteurs par Clarity & Citeos (Source : Urban Lab)

5. CHOIX TECHNOLOGIQUES

5.1. Justifier les choix technologiques choisis

Nous avons choisi de rester sur un dispositif efficace et de faible coût. Notre dispositif de qualité de l'air embarque notamment une carte électronique Arduino et deux **capteurs**. Nous utiliserons le système "Grove" qui est spécialement conçu pour faciliter le prototypage rapide (sans **soudure**). Nous allons pouvoir piloter une multitude de dispositifs externes.



Figure 5-1 : Carte électronique Arduino (Source : Arduino)



Figure 5-2 : Platine Grove - Base Shield (Source : Lextronic)



Figure 5-3 : Module Grove capteur de gaz multicanaux MiCS-6814 (Source : Lextronic)

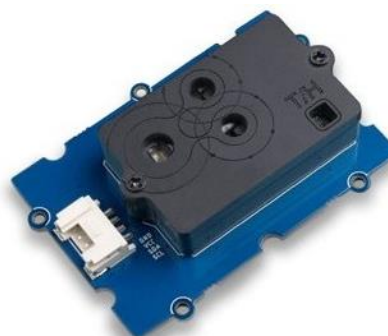


Figure 5-4 : Capteur Grove CO₂, température et humidité (Source : Lextronic)

6. CONCLUSION

La pollution de l'air a des conséquences réelles sur la santé et l'environnement, c'est pour cela que nous devons développer des solutions innovantes qui répondront aux enjeux environnementaux qui toucheront tous les domaines. L'analyse des données des particules en suspension permet d'améliorer la qualité de l'air en mettant en place des alertes qui avertiront les entreprises et les collectivités territoriales. Ces alertes seront un premier pas vers une réduction des émissions de particules polluantes dans l'air.