

# La pollution de l'air en Chine

Par Bertrand BESSAGNET  
Futuris Environment Ltd – INERIS

Durant les deux dernières décennies, la Chine a vécu une expansion économique sans précédent dans l'histoire moderne, passant de pays en voie de développement à locomotive pour le reste du monde dans bien des domaines technologiques. Ce développement fulgurant, qui s'est accompagné d'un exode rural vers les grands centres urbains, a exercé une forte pression sur les ressources naturelles et a très largement affecté la qualité de l'air. Des mesures de gestion de la pollution de plus en plus drastiques ont permis de limiter la pollution de l'air et même d'améliorer la situation de façon spectaculaire au cours de ces cinq dernières années. La qualité des chercheurs chinois de ce domaine, le pragmatisme des autorités et l'adhésion d'une population concernée ont permis de relever ce défi, qui place désormais la Chine au rang de pays leader dans le développement des nouvelles énergies et des technologies innovantes pour préserver l'environnement. Les parties prenantes sont conscientes des efforts encore à réaliser et des nouveaux défis liés notamment au secteur agricole, à la production et stockage d'énergie, à la réduction des émissions de méthane et aux concentrations d'ozone qui restent en légère augmentation. Comme dans le reste du monde, l'enjeu sera dans le futur de bien coordonner les politiques de contrôle des émissions de polluants avec celles liées au réchauffement climatique et de relever nombre de défis technologiques dans les secteurs de l'énergie, la mobilité, l'agriculture et l'approvisionnement en eau potable.

## Une brève histoire de la pollution de l'air en Chine

L'assimilation par les villes chinoises de millions de nouveaux citadins est sans précédent dans l'histoire du monde moderne. L'ampleur de cet exode rural s'est matérialisée en périphérie des capitales de province ou des sous-préfectures de la côte, où se sont élevés en peu de temps des quartiers entièrement nouveaux. Alors qu'à la fin des années 1980, la population urbaine ne représentait, en Chine, que 25 % de la population, elle dépasse au milieu de la décennie 2000 le cap des 40 %, et dépassera très probablement 60 % en 2020 (Source : Banque mondiale). Sur notre planète, la Chine devrait, à elle seule, représenter un tiers du doublement de la population urbaine attendu entre 1990 et 2025. Cette urbanisation fut perçue dans les années 2000 comme une chance par les Chinois en quête d'une modernité et d'un confort de vie accru encore inaccessibles, à l'époque, dans les campagnes ou les petites villes. Mais le phénomène fut si rapide et d'une telle ampleur que son contrôle resta limité (Guinot, 2008).

Une forte pression s'est donc exercée sur les ressources naturelles nécessaires au fonctionnement de ces zones urbaines en expansion. L'eau, d'abord, dont les réserves sont limitées dans de nombreuses régions, est distribuée *via* des réseaux qui étaient souvent sous-dimensionnés. En bout de chaîne, les réseaux d'assainissement, qui, eux aussi, peinent à suivre le rythme des constructions, ne peuvent absorber les grandes quantités de déchets

liquides et solides nouvellement générées. L'énergie, ensuite, dont la consommation accrue pour répondre aux besoins industriels et domestiques de ces centres urbains entraîne une pollution atmosphérique dense aux impacts environnementaux qui sont parmi les plus préoccupants à l'échelle du pays, mais aussi du monde.

Les villes chinoises représentent de fait des vitrines du futur dans lesquelles les problèmes, mais aussi – heureusement – beaucoup des solutions de demain ayant trait au développement durable et aux politiques énergétiques sont en train d'émerger rapidement. Les autorités ont été confrontées au défi pressant de la réduction des rejets dans l'atmosphère et de l'augmentation de la population urbaine, de son niveau de vie et de sa consommation d'énergie. La trajectoire chinoise se distinguait de celle des pays déjà développés par un degré d'urbanisation initialement faible. Cette particularité a entraîné dans les années 2000 et 2010 la conjugaison inédite de deux variables. En premier lieu, le rythme de croissance des grands centres urbains existants s'est nettement accéléré, comme cela a déjà été observé aux États-Unis ou dans d'autres pays développés lorsque leurs taux d'urbanisation dépassaient les 30 %. En second lieu, le taux élevé d'exposition des populations aux risques sanitaires liés à la pollution, conjugué à un véritable bouleversement socio-économique, impliqua une mise en œuvre difficile de politiques variées et évolutives visant à limiter cette exposition. À titre d'exemple, le PIB, la population et le nombre de véhicules à Pékin ont fortement augmenté, de 1998 à 2017, respectivement de 1 078 %, 74 % et 335 %.

## Les particules fines en Chine

La pollution aux particules est particulièrement nocive pour la santé, elle est de surcroît visible. En 2012, le gouvernement chinois a publié pour la première fois les normes de qualité de l'air ambiant (AAQC) relatives aux particules ambiantes  $PM_{2.5}$  (MEP, 2012). Les normes se déclinent en deux grades qui s'appliquent à différents domaines : celles de catégorie I, qui concernent certaines zones telles que les parcs nationaux, fixent des limites moyennes sur 24 heures et annuelles qui sont respectivement de 35 et 15  $\mu g/m^3$ . Les normes de catégorie II, dédiées aux zones générales, limitent les moyennes journalières et annuelles respectivement à 75 et 35  $\mu g/m^3$ . Dans ce document, d'autres normes non détaillées ici s'appliquent aux autres polluants réglementés comme l'ozone, les  $PM_{10}$ , le  $SO_2$ , le  $NO_2$  et le CO.

Base temporelle	Chine		US EPA	OMS	UE
	Grade-I	Grade-II			
Annuel ( $\mu g/m^3$ )	15	35	15	10	25
Journalier ( $\mu g/m^3$ )	35	75	35	25	N/A

Pour mieux cibler les stratégies de gestion de la qualité de l'air, il est important de comprendre l'origine de la pollution. À cette fin, des études d'attribution des sources ont été menées en Chine. Les particules secondaires (26-33 %), le charbon (7-29 %), les poussières (9-23 %), les gaz d'échappement des véhicules (3-26 %), les émissions industrielles (6-28 %) et la combustion de la biomasse (6-13 %) contribuent largement aux concentrations de  $PM_{2.5}$  à Pékin (Millet et Xu, 2018). Jin *et al.* (2015) ont également signalé une contribution importante du secteur de la construction (23 %). Zhang et Cao (2015) ont confirmé également la contribution importante de la combustion des biocarburants domestiques et de la biomasse.

De nombreuses études ont basé leur analyse sur la détermination des mécanismes d'exposition sur des zones sur lesquelles les efforts de réduction des émissions devraient être ciblés. Une étude des sources d'attribution relatives à une exposition à des  $PM_{2.5}$  et à des  $NO_x$  a conclu que les valeurs de la fraction inhalée provenant des émissions des véhicules étaient plusieurs fois supérieures à celles des émissions de l'industrie. Ces résultats confortent les politiques de contrôle des émissions des véhicules comme priorité absolue pour la protection de la santé humaine. À l'échelle de la Chine, une étude récente (Gu *et al.*, 2018) a tenté d'attribuer les causes de mortalité dues à la pollution atmosphérique par secteurs d'activité. Clairement, le secteur résidentiel (chauffage et climatisation) et les industries dominent dans la plupart des provinces les plus peuplées de l'Est de la Chine, alors que les particules naturelles, notamment issues des déserts, et l'agriculture contribuent plus largement dans l'Ouest et le Plateau du Tibet.

## Les plans d'action et leurs effets

L'effet des mesures de réduction des émissions polluantes à Pékin est particulièrement représentatif de la politique chinoise sur ce thème. Comme précédemment évoqué, Pékin a connu un développement rapide au cours des deux dernières décennies. Les épisodes de pollution de l'air dus aux véhicules et aux centrales à charbon ont été régulièrement observés dans la capitale durant la période précitée. Pour lutter contre la pollution atmosphérique, Pékin a lancé depuis 1998 de vastes programmes mis en œuvre par phases successives et portant sur l'ensemble des secteurs d'activité, notamment la production d'énergie et le trafic routier (voir la Figure 1 ci-dessous). La mise en place à Pékin en 2011 d'un système de « loterie » pour obtenir une plaque d'immatriculation a ainsi permis de restreindre le trafic routier et de favoriser la percée de

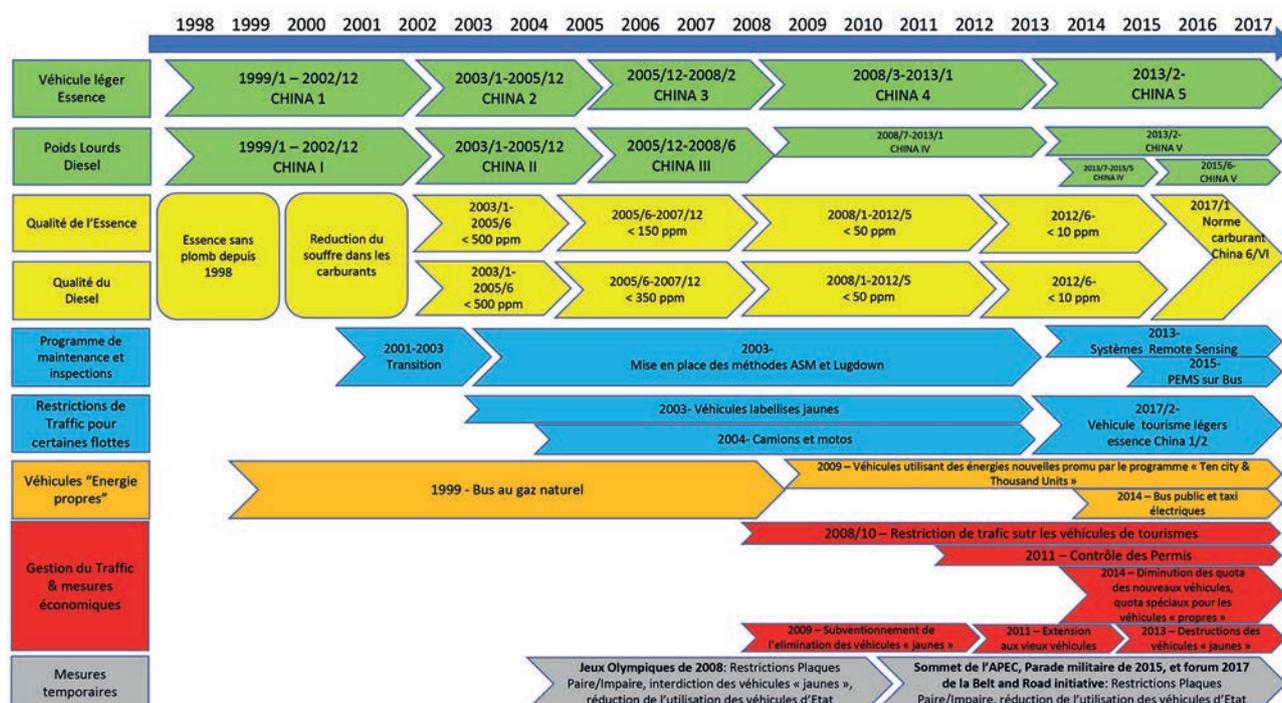


Figure 1 : Principales mesures de réduction des émissions du trafic routier à Pékin (reproduit à partir de UN ENVIRONMENT, 2019).

l'usage des véhicules électriques grâce à des mesures incitatives entrées en vigueur en 2015 (Zhang et Zhong, 2018).

Pour abaisser les hauts niveaux de pollution atmosphérique et atténuer leurs effets négatifs sur la santé, le Conseil d'État chinois a publié, en 2013, le Plan d'action de prévention et de contrôle de la pollution atmosphérique (APPCAP), qui comprenait dix mesures spécifiques et des objectifs de concentration à atteindre au plus tard à la fin 2017. Ce plan visant à contrôler la pollution de l'air en Chine est considéré, à ce jour, comme le plus strict. Grâce aux efforts constants de lutte contre la pollution atmosphérique, l'intensité des émissions a diminué d'année en année et la qualité de l'air s'est considérablement améliorée. Les données d'observation *in situ* montrent qu'à Pékin, entre 1998 et 2017, les concentrations moyennes annuelles de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  et  $\text{PM}_{10}$  ont diminué respectivement de 93 %, 38 % et 55 % (UN ENVIRONNEMENT, 2019).

L'impact sur la santé a également été évalué par le calcul des années de vie perdues (YLL), une façon complémentaire d'estimer les impacts des maladies associées aux polluants en prenant en compte à la fois les décès prématurés et la diminution de l'espérance de vie (Huang *et al.*, 2018). Les concentrations moyennes annuelles de  $\text{PM}_{2.5}$  ont diminué de 33,3 %, les  $\text{PM}_{10}$  de 27,8 %, le dioxyde de soufre de 54,1 % et le monoxyde de carbone de 28,2 %, entre 2013 et 2017. Cependant, aucun changement significatif n'a été observé pour les concentrations de dioxyde d'azote ou d'ozone. En 2017, à la suite d'une amélioration substantielle de la qualité de l'air, la mise en place de ce plan avait permis, d'après l'étude précitée, 47 240 morts de moins et 710 020 YLL de moins dans les 74 villes chinoises cibles.

## Les problématiques scientifiques récentes et à venir

Une revue de la littérature récente confirme les effets néfastes d'une exposition aux  $\text{PM}_{2.5}$  sur la santé, notamment la mortalité globale, la mortalité cardiovasculaire, la mortalité respiratoire, l'hypertension, le cancer du poumon, la BPCO (bronchopneumopathie chronique obstructive) et la grippe.

L'examen approfondi d'études antérieures réalisé dans le cadre d'une étude récente (Miller et Xu, 2018) a identifié les priorités suivantes pour les recherches futures sur les effets des  $\text{PM}_{2.5}$  sur la santé en Chine :

- poursuivre les études à long terme pour vérifier les effets d'une exposition sur la santé ;
- utiliser des données de campagnes d'échantillonnage à haute résolution ou des modèles de télédétection et/ou spatiaux par satellite pour obtenir dans des résolutions spatiales plus fines des informations relatives à des expositions ;
- réaliser des études de suivi personnel pour évaluer l'utilisation de la concentration extérieure comme indicateur indirect d'une exposition (par déploiement de micro-capteurs, notamment) ;

- étudier les mécanismes par lesquels l'exposition entraîne des effets néfastes sur la santé, en particulier dans un contexte multi-sources ;
- identifier des tendances saisonnières et les effets sur les différentes typologies de population ;
- évaluer l'impact de la composition chimique des particules sur la santé ;
- réguler et surveiller les  $\text{PM}_{10}$  ;
- et déterminer les impacts d'une exposition à des particules ultrafines.

Ces axes de recherche sont similaires à ceux envisagés en Europe. Une étude récente a montré l'impact toujours important de l'industrie du charbon en Chine avec des émissions de méthane – le second plus important gaz à effet de serre – qui ne cessent de croître (Miller *et al.*, 2019).

Le contrôle drastique de la pollution atmosphérique en Chine depuis 2013 a permis une forte diminution des particules fines ( $\text{PM}_{2.5}$ ), mais les concentrations d'ozone sont restées à des niveaux élevés et sont, de surcroît, en augmentation. Après avoir éliminé l'effet de la variabilité météorologique, il semble que la réduction des oxydes d'azote n'explique pas à elle seule la tendance à la hausse des concentrations d'ozone. L'effet des particules sur la chimie de l'ozone (Li *et al.*, 2019) expliquerait également ces observations, ce qui obligera la communauté scientifique et les autorités gouvernementales à proposer des stratégies de réduction des émissions plus élaborées pour abaisser à la fois les concentrations de particules et d'ozone. L'effet global de l'augmentation des émissions de méthane pourrait également expliquer cette tendance à l'augmentation des concentrations d'ozone.

L'usage du véhicule électrique doit s'accompagner de mesures visant à contenir les émissions polluantes liées à la génération de l'électricité alimentant les batteries dans des pays comme la Chine, où l'électricité reste en grande partie produite par le recours à des énergies fossiles pouvant générer des émissions de gaz à effet de serre et des polluants (Chen *et al.*, 2018).

## Quelles perspectives ?

Le lien restera fort entre les problématiques environnementales et le bouleversement en cours de l'économie du pays. Dans un environnement économique favorable avec une croissance annuelle du PIB qui reste proche de 6 %, la croissance de l'industrie des services et le très bon niveau des infrastructures, associés à une montée en gamme des produits manufacturés, devraient contribuer à favoriser l'amélioration de la qualité de l'air en Chine. Néanmoins, le vieillissement de la population va accroître le niveau de risque au regard de cette population vulnérable, engendrant une augmentation des coûts de santé pour la société et mettant, par voie de conséquence, sous pression les autorités pour qu'elles continuent de prendre les mesures nécessaires. L'environnement, et particulièrement la qualité de l'air, devient une composante importante de la gestion des villes (par le concept de *Smart City*), dans lesquelles les nombreuses données disponibles peuvent

facilement remonter au niveau des municipalités pour définir des actions d'urgence ou de plus long terme afin d'améliorer la qualité de l'environnement à l'échelle locale.

En une dizaine d'années à peine, la Chine a clairement pris la tête des pays se voulant vertueux en matière de gestion de l'environnement. Cette déclaration récente prononcée lors d'une réunion des Nations Unies en témoigne :

« Nairobi, 15 mars 2019 – Le chef de la délégation chinoise, Zhao Yingmin, vice-ministre de l'Écologie et de l'Environnement, et Joyce Msuya, chef par intérim de l'ONU pour l'environnement, ont annoncé conjointement que la Chine serait l'hôte des célébrations de la Journée mondiale de l'environnement, le 5 juin 2019, avec un thème sur la pollution de l'air. Chaque année, environ 7 millions de personnes dans le monde meurent prématurément de la pollution atmosphérique, dont environ 4 millions en Asie-Pacifique. La Journée mondiale de l'environnement 2019 exhortera les gouvernements, l'industrie, les communautés et les individus à se réunir pour explorer les énergies renouvelables et les technologies vertes, et améliorer la qualité de l'air dans les villes et les régions du monde. Le gouvernement de la Chine s'est engagé à organiser des célébrations de la Journée mondiale de l'environnement dans plusieurs villes. Hangzhou, dans la province du Zhejiang, a été la ville hôte de l'événement principal. »

Cette annonce est intervenue alors que les ministres de l'Environnement du monde entier participaient au Forum sur l'environnement à Nairobi. Les négociations à la quatrième Assemblée des Nations Unies pour l'environnement, du 11 au 15 mars 2019, se sont attaquées à des problèmes critiques, tels que la réduction du gaspillage alimentaire ou la promotion des voitures électriques. Elle fait également suite à la publication d'un rapport de synthèse sur le contrôle de la pollution atmosphérique effectué depuis vingt ans à Beijing.

« La Chine sera l'un des meilleurs organisateurs mondiaux des célébrations de la Journée mondiale de l'environnement de 2019 », a déclaré Joyce Msuya lors de l'annonce faite lors de l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement. « Le pays a fait preuve d'un *leadership* remarquable dans la lutte contre la pollution atmosphérique sur son territoire. Il peut maintenant aider le monde à agir plus efficacement. La pollution atmosphérique est une urgence mondiale qui concerne tout le monde. La Chine va maintenant diriger la campagne et stimuler l'action mondiale pour sauver des millions de vies. »

La Chine, avec son secteur des énergies vertes en pleine croissance, est devenue un leader des actions de lutte contre l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre. Le pays possède déjà la moitié des véhicules électriques et 99 % des bus électriques du monde. La Chine est aujourd'hui le deuxième pays en termes d'investissements écologiquement responsables, qui représentaient

18,7 % de l'investissement global dans ce secteur en 2018.

Selon le dernier rapport des Nations Unies sur la pollution atmosphérique en Asie et dans le Pacifique (UN ENVIRONMENT, 2019), la mise en œuvre de 25 politiques technologiques pourrait entraîner une réduction supplémentaire de 20 % des émissions de dioxyde de carbone et de 45 % des émissions de méthane dans le monde. Concernant les polluants atmosphériques, la Chine devra poursuivre ses efforts dans l'industrie, le contrôle du trafic routier et les secteurs de la production d'énergie, et étendre également ses mesures de gestion à l'agriculture.

## Références

- CHEN X., ZHANG H., XU Z., NIELSEN C. P., McELROY M. B. & LV J. (2018), "Impacts of Fleet Types and Charging Modes for Electric Vehicles on Emissions under Different Penetrations of Wind Power", *Nature Energy* 3, pp. 413-421.
- ZHANG Y. L. & CAO F. (2015), "Fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in China at a city level", *Sci. Rep.* 5, 14884.
- GUINOT B. (2008), « Pollution atmosphérique et développement urbain en Chine : quelles perspectives ?, » in *Perspectives, chinoises*, pp. 67-76.
- GU Y., WONG T. W., LAW C. K., DONG G. H., HO K. F., YANG Y. & YIM S. H. L. (2018), "Impacts of sectoral emissions in China and the implications: air quality, public health, crop production, and economic costs", *Environ. Res. Lett.* 13, 084008, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad138>
- HUANG J., PAN X., GUO X. & LI G. (2018), "Health impact of China's Air Pollution Prevention and Control Action Plan: an analysis of national air quality monitoring and mortality data", *The Lancet Planetary Health* 2, 7, pp. 313-323.
- JIN X., XIAO C., LI J., HUANG D., YUAN G., YAO Y., WANG X., HUA L., ZHANG G., CAO L. *et al.* (2015), "Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in Beijing using positive matrix factorization", *J. Radioanal. Nuclear Chem.* 307, pp. 2147-2154.
- Ministry of Environmental Protection (MEP) (2012), Administration of Quality Supervision and Inspection Quarantine (AQSIQ), Ambient Air Quality Standards, GB3095-2012.
- MILLER L. & XU X. (2018), "Ambient PM<sub>2.5</sub> Human Health Effects-Findings in China and Research Directions", *Atmosphere* 9, 424.
- UN ENVIRONMENT (2019), "A Review of 20 Years' Air Pollution Control in Beijing", UNEP report.
- MILLER S. M., MICHALAK A. M., DETMERS R. G., HASEKAMP O. P., BRUHWILER L. M. P. & SCHWIETZKE S. (2019), "China's coal mine methane regulations have not curbed growing emissions", *Nature Communications* 10, 303.
- LI K., JACOB D. J., LIAO H., SHEN L., ZHANG Q. & BATES K. H. (2019), "Anthropogenic drivers of 2013-2017 trends in summer surface ozone in China", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116 (2), pp. 422-427.
- ZHANG X., BAI X. & ZHONG H. (2018), "Electric vehicle adoption in license plate-controlled big cities: Evidence from Beijing", *Journal of Cleaner Production* 202, pp. 191-196.