

Inspirer une mobilité urbaine qui sauve des vies en améliorant la qualité de l'air que nous respirons

Avant-propos

Bien que la pollution de l'air puisse être à la fois contrôlée et évitée, elle n'en reste pas moins un sujet largement négligé, ce qui nuit à la santé et au bien-être des populations. On estime qu'environ 6,7 millions de décès sont liés chaque année aux effets de la pollution atmosphérique, qui constitue la quatrième cause de décès prématurés à travers le monde.

La mauvaise qualité de l'air nuit gravement à la santé des personnes dans toutes les étapes de la vie et entraîne un certain nombre de maladies et de complications de santé. Des études montrent qu'en 2019, plus de 90 % de la population mondiale a respiré un air dont les concentrations de particules (PM_{2,5}) dépassaient les seuils fixés par l'Organisation mondiale de la Santé.

Dans les villes brésiliennes, qui abritent plus de 85 % de la population du pays, il existe un grand potentiel de réduction des émissions dues aux transports, qui constituent l'une des principales sources de polluants atmosphériques. Pour étudier ces possibilités, les municipalités doivent mettre en œuvre des politiques publiques qui incitent à utiliser les transports en commun, dissuadent de recourir aux modes de transport individuels motorisés, font la promotion des carburants et des véhicules à faibles émissions de carbone et encouragent les modes de déplacement actifs (marche ou vélo). Ces mesures permettent d'améliorer la qualité de l'air, de renforcer la sécurité routière et d'encourager l'activité physique, révélant ainsi la convergence entre les programmes de santé et de mobilité durable.

En plus de nuire à la santé, les principales sources de polluants sont aussi responsables des gaz à effet de serre à l'origine du changement climatique. Ainsi, accélérer l'amélioration de la qualité de l'air constitue également une occasion de réduire le réchauffement climatique.

La santé doit donc être au cœur des politiques publiques, en favorisant les mesures ciblées sur le bien-être des personnes et l'avenir des populations et de la planète.

Ce document, qui s'articule autour de trois parties, a été conçu pour présenter des données probantes et des expériences aux décideurs politiques, afin d'inspirer des politiques de mobilité urbaine qui permettent de sauver des vies en améliorant l'air que nous respirons. La première partie contient des données probantes concernant les effets de la qualité de l'air sur la santé et les répercussions des transports sur la qualité de l'air. La deuxième partie répertorie les expériences menées au Brésil où des mesures de mobilité urbaine ont été adoptées pour améliorer la qualité de l'air, ainsi que les stratégies gagnantes de surveillance et de communication en la matière. Dans la troisième partie figurent des recommandations en matière de politiques à mettre en œuvre à l'échelle municipale. L'objectif global de ce document est de fournir aux décideurs politiques les données probantes dont ils ont besoin pour communiquer sur les mesures relatives aux transports (extrêmement nécessaires mais généralement impopulaires) qui peuvent améliorer la santé publique.

Contents

- 03 Introduction**
- 04 Données probantes : les effets de la mobilité urbaine sur la qualité de l'air et la santé**
- 14 Expériences : exemples de mesures de promotion de la qualité de l'air et de la santé**
- 17 Appel à l'action**
- 19 Références**

Vital Strategies

Rua São Bento, 470, Cj. 104 - Centro
CEP: 01010-010 São Paulo – SP Brésil
www.vitalstrategies.org



À propos de ce document

Ce document a été établi par Vital Strategies avec l'appui de l'Instituto Clima e Sociedade (iCS). Hannah Machado et Sumi Mehta, de Vital Strategies, ont coordonné l'élaboration de ce rapport. Bianca Macêdo était responsable du développement des recherches et des contenus, tandis qu'Amanda Corradi s'est chargée de la rédaction. Ce document a été révisé par Richard Sanches, Genine Babakian, Karen Schmidt et Luiza Borges, puis il a été mis en page par le Coletivo Bicho et Allan Cerqueira de Brito.

Vital Strategies. *Inspirer une mobilité urbaine qui sauve des vies en améliorant la qualité de l'air que nous respirons.* São Paulo, Brésil ; 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.vitalstrategies.org/resources/inspirer-une-mobilite-urbaine-qui-sauve-des-vies-en-ameliorant-la-qualite-de-lair-que-nous-respirons/>



Introduction

Bien que la pollution atmosphérique puisse être contrôlée et évitée, ce problème est largement négligé et nuit ainsi à la santé et au bien-être des populations. On estime qu'environ 6,7 millions de personnes meurent chaque année à cause de la pollution de l'air, ce qui en fait la quatrième cause de décès prématuré sur la planète^[1].

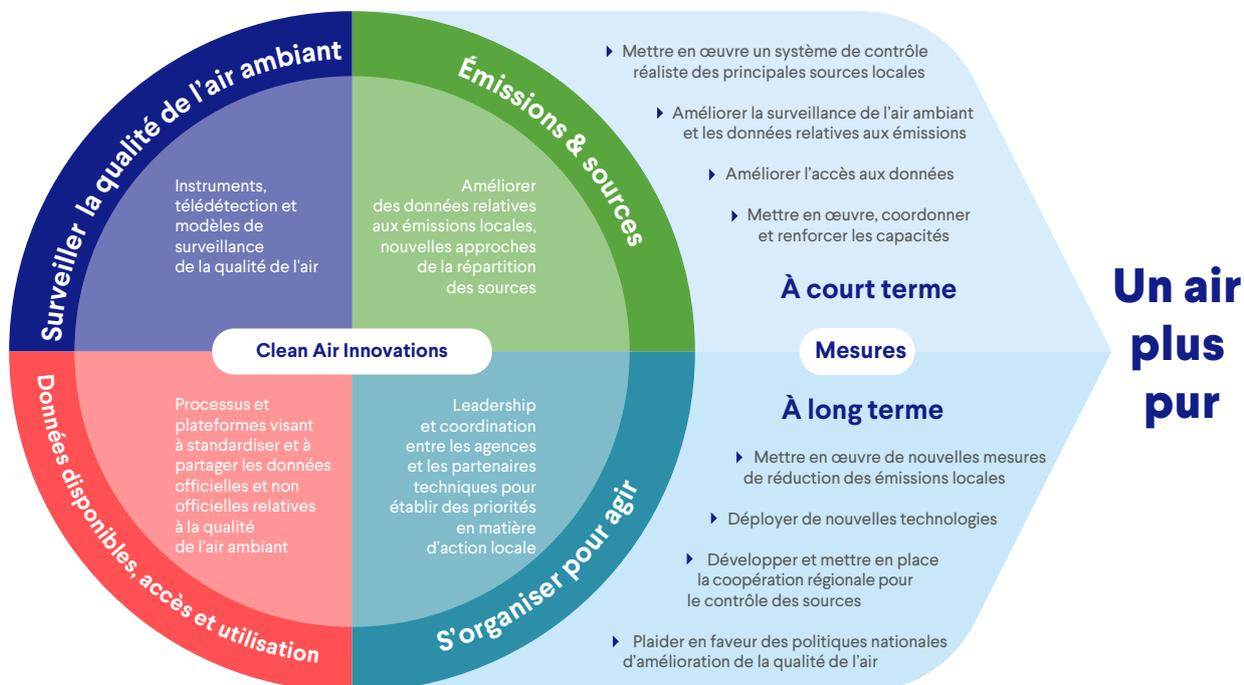
La mauvaise qualité de l'air nuit gravement à la santé des personnes à tous les stades de leur vie, ce qui entraîne une série de maladies et de complications. À l'échelle mondiale, elle est responsable de 40 % des décès liés à une maladie pulmonaire obstructive chronique, de 26 % des décès associés à un accident vasculaire cérébral, de 20 % des décès dus au diabète, de 20 % des décès liés à une cardiopathie ischémique et de 19 % des décès associés à un cancer du poumon^[1].

On estime qu'en 2019, plus de 90 % de la population mondiale a respiré un air dont les concentrations de particules (PM_{2,5}) dépassaient les seuils fixés par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). La pollution atmosphérique s'intensifie dans les pays en développement. Les taux de mortalité les plus élevés associés à la pollution ont été observés en Asie et en Afrique^[1].

Pour de nombreuses municipalités de pays à revenu faible et intermédiaire, la complexité et le coût de l'étude et du contrôle de la pollution atmosphérique a été un obstacle à la mise en œuvre de mesures efficaces d'amélioration de la qualité de l'air. Le guide de Vital Strategies sur l'accélération des progrès réalisés dans les villes en matière d'amélioration de la qualité de l'air (Accelerating City Progress on Clean Air)^[2] propose une approche de l'élaboration et de la mise en œuvre de mesures visant à améliorer la qualité de l'air, en exposant des méthodes solides et en tenant compte des capacités locales, classées en quatre étapes :

1. Capacités limitées ou inexistantes
2. Capacités élémentaires : suffisantes pour soutenir les premières mesures
3. Capacités étendues : permettant de soutenir des mesures dans la durée
4. Capacités avancées : capacités supérieures à celles de nombreuses villes de pays à revenu élevé

Pour chacune de ces étapes, le guide de Vital Strategies sur l'accélération des progrès réalisés en matière d'amélioration de la qualité de l'air présente des innovations autour de quatre axes décrits dans le schéma ci-dessous



Source : Vital Strategies : *Accelerating City Progress on Clean Air*, 2020.

Preuves : les effets de la mobilité urbaine sur la qualité de l'air et la santé

Vue d'ensemble de la qualité de l'air

La pollution de l'air se définit comme l'introduction dans l'atmosphère de substances qui nuisent à la santé humaine et à l'environnement. Dans les zones urbaines, les principales sources de pollution sont : l'utilisation de combustibles fossiles pour produire de l'énergie, les transports, la cuisine, le chauffage et l'incinération des déchets. Le niveau de pollution atmosphérique se mesure par la concentration de substances polluantes présentes dans l'air^[3,4].

Les polluants atmosphériques peuvent être émis directement dans l'atmosphère par des sources de pollution (on appelle cela des polluants primaires) ou être formés par des réactions chimiques dans l'atmosphère résultant de l'interaction du polluant primaire avec l'environnement (dans ce cas, on parle de polluants secondaires).

Le dioxyde de carbone (CO₂), le noir de carbone, le méthane et autres sont considérés comme des « polluants climatiques », étant donné qu'ils sont la principale cause du réchauffement climatique. Bon nombre de ces sources d'émissions nuisent également à la santé des personnes, ce qui met en évidence la synergie entre la qualité de l'air et les mesures d'atténuation des changements climatiques^[3].

Le lien entre la qualité de l'air et le climat a jusqu'à présent été sous-exploité, en partie parce que la communication sur les avantages climatiques se concentre généralement sur la prévention d'énormes dégâts à anticipés à l'échelle planétaire. Cependant, l'argument de la santé peut fortement contribuer à réduire les émissions ; en prenant les mêmes mesures destinées à éviter la catastrophe climatique, il est possible de sauver des millions de vies humaines à court terme en améliorant la qualité de l'air. De telles mesures permettront d'en sauver de nombreuses autres à long terme grâce à l'atténuation des changements climatiques.

Principaux polluants atmosphériques

• **PM – Particulate Matter (particules)** : l'indicateur le plus important utilisé pour les polluants qui nuisent à la santé. Ce sont de très petites particules de solides et de liquides en suspension dans l'air qui sont extrêmement nocives pour la santé dans la mesure où elles pénètrent en profondeur dans le système respiratoire. Elles sont classées par taille : PM₁₀ et PM_{2,5} pour les particules dont le diamètre équivalent est inférieur à 10 µm et 2,5 µm, respectivement. Elles sont principalement émises par les véhicules automobiles, l'activité industrielle, la combustion de la biomasse et la remise en suspension de la poussière du sol, entre autres. Les particules secondaires se forment à la suite de réactions chimiques dans l'air à partir de gaz tels que le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NOx) et les composés organiques volatils (COV), qui sont principalement émis par combustion.

• **SO₂ – Dioxyde de soufre** : gaz incolore et toxique qui s'oxyde pour former des pluies acides et peut réagir avec d'autres composés pour former des particules secondaires. Ses principales sources d'émission sont l'utilisation de combustibles contenant du soufre, tels que le gazole, le fioul industriel et l'essence. Les volcans en émettent également.

• **NO₂ – Dioxyde d'azote** : indicateur clé de la pollution liée au trafic. Gaz hautement oxydant et responsable de la formation de l'ozone troposphérique. Ses principales sources d'émission sont les véhicules ou les procédés de

combustion stationnaire, en plus des sources naturelles telles que le volcanisme, les actions bactériennes et les décharges électriques.

• **CO – Monoxyde de carbone** : gaz incolore et inodore qui peut s'oxyder et devenir du CO₂. Ses principales sources d'émission sont l'utilisation de combustibles fossiles pour les véhicules, les procédés industriels, la combustion du bois pour le chauffage domestique et les incendies forestiers.

• **COV – Composés organiques volatils** : produits chimiques organiques qui s'évaporent facilement à température ambiante, comme le méthane, le benzène, le xylène, le propane et le butane. À la lumière du soleil, ils subissent des réactions photochimiques pouvant produire de l'ozone, qui est un gaz très réactif. Ses principales sources d'émission sont les véhicules, l'activité industrielle, le stockage du combustible et les processus de transfert.

• **O₃ – Ozone** : formé à partir d'oxydes d'azote (NOx) et de composés organiques volatils (COV) en présence de la lumière du soleil, il s'agit de l'un des principaux composés du smog photochimique. En plus de nuire à la santé, l'ozone peut endommager la végétation. L'ozone qui se trouve près du sol, là où nous respirons, est appelé « mauvais ozone » car il est toxique. Cependant, dans la stratosphère (à une altitude d'environ 25 km), l'ozone joue un rôle important dans la protection de la terre : il filtre les rayons ultraviolets émis par le soleil.

Normes du Conama et normes de l'OMS

Les normes relatives à la qualité de l'air relèvent des réglementations qui établissent des valeurs seuil de concentration de certains polluants dans l'atmosphère qui peuvent nuire à la santé de la population si elles sont dépassées.

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) définit les concentrations maximales de polluants dans l'air. Cependant, les lois qui régissent ces normes varient d'un pays à l'autre. Au Brésil, par exemple, ces limites sont contrôlées par le Conama, le Conselho Nacional do Meio Ambiente [Conseil national de l'environnement]^[5].

La réglementation nationale actuelle est assez permissive, étant donné qu'elle accepte des valeurs seuil beaucoup plus élevées que celles établies par l'OMS. Ces limites élevées qui ont été fixées au Brésil peuvent donner l'illusion d'une bonne qualité de l'air, car les niveaux de polluants atmosphériques ne dépassent pas les normes nationales.

En réalité, les concentrations maximales de polluants fixées au Brésil sont plus nocives que celles que préconise l'OMS.

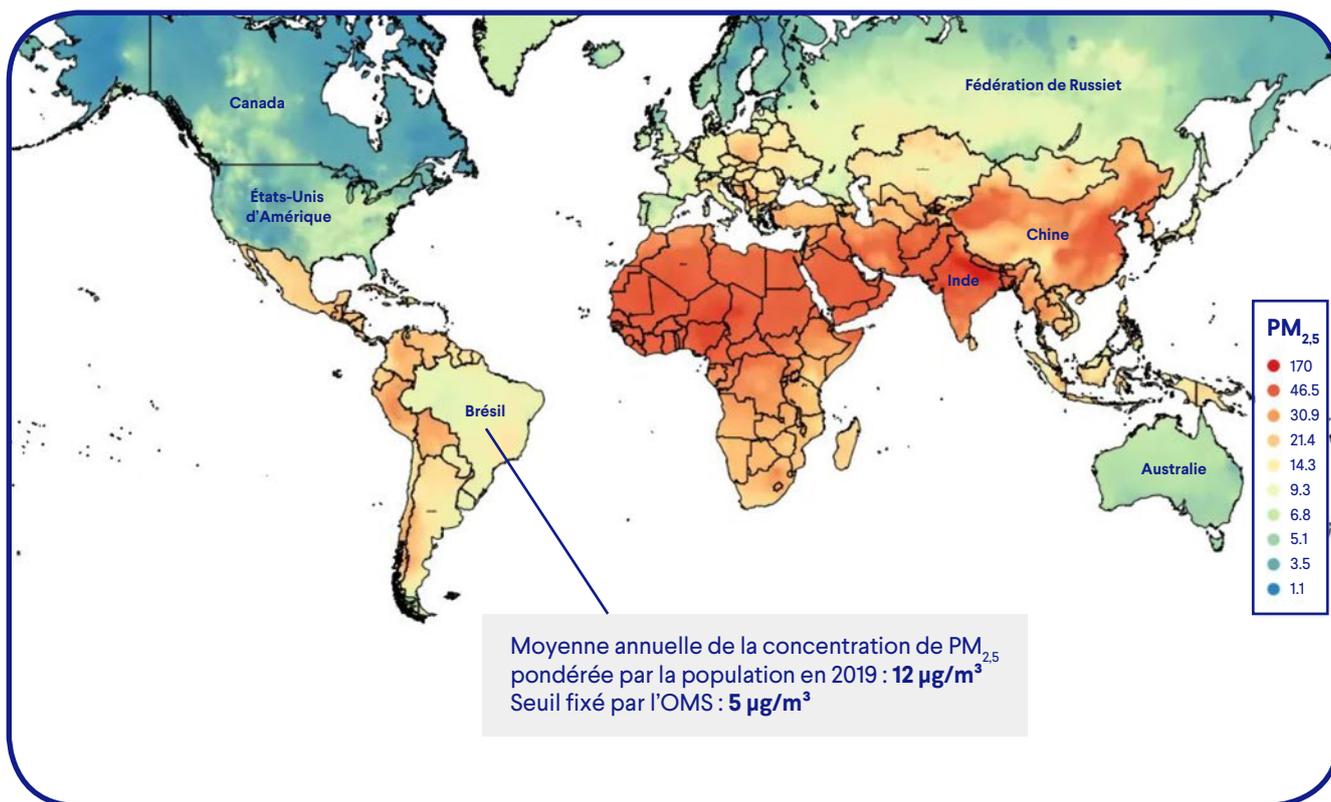
Concernant les $PM_{2,5}$, on estime que plus de 81 % des Brésiliens sont exposés à ce polluant à des concentrations supérieures à la limite fixée par l'OMS^[6]. Entre 2010 et 2019, le nombre de décès attribués à cette composante a été réduit de 2 % dans le pays. Ce recul a coïncidé avec une réduction de la concentration de $PM_{2,5}$ entre 2010 et 2015, qui a ensuite stagné jusqu'en 2019.

En 2021, les lignes directrices de l'OMS sur la qualité de l'air ont établi de nouvelles valeurs seuil plus strictes pour les polluants atmosphériques. Ces nouvelles lignes directrices encouragent les gouvernements à réaliser des progrès continus en matière d'amélioration de la qualité de l'air ; même des améliorations graduelles auront des bienfaits mesurables sur la santé, aussi bien dans les zones où les niveaux de pollution atmosphérique sont élevés que dans les régions où des progrès substantiels ont déjà été réalisés.

Concentrations maximales en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

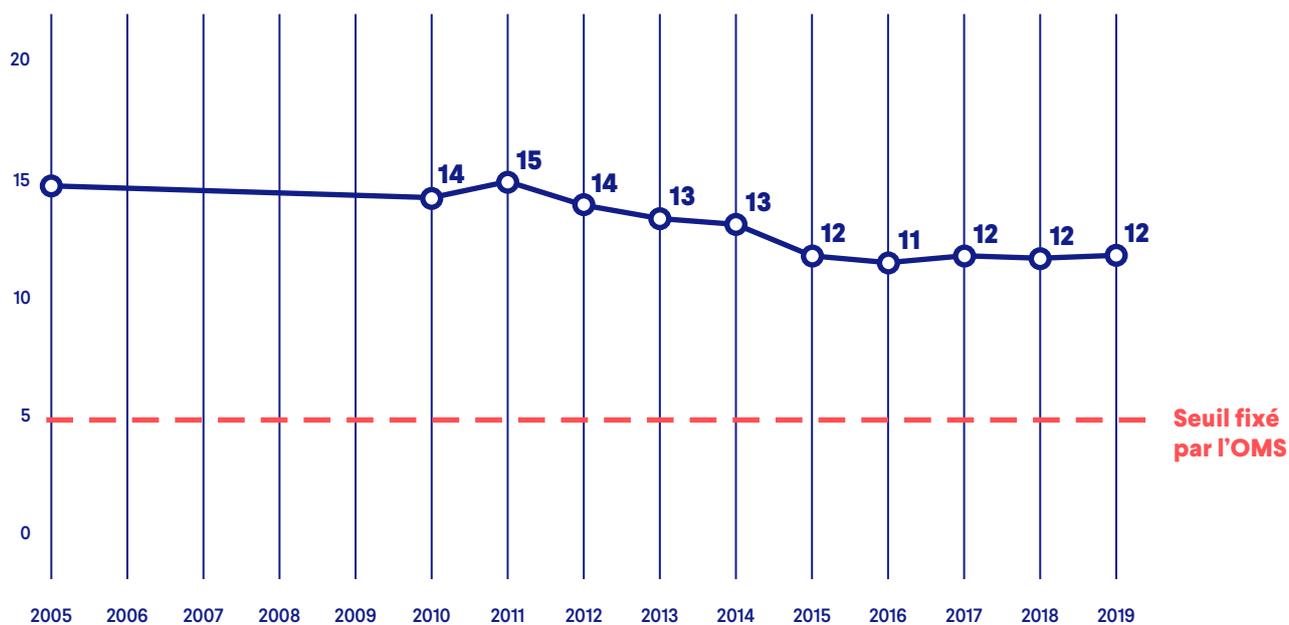
		CONAMA	OMS	
PM_{10}	24 heures	120	45	2,7x
	Annuel	40	15	2,7x
$PM_{2,5}$	24 heures	60	15	4,0x
	Annuel	20	5	4,0x
O_3	8 heures <small>Variable moyenne maximale obtenue dans la journée</small>	140	100	1,4x
NO_2	Annuel	60	10	6,0x
SO_2	24 heures	125	40	3,13x

Les normes du Conama relatives à la qualité de l'air qui figurent dans ce tableau correspondent à la phase actuelle (PI 1) sur les quatre phases prévues (PI1, PI2, PI3 et PF) pour atteindre les seuils fixés par l'OMS. La phase PI 1 a démarré en 2018, et les dates de démarrage des autres phases n'ont pas encore été déterminées.
Source : Résolution n°491 du Conama et OMS, 2021



Source : Health Effects Institute. 2020. State of Global Air 2020. Données : Global Burden of Disease Study 2019. IHME, 2020. OMS, 2021

Évolution annuelle de la moyenne de la concentration de PM_{2,5} (µg/m³) pondérée par la population au Brésil



Source : Health Effects Institute. 2020. State of Global Air 2020. Données : Global Burden of Disease Study 2019. IHME, 2020.

Évolution de la surveillance au Brésil

En ce qui concerne la mise en place d'un programme de surveillance complet, d'inventaires de polluants, de la modélisation et des prévisions sur la qualité de l'air, le Brésil a encore de gros progrès à faire.

En 1989, le Conama a mis en place le Programme de contrôle de la qualité de l'air (Pronar), qui est en charge de la création du réseau national de surveillance de la qualité de l'air. La création d'un inventaire national des sources et des émissions a également été envisagée, qui aurait pour objectif d'élaborer des méthodologies pour enregistrer et estimer les émissions et traiter les données relatives aux sources de pollution atmosphérique. L'Institut brésilien de l'environnement et des ressources naturelles renouvelables (IBAMA) s'est vu confier la mission de gestion du programme et de coordination en lien avec les agences de l'administration publique et les entités privées à l'échelle fédérale, des États et des municipalités afin de maintenir un canal de communication permanent.

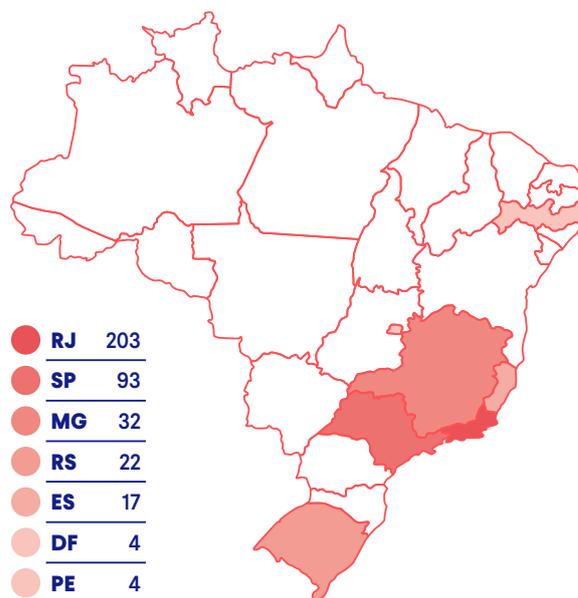
En 1990, le premier règlement a été promulgué, établissant des normes nationales en matière de qualité de l'air et la responsabilité des États de surveiller leurs territoires respectifs. En 2018, ce règlement a été révisé pour aboutir à celui qui est actuellement en vigueur.

En 2019, 30 ans après la création du Pronar, une étude menée par l'Instituto Saúde e Sustentabilidade (institut brésilien de la santé et du développement durable) a permis de vérifier que seules sept unités fédérales sur un total de 27 surveillaient la qualité de l'air, à savoir : le district fédéral (DF, selon l'abréviation portugaise) et les États d'Espírito Santo (ES), Minas Gerais (MG), Pernambuco (PE), Rio de Janeiro (RJ), Rio Grande do Sul (RS) et São Paulo (SP). Au total, on compte 375 stations de surveillance de la qualité de l'air, qui présentent les caractéristiques suivantes^[6] :

- 85 % de ces stations sont actives
- 93 % se situent dans la région du Sud-Est

- 56 % se situent dans les zones métropolitaines
- 48 % sont privées
- 60 % sont automatiques
- 98 % sont fixes

La présence de PM_{10} (qui, à l'aide de facteurs de conversion, peut servir d'approximation pour estimer la concentration de $PM_{2,5}$) est surveillée par environ 50 % des stations. La réduction des $PM_{2,5}$ est considérée comme un objectif plus important, car il s'agit de l'un des principaux polluants nocifs pour la santé et la limite de concentration fixée par l'OMS est faible ; ces niveaux sont de plus en plus surveillés, atteignant 20 % des stations en 2019 (toutes situées dans la région Sud-Est).



Source : Instituto Saúde e Sustentabilidade. Análise do monitoramento de qualidade do ar no Brasil, 2019.



Industrie



Mobilité



Incendies



Énergie



Climat



Santé publique



Environnement

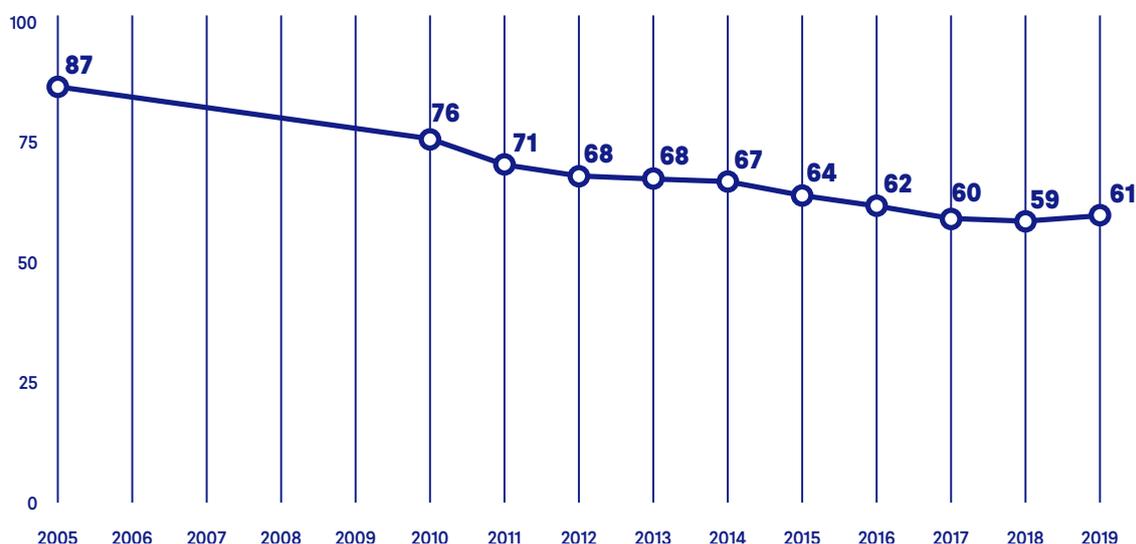
Effets de la pollution atmosphérique sur la santé

La pollution atmosphérique représente un grand risque pour la santé humaine et peut affecter les gens différemment, selon la toxicité du polluant et le degré d'exposition, de susceptibilité et de vulnérabilité de l'individu.

La mort prématurée est la conséquence la plus grave de l'exposition aux polluants. Cependant, un nombre encore plus grand de personnes subissent d'autres complications qui nuisent à leur santé, à leur qualité de vie et à leur bien-être.

Au Brésil, en 2019, 61 000 personnes ont perdu la vie à cause de la pollution de l'air³¹. Lorsqu'on analyse les données historiques, il apparaît clairement qu'entre 2005 et 2017, le nombre de décès causés par les pollutions atmosphériques a diminué année après année. À partir de 2019, ce nombre s'est stabilisé.

Évolution annuelle du nombre de décès au Brésil dus à la pollution atmosphérique, pour mille décès



Source : Health Effects Institute. 2020. State of Global Air 2020. Données : Global Burden of Disease Study 2019. IHME, 2020.



40% de décès dus à une maladie pulmonaire obstructive chronique



20% de décès dus à une cardiopathie ischémique



20% de décès dus au diabète



30% de décès à une infection respiratoire aiguë



19% de décès dus au cancer du poumon



26% de décès dus à un accident vasculaire cérébral

La pollution atmosphérique peut nuire gravement à la santé des personnes, ce qui se manifeste généralement par des symptômes respiratoires ou cardiaques, ou par des maladies chroniques pouvant toucher tous les organes du corps. Elle peut également provoquer, compliquer ou aggraver de nombreux problèmes de santé. Ces problèmes peuvent être liés directement à la toxicité des particules qui pénètrent dans les organes, ou indirectement, par le biais de processus inflammatoires systémiques.

Les dommages causés par la pollution atmosphérique affectent la santé humaine à tous les âges de la vie.

Pendant la grossesse, l'exposition à la pollution de l'air nuit au développement du fœtus et est associée à un faible poids de naissance, à un risque accru de naissance prématurée, à des décès néonataux (ce qui représente 20% des décès néonataux dans le monde), à des décès post-néonataux et à des morts fœtales^{31,32}.

Source : Health Effects Institute. 2020. State of Global Air 2020.

Des expositions précoces pendant la grossesse – en prénatal et en postnatal – peuvent nuire au développement du bébé et le prédisposer à d'autres complications à l'âge adulte, telles que les maladies cardiovasculaires (hypertension et maladie coronarienne), les maladies respiratoires chroniques, l'obésité, le diabète et le cancer.

(Schwartz, 2004 ; OMS, 2018)

Plusieurs études révèlent des liens significatifs entre l'exposition à la pollution atmosphérique et les effets indésirables pendant la grossesse, plus particulièrement à la suite de l'exposition aux polluants suivants : PM, SO₂, NO₂, O₃ et CO. On associe spécifiquement les PM_{2,5} à un faible poids de naissance, et l'air extérieur pollué est lui-même associé à une naissance prématurée.

(OMS, 2018)



Prématurité

Zhao *et al.*, 2011 ; Lima *et al.*, 2013

Faible poids à la naissance

Gouveia *et al.*, 2004 ; Medeiros e Gouveia, 2005 ; Junger e Leon, 2007 ; Nascimento e Moreira, 2009 ; Romão *et al.*, 2013 ; Santos *et al.*, 2014

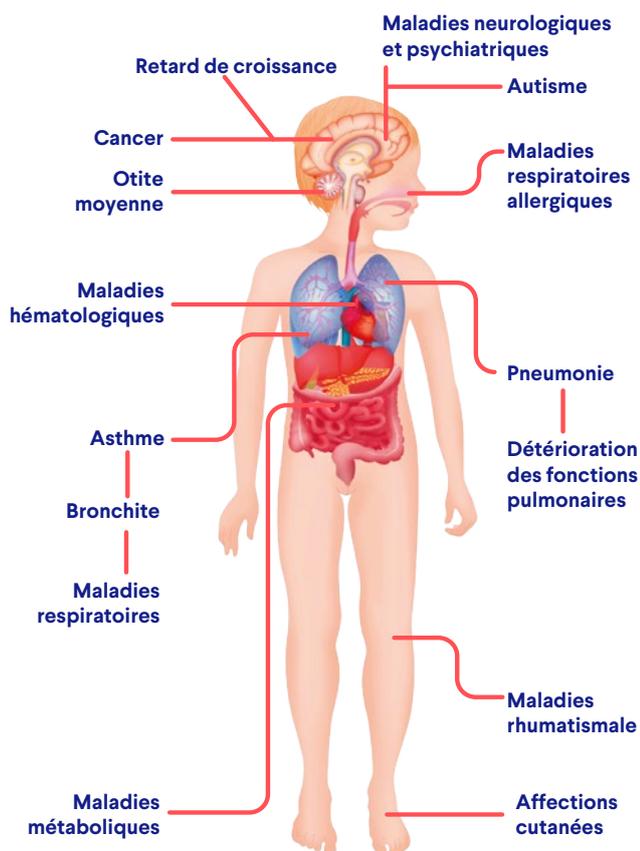
Décès néonatal et postnatal

Lin *et al.*, 2004 ; Nishioka *et al.*, 2014

Décès néonatal et postnatal

Pereira *et al.*, 1998 ; Nishioka *et al.*, 2000

Source : O estado da qualidade do ar no Brasil, 2020 et Health Effects Institute. 2020. State of Global Air 2020.



L'exposition prénatale et postnatale à la pollution atmosphérique peut également nuire au développement neurologique, détériorer les performances cognitives et influencer sur le développement de maladies comportementales. En outre, il existe des données qui prouvent que l'exposition aux polluants peut nuire au développement mental et moteur des enfants et augmenter le risque de développer des maladies pulmonaires telles que l'asthme et des cancers infantiles^[4].

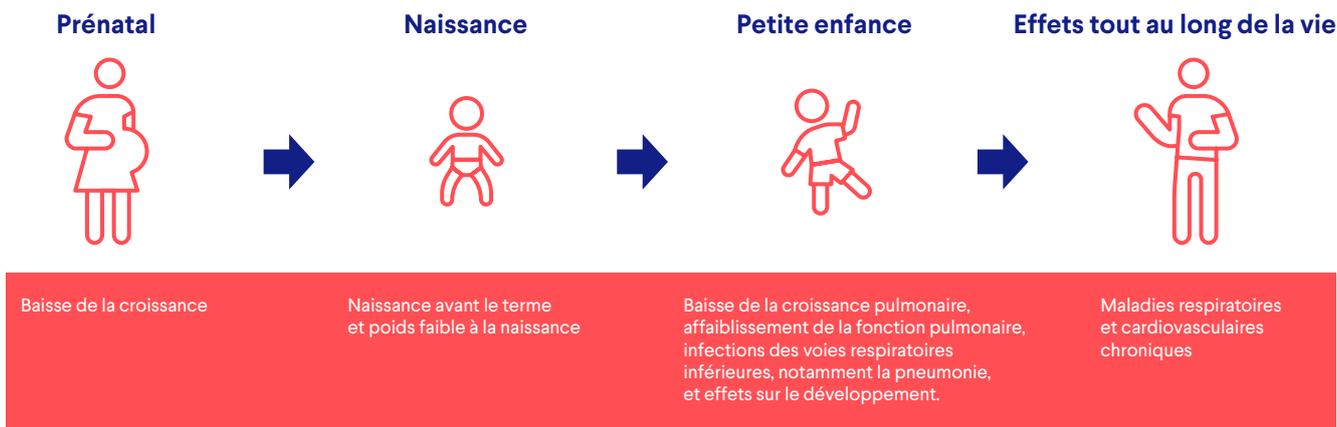
Les enfants comptent parmi les personnes les plus vulnérables aux effets de la pollution atmosphérique. Leurs poumons ne sont pas encore entièrement développés et ils respirent plus d'air par kilogramme que les adultes. En outre, ils sont plus proches du sol, où s'accumulent davantage de polluants^[3].

On estime qu'environ 2 milliards d'enfants dans le monde vivent dans des zones dont le niveau de pollution est supérieur aux seuils fixés par l'OMS, et qu'environ 570 000 enfants de moins de cinq ans meurent chaque année à la suite d'infections et de maladies attribuées à l'exposition aux polluants atmosphériques^[12].

La pollution atmosphérique augmente également le risque de voir ces enfants subir des effets indésirables en grandissant et à l'âge adulte. L'exposition à la pollution atmosphérique tôt dans la vie peut nuire au développement des poumons, affaiblir la fonction pulmonaire et augmenter le risque de développer une maladie pulmonaire chronique à l'âge adulte^[4].

Source : O estado da qualidade do ar no Brasil, 2020.

Effets de la pollution atmosphérique aux différentes étapes de la vie



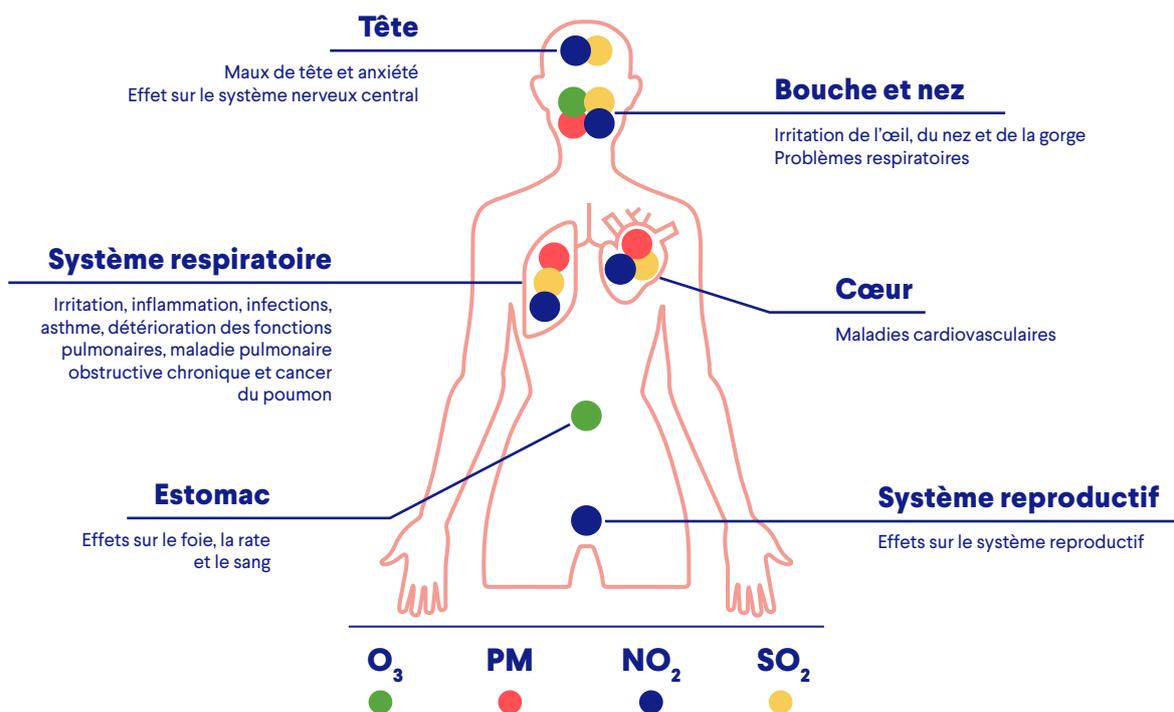
Source : Organisation panaméricaine de la Santé : Pollution de l'air et santé de l'enfant : prescrire un air sain. 2019.

L'inhalation de particules peut entraîner des gênes respiratoires et cardiaques, voire nécessiter, dans certains cas, des soins d'urgence. En outre, elle peut provoquer ou aggraver des affections telles que l'asthme, le cancer du poumon, le diabète, la démence et même des troubles de la fertilité. Plus la particule est petite, plus elle peut pénétrer en profondeur dans les poumons, emportant avec elle les composés chimiques dont elle est faite^[10,11].

Les effets de la mortalité prématurée et des maladies résultant de la pollution atmosphérique représentent un lourd fardeau économique. On estime que la mortalité

attribuée aux particules dans six zones métropolitaines du Brésil (où vit 23 % de la population) coûte 6,4 milliards de reais par an en pertes de productivité. À cela s'ajoutent environ 8 600 hospitalisations, qui représentent un coût de 15,9 millions de reais par an pour le système de santé public brésilien (SUS).

Aux coûts directement liés aux soins de santé publique et aux décès prématurés s'ajoutent les effets néfastes de la pollution atmosphérique sur le marché du travail, la perte de production agricole et les handicaps associés à un développement cognitif entravé^[3].



Source : WRI Brasil : Qual o impacto da poluição do ar na saúde?, 2018.

Des études menées dans des villes brésiliennes montrent qu'une réduction de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la concentration de $\text{PM}_{2,5}$ génère des économies considérables en matière de ressources, grâce à la baisse du nombre de cas annuels et à l'augmentation conséquente de l'espérance de vie des populations. Pour la ville de Fortaleza, les économies de ressources sont estimées à 781 millions de dollars US, et pour São Paulo, elles sont estimées à près de 5 milliards de dollars US^[8,9]. Les effets de la pollution atmosphérique varient également en fonction de la situation économique. À São Paulo, les personnes à faibles revenus, les habitants

des bidonvilles et les personnes ayant un faible niveau d'éducation subissent davantage les effets de la mortalité due aux PM_{10} . Le faible niveau d'éducation est également associé à des effets plus importants sur la mortalité du NO_2 , du SO_2 et du CO.

Une évaluation adéquate de l'interaction entre la pollution de l'air et la situation socio-économique contribue au débat sur la justice environnementale, qui vise à mettre fin à la répartition inégale des risques environnementaux affectant la qualité de vie^[13,14].

Effets de la pollution atmosphérique à São Paulo et Fortaleza

Ville	Période	Polluant	Scénario	Nombre annuel de cas évités	Nombre annuel de cas évités pour 100 000 habitants	Augmentation de l'espérance de vie (en mois)	Années de vie gagnées	Économies de ressources (USD)
Fortaleza	De 2015 à 2017	$\text{PM}_{2,5}$	Baisse à long terme de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	216,9	18,7	3,8	13372,1	780 595 109
São Paulo	De 2009 à 2011			1724,8	28,7	5,2	87548,9	4 958 805 241

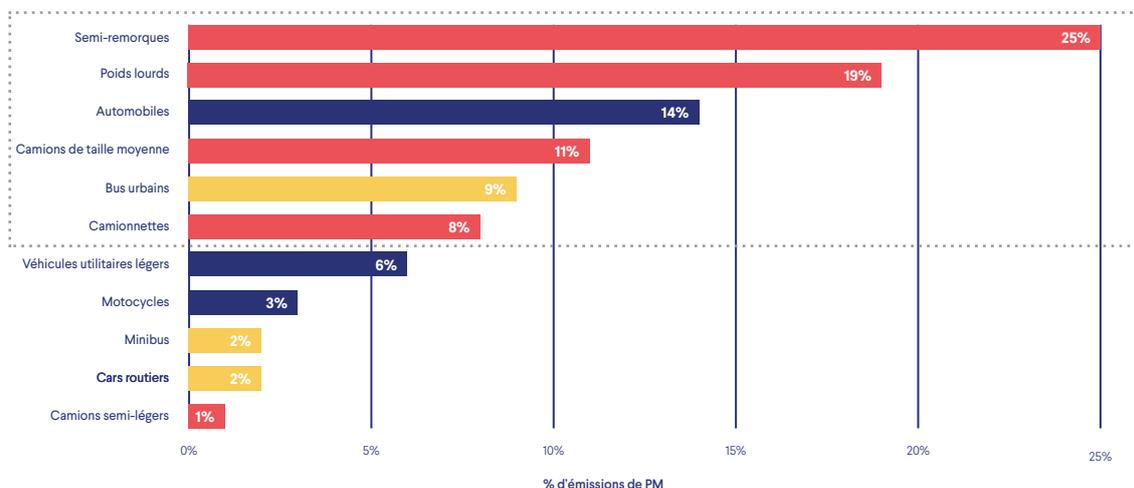
Source : 1) Rocha *et al.* : Health impact assessment of air pollution in the metropolitan region of Fortaleza, Ceará, Brazil, 2020. 2) Abe e El Khouri Miraglia : Health Impact Assessment of Air Pollution in São Paulo, Brazil, 2016.

Effets de la mobilité urbaine sur la qualité de l'air

Le transport routier constitue le principal mode de déplacement urbain au Brésil. En 2018, il était responsable d'environ 63 % des déplacements pendulaires dans les villes de plus d'un million d'habitants^[15].

Les émissions causées par les véhicules à moteur sont principalement dues à leur source d'énergie, comme le diesel, qui est utilisé par 43 % de la catégorie routière, et l'essence, utilisée par 27 %. Les principaux véhicules responsables des émissions de particules au Brésil sont les camions, les voitures et les bus urbains^[16].

Pourcentage des émissions totales de particules par catégorie de véhicule en 2012



Source : Ministère de l'environnement brésilien, 2o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por veículos automotores, 2013.

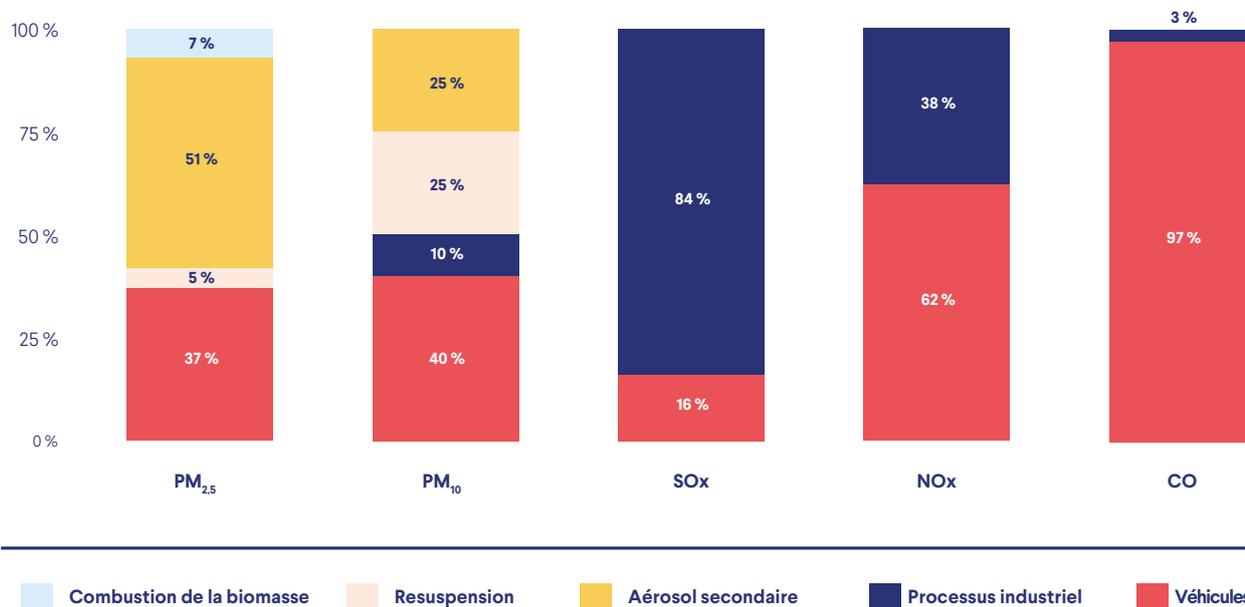
Les véhicules à moteur sont responsables d'une grande partie des polluants nocifs au Brésil. À São Paulo, par exemple, ils représentent 40 % des émissions de PM₁₀ et 37 % des émissions de PM_{2,5}^[17]. Outre les émissions générées par le processus de combustion, une autre source de pollution atmosphérique est la remise en suspension des matériaux déposés sur les routes. Ces polluants, que l'on appelle les particules d'usure, émanent de l'usure des pneus, des freins et de la chaussée.

Les mesures visant à réduire les émissions de polluants dans les transports englobent plusieurs actions, telles que l'association de la planification de l'utilisation et de l'occupation des sols avec l'amélioration des routes et des

systèmes de transport, mais il convient de souligner deux principaux fronts : les changements dans les technologies des véhicules et la promotion de modes de transport actifs, tels que la marche et le vélo. Ces derniers, en plus d'améliorer la qualité de l'air, contribuent à garder la santé à travers l'exercice physique ; ils permettent également de réduire le nombre de décès dus à la circulation.

Une étude menée par l'iCS (Instituto Clima e Sociedade) a révélé que les Brésiliens étaient ouverts au changement : 67 % des personnes interrogées étaient prêtes remplacer leurs voitures ou leurs motos par des alternatives de transport moins polluantes^[18].

Émissions relatives par type de source à São Paulo



Source : Cetesb : Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, 2019.

Mesures visant à réduire les émissions liées au transport



Évolution de la technologie des véhicules



Promotion des modes de déplacement actifs

Vue d'ensemble du Programme de contrôle de la pollution atmosphérique par les véhicules à moteur

Au Brésil, le Programme de contrôle de la pollution atmosphérique par les véhicules à moteur (Proconve) vise à réduire les émissions de polluants atmosphériques produits par les véhicules légers et lourds vendus à l'intérieur du pays. Basé sur les normes d'excellence européennes en matière d'émissions, ce programme définit des limites d'émissions selon des phases qui se durcissent au fil des ans^[19,20].

Le marché national des véhicules lourds est dominé par une grande majorité de constructeurs automobiles européens; la réglementation en matière de contrôle des émissions pour ces véhicules est donc basée sur celle qui a été élaborée au sein de l'Union européenne. La norme Euro VI est en vigueur depuis 2014, avec des seuils d'émissions plus contraignants

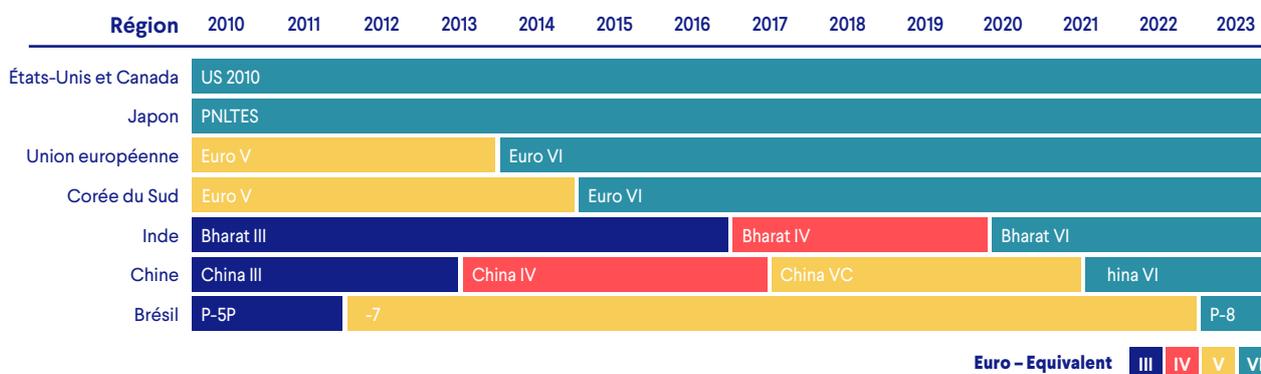
que ceux de la norme Euro V. En 2018, la résolution n°490 du Conama a permis d'établir la phase P-8 du Proconve, qui devrait entrer en vigueur en 2022 au Brésil. En 2022, de nouveaux seuils d'émissions plus contraignants s'appliqueront d'abord aux nouveaux modèles de véhicules lourds. L'année suivante, en 2023, ces nouveaux seuils s'appliqueront à tous les modèles de véhicules lourds^[21].

Parmi les huit plus grands marchés automobiles du monde, le Brésil sera le dernier à mettre en œuvre la norme Euro VI (Proconve P-8). Le rapport coût-bénéfice de la mise en œuvre de la phase P-8 du Proconve est de 11 dollars US en termes de bienfaits pour la santé × 1 dollar US en termes de coûts technologiques.

Calendrier de mise en œuvre des normes du PROCONVE pour les véhicules lourds

Norme	Disposition	Équivalent européen	Date de mise en œuvre
PROCONVE P-1	CONAMA 18/1986	-	1987 (bus urbains) 1989 (100%)
PROCONVE P-2	CONAMA 08/1993	Euro 0	1994 (80%) 1996 (100%)
PROCONVE P-3		Euro I	1994 (bus urbains) 1996 (80%) 2000 (100%)
PROCONVE P-4		Euro II	1998 (bus urbains) 2000 (80%) 2002 (100%)
PROCONVE P-5	CONAMA 315/2002	Euro III	2004 (bus urbains) 2005 (minibus) 2005 (40%) 2006 (100%)
PROCONVE P-6	CONAMA 315/2002	Euro IV	Jamais mis en œuvre, car le diesel à très faible teneur en soufre (ULSD) ne serait pas disponible. La phase P-5 a été appliquée jusqu'en 2011
PROCONVE P-7	CONAMA 403/2008	Euro V	2012
PROCONVE P-8	CONAMA 490/2018	Euro VI	2022 (homologations) 2023 (toutes les ventes et inscriptions)

Source : ICCT : Norma Proconve P-8 de Emissões no Brasil, 2019.



Source : ICCT : A crise da Covid 19 não justifica o adiamento da adoção de limites de emissão mais rigorosos para os veículos no Brasil, 2020.

Expériences : exemples de mesures de promotion de la qualité de l'air et de la santé

Évolution de la technologie des véhicules

Une façon d'améliorer la qualité de l'air est de promouvoir l'utilisation de véhicules zéro émission. Dans cette optique, les réseaux de bus urbains sont l'une des principales cibles de ces mesures ; ils sont, dans une plus large mesure, sous la gestion de l'État, et constituent donc un environnement plus favorable pour promouvoir des changements sur le plan technologique. Au Brésil, São Paulo a fait tout son possible pour intégrer des bus électriques à la flotte municipale de transport public.

Bus électriques à batterie

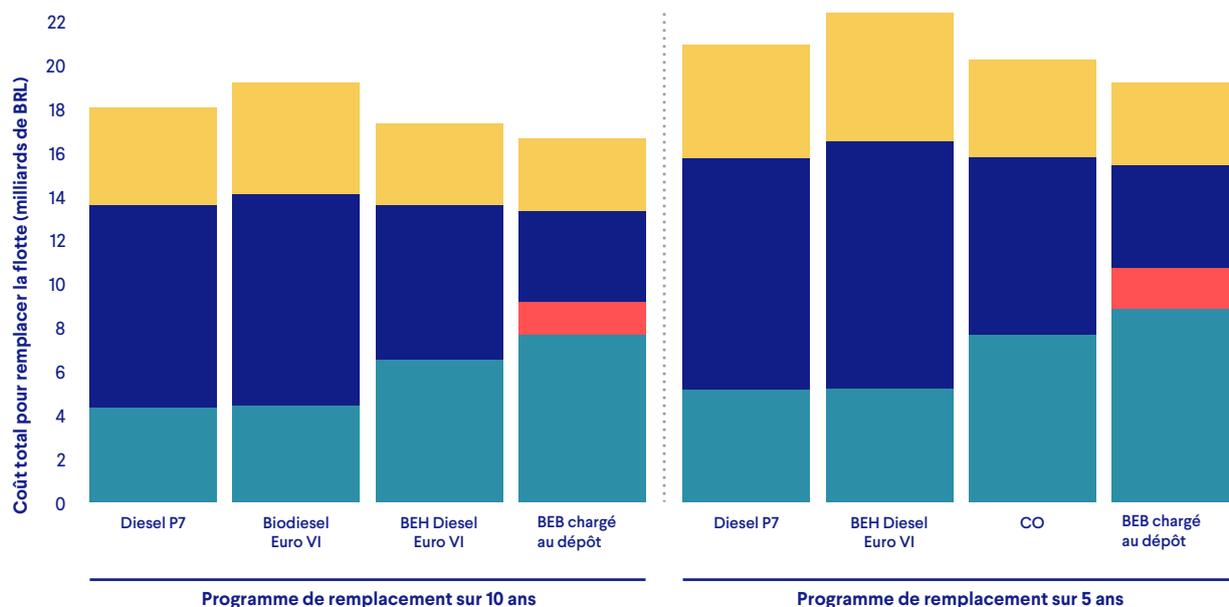
La ville de São Paulo dispose, au sein de sa flotte de bus, de 15 véhicules 100 % électriques alimentés par batterie, qui sont exploités par la société Transwólf. On estime qu'entre novembre 2019 et septembre 2020, ces bus, qui circulent sur une seule ligne, ont permis d'économiser 1 100 tonnes (1 155 451 kg) de CO₂. Pour ce qui est de la consommation de carburant, 430 000 litres de diesel ont pu être économisés sur cette même période. En plus de ne pas émettre de polluants, ce sont des véhicules silencieux qui disposent d'une autonomie de 280 à 300 km^[23].

Trolleybus

Le réseau de trolleybus municipal de São Paulo est composé d'une flotte de 200 véhicules. Il s'agit de la plus grande flotte et du plus ancien réseau du Brésil, puisqu'il a été inauguré en 1949, ce qui démontre qu'il est possible d'utiliser ce type de véhicule dans les transports publics. Bien que ce type de bus alimenté par un câblage électrique demande au départ un investissement élevé avec l'acquisition et l'adaptation du réseau électrique, il s'avère viable à long terme. Si l'on analyse le coût total, qui prend en compte le coût de l'exploitation et de l'entretien ainsi que la durée de vie du véhicule, il apparaît clairement qu'ils sont plus économiques que les bus à moteur diesel^[23].

Une étude montre que les bus hybrides et électriques à batterie ont des coûts compétitifs par rapport aux bus diesel P7 pour la plupart des types de véhicules du parc de la ville de São Paulo^[24].

Coût total du remplacement de la flotte de bus urbains de São Paulo par des bus diesel, des BEH diesel et des BEB chargés au dépôt, avec des programmes de remplacement sur 10 et 5 ans



BEH - Bus électrique hybride
BEB - Bus électrique à batterie



Acquisition de l'infrastructure NET



Acquisition de bus NET



Exploitation



Entretien

Source : PROMOB-e : Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas, 2018.

Promotion des modes de déplacement actifs et collectifs

En matière d'investissement dans les modes de déplacement actifs, Fortaleza fait office de modèle national. Plusieurs mesures mises en œuvre par la municipalité et visant à promouvoir des modes de transport actifs sont présentées ci-dessous.

Infrastructure dédiée aux cyclistes

Le réseau cycliste de la ville est passé de 68 km en janvier 2013 à 364,9 km en avril 2021, ce qui représente une augmentation de 436 %. La stratégie adoptée pour les pistes cyclables sur certaines routes consiste à promouvoir le rétrécissement des voies de circulation. Une étude a montré que ce rétrécissement pouvait permettre de réduire de 57 % les accidents avec blessés ou décès. D'après l'étude de 2019 intitulée « Pesquisa Origem Destino » [étude sur l'origine et la destination], 5% des déplacements dans la ville se font à vélo; 19 % des cyclistes sont des femmes^[25].

En évaluant l'accès à ce réseau, l'ITDP (Institut pour les politiques de transport et de développement) a constaté que 36 % de la population vivait à moins de 300 mètres d'une infrastructure cycliste. C'est l'indicateur PNB (People near Bike Lanes) le plus élevé parmi les capitales brésiliennes ^[26].

En plus des pistes et des voies cyclables installées de façon permanente, la ville de Fortaleza dispose le dimanche de 21 km supplémentaires de pistes cyclables destinées aux loisirs, réparties sur trois itinéraires différents^[27].

Vélos en libre-service

Bicicletar, inauguré en 2014, a été le premier système de vélo en libre-service de la ville de Fortaleza. En 2020, le système est passé de 80 stations financées dans la zone centrale à 191 stations, atteignant ainsi la périphérie de la ville. Parmi celles-ci, 111 stations ont été financées par les ressources de la Zona Azul (zone de stationnement).

Soixante-quinze pourcent des cyclistes utilisent le système pour leurs déplacements quotidiens : aller au travail, à l'école ou faire leurs courses. Le système Bicletar est gratuit pour toute personne qui utilise le Bilhete Único (carte de transport public), ce qui correspond à 96 % des usagers. En 2017, le système Mini Bicletar a été mis en œuvre avec des vélos pour enfants. Actuellement, une station dédiée aux enfants est installée toutes les 15 stations Bicletar. Depuis que ce système a été inauguré, plus de 4 millions de déplacements ont été enregistrés^[28].

Un autre réseau utilisé à Fortaleza est celui de Bicicleta Integrada [vélo intégré], qui consiste en un système de partage de vélos publics dans les terminaux de transport public pour une période pouvant s'étendre jusqu'à 14 heures. Cela permet l'intégration de ces modes de transport au dernier kilomètre^[29].

Bus à haut niveau de service (BHNS) et voies de bus

Fortaleza a également réalisé des investissements importants dans la mise en place de couloirs de transport public. Entre 2013 et 2021, la ville est passée de 3 à 117 km de voies de bus et de bus à haut niveau de service (10,6 km).

Il a été constaté dans l'une des avenues de la ville (l'avenue Santos Dumont) que la mise en place d'un couloir de bus de 1,6 km a fait passer la vitesse d'exploitation de 4,4 km/h à 13,5 km/h pendant les heures de pointe de l'après-midi, ce qui représente une augmentation de 207 % de la vitesse moyenne et une réduction des temps de trajet.

Une étude a évalué les niveaux de NO₂, qui constitue le meilleur indicateur de la pollution associée à la circulation automobile, sur des routes avec et sans couloirs de bus à Fortaleza. Les résultats ont révélé des niveaux de pollution plus faibles sur les routes dotées de couloirs de bus, même sur celles où le flux de véhicules lourds est plus important^[30].

Zones de modération du trafic

Des zones de modération du trafic [Áreas de Trânsito Calmo] ont été mises en place autour des hôpitaux de Fortaleza. Les interventions menées dans ces zones comprennent la mise en place d'avancées de trottoirs, de passages piétons surélevés, de rampes d'accès, de ralentisseurs et la réduction de la vitesse maximale autorisée sur les routes locales, qui est passée de 60 km/h à 30 km/h.

Dans l'une de ces zones situées autour de l'hôpital Albert Sabin, il a été constaté qu'avant l'intervention, 42 % des piétons (et 50 % des enfants) ne marchaient pas sur les trottoirs. Suite à l'intervention, seuls 4 % des piétons (et 0 % d'enfants) continuaient de marcher sur la route.

Belo Horizonte dispose également de zones de modération du trafic dans certains quartiers de la ville, appelées « Zonas 30 ». Contrairement à Fortaleza, la plupart des interventions dans cette ville ont été réalisées à l'aide d'éléments d'urbanisme stratégique, tels que le marquage des trottoirs à la peinture et le placement d'accessoires et d'autres éléments mobiles. Des enquêtes de perception ont été réalisées avant et après la mise en œuvre des Zonas 30, ce qui a permis de constater l'augmentation de la perception de sécurité par les piétons.

Services de vélo cargo

Fortaleza favorise aussi l'amélioration de la qualité de l'air par la promotion des services de vélo cargo. Le projet pilote Re-ciclo vise à tester l'utilisation de tricycles électriques pour les ramasseurs de déchets afin d'améliorer la logistique urbaine, tout en favorisant l'inclusion sociale et en augmentant le recyclage. Le remplacement des chariots traditionnels de collecte des déchets par des tricycles a permis d'améliorer la vitesse moyenne de collecte.

Péage urbain

Il n'existe aucun exemple de péage urbain au Brésil, mais c'est une mesure à envisager pour décourager l'utilisation de la voiture et favoriser ainsi la réduction des émissions polluantes. À Londres, les systèmes de péage urbain ont été mis en place en 2003 et fonctionnent du lundi au vendredi, de 7h00 à 18h00, dans le périmètre central de la ville. Cette mesure a permis de réduire de 18 % le volume de trafic et de 30 % les embouteillages dès la première année. En outre, des études révèlent une baisse significative des niveaux de PM, de CO et de NO^[31,32].

Gestion du stationnement

En 2011, San Francisco a adopté un système de gestion du stationnement innovant, le SFPark, qui fixe le prix du stationnement en fonction de la demande. Cela permet de fluidifier la circulation et de réduire le temps d'attente

pour trouver une place de stationnement. Le système est électronique, ce qui permet au conducteur de connaître le prix et la disponibilité des places à proximité. La mise en œuvre du système a entraîné une augmentation du nombre de passagers dans les bus et une réduction de la circulation des véhicules dans le centre-ville^[33,34].

Transit-Oriented Development (TOD)

Le Transit-Oriented Development (développement urbain autour d'axes de transport en commun) est une stratégie qui intègre l'aménagement du territoire à la mobilité urbaine, dans le but de créer des villes compactes, connectées et coordonnées. Le plan directeur stratégique de São Paulo a été révisé en 2014 en intégrant les principes du TOD. Il a défini des piliers de transformation urbaine permettant à la ville de faire de la transformation urbaine dans le domaine des transports une priorité^[35].

Suivi des avancées et mesure de l'impact

Outre les mesures directement liées à la mobilité, il est essentiel de suivre l'évolution de la qualité de l'air et de mesurer l'impact des mesures prises grâce à des données de meilleure qualité. Il est également important de rendre ces données accessibles au public.

Des données de meilleure qualité

La Companhia Ambiental do Estado de São Paulo [agence de contrôle environnemental de l'État de São Paulo] (Cetesb) assure la surveillance et élabore des études sur la qualité de l'air à São Paulo. L'État compte 91 stations publiques de surveillance de la qualité de l'air et il est le seul au Brésil à réaliser des études qui mesurent les émissions de polluants en fonction de leur source^[36].

Des données accessibles

Outre la surveillance, la Cetesb publie sur son site web des données horaires ainsi qu'un bulletin quotidien sur les polluants et des informations sur la qualité de l'air^[36].

Communication et diffusion des données

Il est également très important de prendre des mesures en matière de communication. Grâce à une application et à son site web, la Cetesb communique en temps réel des informations provenant des stations de surveillance de l'État de São Paulo sur les niveaux de qualité de l'air par rapport aux normes de l'OMS. Ces informations sont également affichées sur les horloges électroniques de rue.

Un autre bon exemple d'action de communication est le Boletim Zero Carbono [Bulletin zéro carbone], qui est diffusé tous les mois à Belo Horizonte. Il s'agit d'informer les gens sur le Plan de réduction des émissions de gaz à effet de serre (PREGEE), ainsi que sur les mesures prises dans le cadre du Comité sur le changement climatique et l'efficacité (CMCE). C'est un bon moyen de tenir la population informée des avancées et de l'importance de la qualité de l'air dans la ville.

Appel à l'action

Cette partie rassemble les recommandations visant à accélérer les mesures d'amélioration de la qualité de l'air à travers trois principales approches : les politiques publiques, la planification et la communication.

Ces mesures peuvent être mises en œuvre à l'échelle municipale et donner ainsi un rôle clé aux villes dans la lutte pour l'amélioration de la santé et de la qualité de l'air.

Politiques publiques

Encourager l'utilisation des transports publics et des modes de déplacement actifs

- Encourager l'utilisation de modes de déplacement actifs en agrandissant les réseaux cyclables, en prenant les mesures nécessaires au confort et à la sécurité des cyclistes ; intégrer le réseau cyclable et le système de transport public, en créant des zones de stationnement adéquates et des systèmes publics de vélos en libre-service.
- Donner la priorité à la circulation des piétons, en veillant à ce que soient réunies les conditions nécessaires à leur confort et à leur sécurité sur les trottoirs et les passages piétons, notamment en abaissant les vitesses maximales autorisées sur les voies urbaines.
- Axer les investissements publics en priorité sur l'amélioration du réseau structurel de transport public, à travers la création ou l'adaptation des infrastructures à faible impact environnemental.
- Promouvoir l'intégration physique et tarifaire entre les systèmes de transport.
- Faire des transports publics une priorité, à travers la mise en place de voies préférentielles ou exclusives.

Promouvoir l'utilisation de véhicules à faibles émissions

- Encourager le renouvellement des flottes de transport public et l'utilisation de véhicules plus respectueux de l'environnement, tels que les voitures électriques, hybrides ou équipées d'un système de contrôle des émissions.
- Mettre en œuvre des programmes d'inspection des véhicules pour détecter les émissions polluantes.

- Donner la priorité aux véhicules moins polluants lors de la mise en œuvre ou de l'extension des réseaux de transports publics (tels que les nouveaux couloirs bus à haut niveau de service (BHNS)).
- Promouvoir des services reposant sur des vélos ou tricycles électriques axés sur le dernier kilomètre de la logistique urbaine.

Dissuader les usagers de véhicules privés

- Adopter des mesures visant à transférer les coûts indirects résultant de l'utilisation inefficace de l'espace urbain vers les usagers de moyens de transport individuels motorisés.
- Décourager l'utilisation des moyens de transport individuels motorisés par le biais de restrictions d'accès à certaines zones, de politiques de stationnement ou de péages de congestion.
- Mettre en œuvre des mécanismes permettant de transférer des ressources issues des recettes du transport individuel vers le développement/le financement d'améliorations des transports publics et des infrastructures dédiées aux modes de déplacement actifs.

Promouvoir la gestion de l'environnement urbain

- Surveiller la qualité de l'air et garantir un accès adéquat aux données.
- Réaliser des études de répartition des sources afin d'identifier les principales sources d'émissions polluantes dans la ville.
- Établir des partenariats avec des institutions et/ou des universités pour étudier et quantifier à la fois les effets de la qualité de l'air sur la santé publique et ses coûts.
- Créer des forums sociaux de contrôle pour suivre l'évolution de ces mesures.

Planification

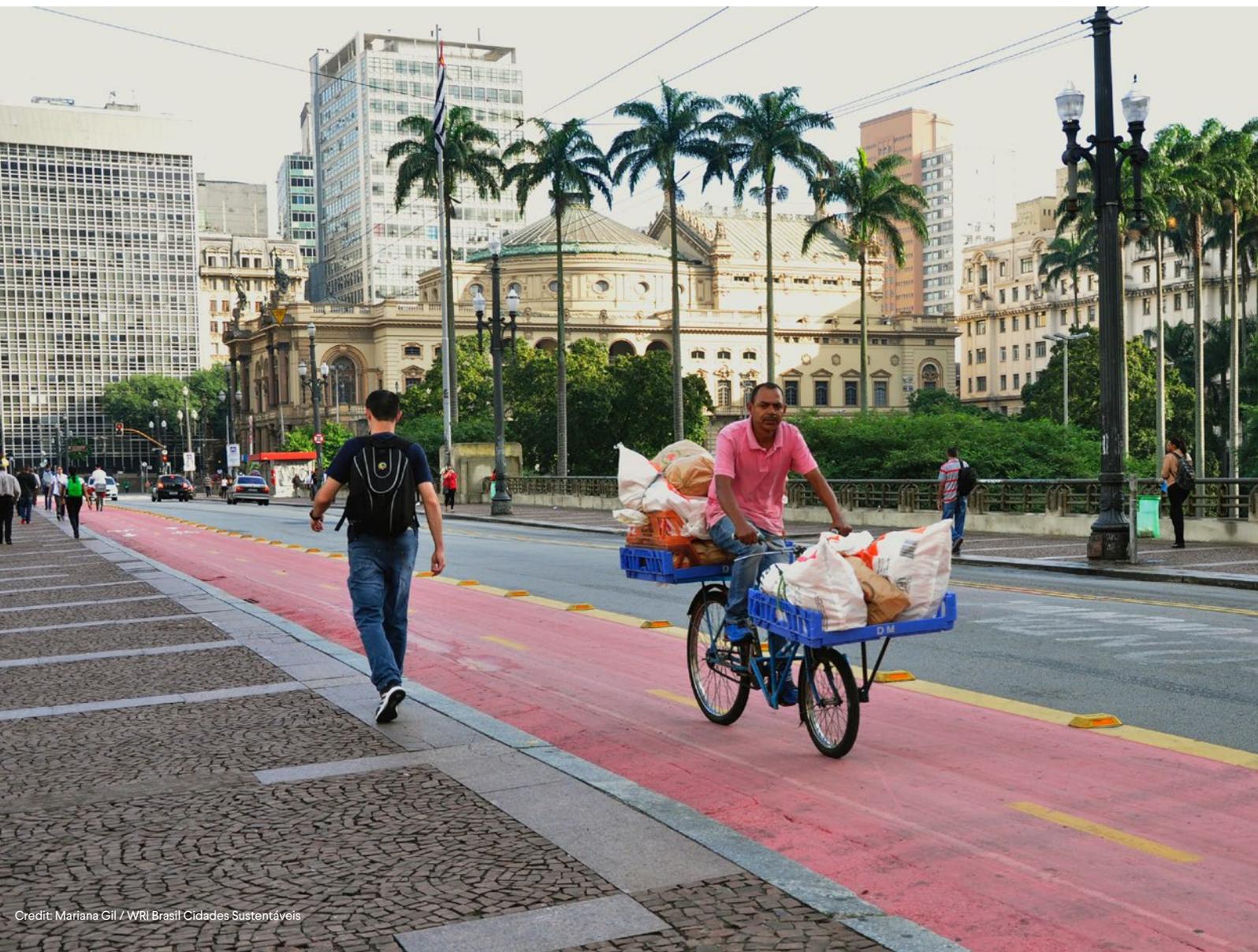
Favoriser la densification des zones centrales et maîtriser la dispersion urbaine

- Adopter des politiques d'aménagement du territoire qui favorisent un développement plus dense le long des axes de transport et à proximité des stations de transport et limiter le nombre de places de stationnement dans ces zones.
- Favoriser la connexion entre les équipements urbains, les zones d'emploi, l'accès aux services et les espaces de loisirs à travers les infrastructures de transport public.
- Promouvoir l'utilisation mixte des terrains, en réduisant la distance entre les zones résidentielles et les zones d'emploi, les espaces de loisirs et les espaces de services et d'équipements urbains.

Communication

Promouvoir la diffusion d'informations sur la qualité de l'air

- Adopter des mesures de communication, d'information et de sensibilisation concernant les répercussions et les bienfaits des mesures de mobilité durable sur la qualité de l'air, avec une large diffusion des données relatives à la surveillance de la qualité de l'air.
- Utiliser les arguments sur les bienfaits sur la santé soutenus par les mesures visant à améliorer la qualité de l'air et les associer aux avantages liés à l'atténuation du changement climatique.
- Communiquer sur l'état et l'évolution de la qualité de l'air dans la ville, en comparant les données aux objectifs de réduction des émissions qui figurent dans les plans existants.



Liens vers les données et les sources d'information

Pour de plus amples informations sur le sujet, consultez les pages suivantes :

- Accelerating City Progress on Clean Air: <https://www.vitalstrategies.org/wp-content/uploads/AcceleratingCityProgressCleanAir.pdf>
- Débats sur le sujet avec des dirigeants et des représentants universitaires de villes brésiliennes (en portugais)
 - Les effets des politiques de mobilité durable sur la qualité de l'air : <https://www.youtube.com/watch?v=SnH4AgnvrpM&t=2579s>
 - Relier les données probantes et les expériences en matière de mobilité, de qualité de l'air et de santé : <https://www.youtube.com/watch?v=iymLCSJMU5k&t=26s>
 - Pour un air pur à Belo Horizonte - convergence des actions en matière de mobilité, de qualité de l'air et de santé : <https://www.youtube.com/watch?v=W80haiDsN0g&t=10s>
- Mobilidade de Baixas Emissões, Qualidade do Ar e Transição Energética no Brasil [Mobilité à faibles émissions, qualité de l'air et transition énergétique au Brésil]. Un rapport montrant le lien que perçoivent les Brésiliens entre les combustibles fossiles, la pollution atmosphérique et le changement climatique (en portugais) : <https://www.climaesociedade.org/publicacoes?pgid=jjyqp4zj-c6a6d804-37fb-4020-b3a3-69fbe9cf3fb9>
- Toward Clean Air Jakarta: Improving Air Quality in Jakarta in the Near- and Long-Term. Un rapport présentant le plan d'action, soutenu par Vital Strategies, qui est en cours de mise en œuvre à Jakarta (en anglais) : <https://www.vitalstrategies.org/resources/toward-clean-air-jakarta-improving-air-quality-in-jakarta-in-the-near-and-long-term/>
- Hazy Perceptions: A new report on air pollution. Un guide qui montre comment les gens perçoivent le problème de la qualité de l'air (en anglais) : <https://www.vitalstrategies.org/resources/hazy-perceptions-a-new-report-on-air-pollution/>

Références

- 1: Health Effects Institute. 2020. State of Global Air 2020. Données : Global Burden of Disease Study 2019. IHME, 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.stateofglobalair.org>
- 2: Vital Strategies : Accelerating City Progress on Clean Air, 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.vitalstrategies.org/wp-content/uploads/AcceleratingCityProgressCleanAir.pdf>
- 3: WRI Brasil : O estado da qualidade do ar no Brasil, 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://wribrasil.org.br/sites/default/files/wri-o-estado-da-qualidade-do-ar-no-brasil.pdf>
- 4: Organisation panaméricaine de la Santé : Poluição do Ar e Saúde Infantil: Prescrevendo Ar Puro. 2019. Disponible à l'adresse suivante : https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51780/OPASBRA19004_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 5: Ministère de l'Environnement au Brésil ; Conama (Conseil national de l'environnement au Brésil): Resolution n° 491/18. Disponible à l'adresse suivante : <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>
- 6: Instituto Saúde e Sustentabilidade : Análise do Monitoramento de Qualidade do Ar no Brasil, 2019. Disponible à l'adresse suivante : https://www.saudeesustentabilidade.org.br/wp-content/uploads/2019/06/An%C3%A1lise-do-Monitoramento-de-Qualidade-do-Ar-no-Brasil_ISS.pdf
- 7: Instituto Saúde e Sustentabilidade. Avaliação dos impactos na saúde pública e sua valoração devido à implementação do gás natural veicular na matriz energética de transporte público – ônibus e veículos leves em seis regiões metropolitanas no Brasil, 2019. Disponible à l'adresse suivante : https://www.saudeesustentabilidade.org.br/wp-content/uploads/2019/10/Estudo_GAS_ISS_2018.pdf
- 8: Camille A. Rocha, Joyce L.R. Lima, Kamila V. Mendonça, Elissandra V. Marquesa, Maria E. Zanella, Jefferson P. Ribeiro, Bruno V. Bertoni, Verônica T.F. Branco, Rivelino M. Cavalcante : Health impact assessment of air pollution in the metropolitan region of Fortaleza, Ceará, Brazil, 2020.
- 9: Karina Camasmie Abe et Simone Georges El Khouri Miraglia : Health Impact Assessment of Air Pollution in São Paulo, Brazil, 2016.
- 10: WRI Brasil : Qual o impacto da poluição do ar na saúde?, 2018. Disponible à l'adresse suivante : <https://wribrasil.org.br/pt/blog/2018/07/qual-o-impacto-da-poluicao-do-ar-na-saude>

- 11: WRI Brasil : 5 impactos pouco conhecidos da poluição do ar, 2019. Disponible à l'adresse suivante : <https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/06/5-impactos-pouco-conhecidos-da-poluicao-do-ar-atmosferica>
- 12: Programme des Nations Unies pour l'environnement: Towards a Pollution-Free Planet Background Report, 2017. Disponible à l'adresse suivante : https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/21800/UNEA_towardspollutionlong%20version_Web.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 13: Mercedes A. Bravo, Jiyoung Son, Clarice Umbelino de Freitas, Nelson Gouveia et Michelle L. Bell : Air pollution and mortality in São Paulo, Brazil: Effects of multiple pollutants and analysis of susceptible populations, 2016. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.nature.com/articles/jes201490>
- 14: M.C.H. Martins, F.L. Fatigati, T.C. Vespoli, L.C. Martins, L.A.A. Pereira, M.A. Martins, P.H.N. Saldiva, A.L.F. Braga : Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in São Paulo, Brazil, 2004. Disponible à l'adresse suivante : <https://jech.bmj.com/content/58/1/41.long>
- 15: ANTP (Associação Nacional de Transportes Públicos). 2020. Système d'informations sur la mobilité urbaine de l'Association nationale des transports publics au Brésil – SIMOB/ANTP
- 16: Ministère de l'Environnement au Brésil, 2^o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por veículos automotores, 2013.
- 17: Cetesb : Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, 2019. Disponible à l'adresse suivante : <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2020/07/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar-2019.pdf>
- 18: Instituto Clima e Sociedade (iCS) : Mobilidade de Baixas Emissões, Qualidade do Ar e Transição Energética no Brasil, 2020. Disponible à l'adresse suivante : https://59de6b5d-88bf-463a-bc1c-d07bfd5afa7e.filesusr.com/ugd/d19c5c_b4d9237514f64b02a7896fce6ef81a05.pdf
- 19: Institut brésilien de l'énergie et de l'environnement (IEMA) : Estudo de caso: Adiamento do cumprimento da Resolução do Conama nº 490/2018 – Fase 8 do PROCONVE, 2020. Disponible à l'adresse suivante : https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2020/10/IEMA_estudoproconveadiamento2020.pdf
- 20: Institut de l'environnement de l'État de Rio de Janeiro (RJ). Inventário de emissões de fontes veiculares: região metropolitana do Rio de Janeiro / Instituto Estadual do Ambiente (RJ), [auteurs: Luciana Maria Baptista Ventura; Felipe de Oliveira Pinto]. – Rio de Janeiro : INEA, 2016
- Disponible à l'adresse suivante : <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Invent%C3%A1rio-de-Emiss%C3%B5es-de-Fontes-Veiculares.pdf>
- 21: ICCT : A crise da Covid 19 não justifica o adiamento da adoção de limites de emissão mais rigorosos para os veículos no Brasil, 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://theicct.org/blog/staff/covid-e-proconve-20200807>
- 22: Source : Miller, Joshua ; Façanha, Cristiano. Cost Benefit Analysis of Brazil's Heavy Duty Emission Standards (P 8). International Council on Clean Transportation, 2016. Disponible à l'adresse suivante : https://theicct.org/sites/default/files/publications/P-8%20White%20Paper_final.pdf
- 23: Source : ANTP : Impactos Ambientais da Substituição dos Ônibus Urbanos por Veículos menos Poluentes, 2016.
- 24: Source : PROMOB-e : Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas, 2018.
- 25: Municipalité de Fortaleza Fortaleza se destaca entre cidades da América Latina na ampliação da malha cicloviária durante a pandemia, 2021.
- 26: ITDP Brasil : Mobilizados, 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://mobilizados.org.br/>
- 27: Prefeitura de Fortaleza, Ciclofaixa de Lazer oferece 21 km de percurso seguro com atividades para toda a família, 2017.
- 28: Système public de vélos en libre-service – Bicycletar. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.bicycletar.com.br/>
- 29: Système de partage de vélos – Bicicleta Integrada. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.bicicletaintegrada.com/>
- 30: Quintanilha, Wendy Fernandes Lavigne : Método Para Avaliação Ex Post dos Níveis de Concentração de Poluentes Provenientes de Corredores de Transporte, 2020. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/56571>
- 31: Colin P. Green, John S. Heywood, Maria Navarro Paniagua : Did the London congestion charge reduce pollution?, 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166046220302581>
- 32: Sean D. Beevers, David C. Carslaw : The impact of congestion charging on vehicle emissions in London, 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231005007259>

33 : Krishnamurthy, C.K.B., Ngo, N.S., The effects of smart parking on transit and traffic: Evidence from SFpark, 2019. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0095069619301664>

34 : BID : Practical Guidebook: Parking and Travel Demand Management Policies in Latin America, 2013. Disponible à l'adresse suivante : <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Practical-Guidebook-Parking-and-Travel-Demand-Management-Policies-in-Latin-America.pdf>

35 : Source : WRI : DOTS nos Planos Diretores: Guia para inclusão do Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável no Planejamento Urbano, 2018. Disponible à l'adresse suivante : <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes/dots-nos-planos-diretores>

36 : Agence de contrôle environnemental de l'État de São Paulo – Cetesb : Source : <https://cetesb.sp.gov.br/ar/>

37 : Impact of Air Pollution at Different Life Stages. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.vitalstrategies.org/wp-content/uploads/import/2018/07/Vital-Strategies-Air-Pollution-Evidence-Brief-Indonesia.pdf>

