

Les émissions atmosphériques des

centrales électriques

nord-américaines



cec.org

3. Les centrales aux combustibles fossiles : information de base

3.1 Technologies de production d'électricité à partir de combustibles fossiles

D'une façon générale, l'électricité produite à partir d'un combustible fossile est générée par la combustion de celui-ci en présence de l'oxygène contenu dans l'air. Ce processus permet un dégagement de l'énergie contenue dans le combustible sous forme de chaleur et produit des gaz très chauds. L'énergie ainsi libérée peut être utilisée de deux façons. Dans les moteurs à combustion interne, les gaz de combustion chauds sont comprimés, puis utilisés pour entraîner directement le générateur d'électricité et l'équipement auxiliaire [15, 16, 36, 37]. L'autre méthode consiste à utiliser les gaz chauds pour chauffer de l'eau et produire de la vapeur à température et à pression élevées. La vapeur ainsi produite actionne une turbine ou un groupe électrogène de façon à produire de l'électricité. Dans ce cas, on dit que la combustion est externe.

3.1.1 Production classique à l'aide de vapeur

Les turbines à vapeur, les unités de production à vapeur et les unités de production thermique sont des systèmes à combustion externe lorsqu'ils utilisent des combustibles fossiles pour produire la vapeur. Le rendement thermique des unités à vapeur est d'environ 35 %, ce qui signifie que 35 % de l'énergie contenue dans le combustible est transformée en électricité. La proportion restante de 65 % de cette énergie est soit perdue par la cheminée (environ 10 %), soit évacuée avec l'eau de refroidissement du condenseur (en général, 55 %). La taille des unités de production par turbine à vapeur alimentées aux combustibles fossiles va de 1 à plus de 1 000 mégawatts. Normalement, les installations de ce genre ont une vie utile de plusieurs décennies, et des unités de production à vapeur plus efficaces ne sont utilisées que dans les centrales plus récentes.

3.1.2 Turbines à combustion

Les unités à combustion interne comprennent les turbines à gaz fixes, également appelées turbines à combustion, et les moteurs à combustion interne à mouvement alternatif. Ces unités ont généralement une taille inférieure à 100 mégawatts et elles sont considérées comme moins efficaces que les turbines à vapeur. Cependant, puisque les générateurs à turbine à gaz n'ont pas besoin de chaudière ni d'apport de vapeur ou de condenseur, le coût des investissements est beaucoup plus bas pour une unité à turbine à gaz que pour une unité à vapeur. Les unités à turbine à gaz ont un temps de démarrage rapide comparativement aux unités à turbine à vapeur et, en raison de leur relativement petite taille, elles peuvent être installées dans divers sites; elles se prêtent donc bien à la production pendant les périodes de pointe, lorsque la demande dépasse la puissance installée des grandes centrales électriques, de même qu'en cas d'urgence ou pour répondre à des besoins d'énergie de réserve. Les gaz d'échappement d'une turbine qui sont rejetés dans l'atmosphère contiennent une quantité importante de chaleur. Les turbines à gaz sont principalement utilisées dans les centrales dites à cycle mixte.

3.1.3 Unités à cycle mixte

Dans une unité à cycle mixte, une turbine à gaz est tout d'abord utilisée pour produire de l'électricité. Les gaz d'échappement chauds de la turbine servent ensuite à fournir la totalité ou une partie de la chaleur requise par la chaudière qui produit de la vapeur; puis, cette vapeur actionne une turbine génératrice à vapeur qui produit une quantité additionnelle d'électricité. Cette méthode est plus efficace que l'utilisation isolée des turbines à combustion ou des unités de production à vapeur. Le rendement thermique des unités à cycle mixte est d'environ 50 %. Dans ces unités, de multiples turbines à gaz peuvent être utilisées pour alimenter une turbine à vapeur.

3.1.4 Cogénération

Les unités de cogénération, aussi appelées unités de production combinée de chaleur et d'électricité, utilisent la chaleur pour produire de l'électricité ou pour d'autres applications thermiques sur place. La cogénération est le moyen le plus efficace d'employer l'énergie, car elle permet de récupérer l'énergie thermique afin de s'en servir pour fournir des services (par exemple, chauffer des locaux) ou pour d'autres procédés industriels tels que la production de vapeur. Le rendement thermique de ce procédé peut atteindre jusqu'à 75 % de l'énergie utilisée comme matière première.

3.2 Combustibles fossiles servant à la production d'électricité

Le choix de la technologie à adopter et du type de centrale à aménager dépend de nombreux facteurs tels que l'utilisation à laquelle la centrale est destinée, la capacité requise et la disponibilité des combustibles. Le combustible est l'un des éléments les plus importants dont il faut tenir compte, également, sous l'angle des émissions de polluants atmosphériques. Le **tableau 3.1** indique les combustibles les plus couramment utilisés selon le type de centrale.

La **figure 3.1** illustre la proportion relative de polluants émis par chaque type de combustible fossile. Dans cette figure, le charbon est employé comme valeur de référence; par conséquent, pour chaque polluant, une valeur de 100 % est attribuée aux émissions causées par la combustion du charbon. Le gaz naturel est considéré comme étant le plus « propre » des trois types de combustibles fossiles en raison des émissions considérablement moindres qu'il engendre en amont de l'équipement d'épuration post-combustion. Les émissions de NO_x dépendent grandement de la configuration d'allumage, du type de brûleur, de la température de la flamme et, dans une certaine mesure, de

Tableau 3.1 Combustibles utilisés selon le type de centrale

Type de centrale	Combustibles
Vapeur	Mazout résiduel/charbon/gaz naturel
Cycle mixte	Gaz naturel
Turbine	Gaz naturel/diesel
Double service	Charbon/mazout résiduel
Combustion interne	Diesel
Nucléaire	Uranium

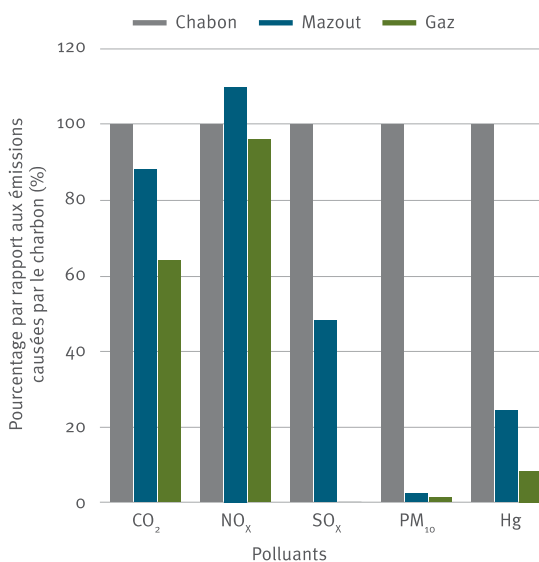
la teneur du combustible en azote, bien que des NO_x se forment même lorsque le combustible ne contient pas d'azote.

Outre les polluants indiqués à la **figure 3.1**, les centrales aux combustibles fossiles émettent d'autres polluants tels que des composés organiques, ce qui comprend les composés organiques volatils (COV), les composés organiques semi-volatils et les composés organiques condensables. Elles émettent aussi certains composés métalliques (seul le mercure est étudié dans le présent rapport), des gaz à effet de serre autres que le CO_2 tels que le méthane et l'oxyde nitreux, et certains composés halogénés.

3.2.1 Charbon

Le charbon est le combustible fossile le plus fréquemment employé pour produire de l'électricité; sa composition est une combinaison complexe de composés organiques et de matières minérales inorganiques. Le charbon est de la matière végétale fossilisée qui a été préservée parce qu'elle a été enfouie dans des sédiments et transformée par des forces géologiques qui l'ont compactée et condensée en des roches riches en carbone. On a avancé que la formation du char-

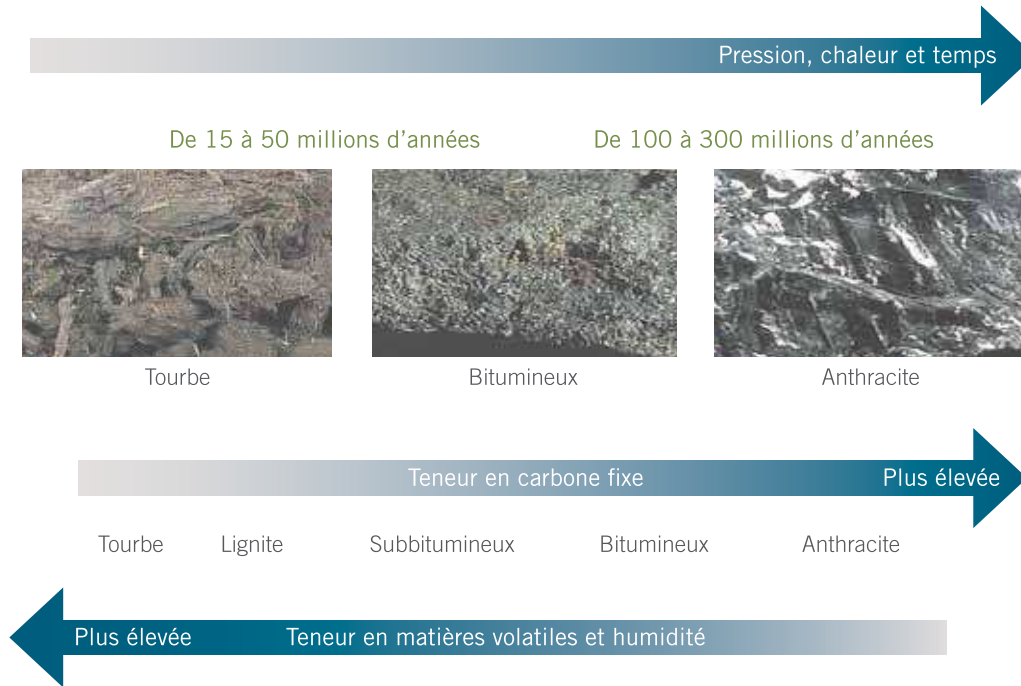
Figure 3.1 Émissions de polluants attribuables à la production d'électricité, selon le type de combustible fossile



OPTIONS : Les combustibles utilisés sont le charbon subbitumineux, le mazout résiduel n° 6 à faible teneur en soufre, ou le gaz naturel. Émissions brutes avant épuration des grandes centrales à chaudière chauffée par les parois (>100MBTU/h). Données tirées de: AP-42, chapitre 1, sections 1 (9/98), 3 (9/98) et 4 (7/98). Les émissions produites par la combustion du charbon sont utilisées comme valeur de référence.

Figure 3.2 Évolution naturelle du charbon au fil du temps

Le charbon est un combustible fossile solide. C'est une roche sédimentaire surtout composée de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Il se forme sur des millions d'années à partir de matière végétale morte, le plus souvent emprisonnée entre d'autres strates, et transformée avec le temps sous l'effet de la pression et de la chaleur.



bon pourrait remonter à l'ère précambrienne, mais la majeure partie du charbon s'est formée à partir de matières organiques qui se sont déposées à l'époque carbonifère, il y a 286 à 360 millions d'années, lorsque le climat de la Terre était plus chaud et plus humide. Le charbon est considéré comme une source d'énergie non renouvelable parce qu'il met énormément de temps à se former [16, 47,48].

Le charbon est classé en divers types d'après son stade de formation. Cette classification comporte cinq catégories: la tourbe, le lignite, le charbon subbitumineux, le charbon bitumineux et l'anthracite (**figure 3.2**). Les charbons plus jeunes comme le lignite et les charbons subbitumineux sont plus faciles à brûler parce qu'ils contiennent une plus grande quantité de composés volatils qui se transforment en gaz lorsqu'ils sont chauffés. À l'opposé, les charbons plus vieux sont plus difficiles à brûler parce qu'ils se composent presque en totalité de carbone à l'état solide. Cependant, l'anthracite était préféré au charbon bitumineux dans le passé parce que sa combustion produit

moins de fumée et de cendres — et est plus efficace sous l'angle du nombre d'unités de chaleur produites par unité de masse.

Les émissions causées par la combustion du charbon dépendent beaucoup de la catégorie de celui-ci et de sa composition. Les polluants émis par cette combustion comprennent des gaz à effet de serre (surtout du CO₂), des particules (notamment des cendres et du carbone imbrûlé attribuable à une combustion incomplète), des oxydes d'azote et des oxydes de soufre. Les autres émissions produites par les centrales au charbon sont le monoxyde de carbone, des composés d'hydrocarbures imbrûlés, certaines substances cancérigènes comme les dioxines et les furanes et des métaux à l'état de traces (p.ex., plomb et mercure).

3.2.2 Mazout

Le mazout est tiré du pétrole brut; c'est le combustible liquide le plus fréquemment utilisé pour la production d'électricité. Le mazout léger et le mazout résiduel sont les deux principales catégories de ce type de combus-

tible. Le mazout est classé par numéros de catégorie, les n°s 1 et 2 étant des mazouts légers et les n°s 5 et 6, des mazouts (lourds) résiduels. (comme ceux qui sont préchauffés et brûlés dans les centrales) Le mazout mexicain appelé *combustóleo* a des caractéristiques analogues au mazout résiduel n° 6 [46-48].

Les mazouts légers contiennent moins de 0,3 % de soufre (selon le poids), ils sont moins volatils et moins visqueux que les mazouts résiduels, et ils ont une teneur négligeable en azote et en cendres. Ils sont couramment utilisés pour des applications domestiques et de petites applications commerciales; ce groupe comprend le kérosène et le diesel. Les mazouts résiduels, eux, sont extrêmement visqueux et il peut être nécessaire de les chauffer pour pouvoir les manipuler plus facilement et les utiliser adéquatement à des fins de combustion. Ils comprennent d'importantes quantités de cendres, de soufre et d'azote et ils sont principalement utilisés pour des applications industrielles et de grosses applications commerciales.

En raison de leurs différences sur le plan de la composition et des caractéristiques de combustion, les mazouts légers et les mazouts résiduels produisent des émissions différentes lorsqu'ils sont brûlés. Par exemple, les mazouts légers émettent moins de particules que les mazouts résiduels. Par ailleurs, le mazout lourd n° 6 a généralement une teneur plus élevée en soufre et, comme les émissions d'oxydes de soufre sont directement liées à la teneur en soufre du combustible, les émissions de ce type de mazout lourd sont plus polluantes que celles des mazouts légers.

Les autres polluants produits lors de la combustion du mazout sont les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone, des gaz à effet de serre, des composés volatils (tels que des hydrocarbures imbrûlés) et des métaux toxiques à l'état de traces.

3.2.3 Gaz naturel

Après le charbon et le mazout, le gaz naturel est le troisième type de combustible le plus fréquemment utilisé pour la production d'électricité. Il est principalement composé de méthane (dans une proportion de 85 % à 90 %); il contient aussi du propane, de l'éthane, du butane, certains gaz inertes comme de l'azote, de l'hélium et du dioxyde de carbone, ainsi que des quantités à l'état de traces d'autres gaz. Le gaz naturel est la source d'énergie qui connaît la croissance la plus rapide à l'échelle mondiale et il est considéré comme étant le combustible fossile le plus propre. Les principaux polluants atmosphériques produits par les pro-

ducs de combustion du gaz naturel sont les oxydes d'azote et des gaz à effet de serre (surtout du CO₂). Les autres émissions attribuables au gaz naturel sont de petites quantités de particules, des oxydes de soufre et des métaux à l'état de traces. En brûlant, le gaz naturel ne produit que la moitié du CO₂ émis par une quantité équivalente de charbon (produisant la même quantité d'énergie thermique); par conséquent, si le charbon était remplacé par ce combustible plus propre, il serait possible d'obtenir une réduction des émissions. Toutefois, ce remplacement est parfois irréalisable pour des raisons économiques et/ou stratégiques [46-48].

3.3 Émissions de polluants

Comme cela a été mentionné plus haut, selon le type de combustible utilisé, les polluants produits par les centrales peuvent comprendre les suivants: le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), le mercure (Hg), les particules (comprenant les PM₁₀ et les PM_{2,5}), ainsi que des gaz à effet de serre tels que le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O) et le dioxyde de carbone (CO₂). D'autres composés tels que les composés organiques volatils (COV) et des métaux à l'état de traces sont également rejetés dans l'air. Afin de donner une idée de l'ordre de grandeur des quantités de polluants émises lors de la production d'électricité, le **tableau 3.2** présente les taux d'émission moyens de CO₂, de SO₂ et de NO_x pour des unités de production d'électricité utilisant différents combustibles fossiles. Les taux d'émission de particules varient énormément, particulièrement dans le cas du mazout et du charbon; ils dépendent beaucoup de la quantité de cendres produites par la combustion. Les sections qui suivent contiennent de brèves descriptions des polluants étudiés dans le présent rapport.

La plupart des polluants atmosphériques sont produits lors de la combustion, peu importe le type de combustible utilisé. Cependant, la quantité et les caractéristiques de chaque polluant dépendent beaucoup du type de combustible. Par exemple, les particules produites par la

Tableau 3.2 Taux d'émission caractéristiques de différents combustibles [49]

Polluant	Taux d'émission (kg/MWh)		
	Charbon	Mazout	Gaz
CO ₂	1 021,04	759,09	515,29
SO ₂	5,90	5,45	0,05
NO _x	2,72	1,82	0,77

combustion du charbon sont plus grosses et contiennent davantage de carbone organique et élémentaire que les particules émises par le mazout. La combustion du charbon cause l'émission de certains éléments métalliques qui sont des polluants toxiques, comme le plomb et le mercure; la combustion du mazout, pour sa part, engendre des émissions de vanadium et de plomb, mais ne génère presque pas d'émissions de mercure. Le gaz naturel est le combustible fossile le plus propre de tous; il entraîne surtout des émissions de NO_x et de CO_2 , et des émissions de très faibles quantités d'autres polluants.

Le **tableau 3.3** présente les principaux effets sur la santé et sur l'environnement de certains des polluants émis par les centrales.

3.3.1 Oxydes de soufre

Les principales sources des composés sulfurés présents dans l'air sont anthropiques, et la forme prédominante de ces composés est le dioxyde de soufre (SO_2). Les émissions d'oxydes de soufre sont principalement attribuables à la combustion, laquelle engendre une oxydation du soufre contenu dans le combustible; ainsi, les émissions d'oxydes de soufre dépendent presque exclusivement de la teneur en soufre du combustible, et non de la taille de la chaudière, de la conception des brûleurs ou du degré d'affinage du combustible. Dans les systèmes de combustion, environ 95 % du soufre présent dans le combustible est transformé en dioxyde de soufre (SO_2), une proportion de 1 % à 5 % subit une oxydation additionnelle formant du trioxyde de soufre (SO_3), et une proportion de 1 % à 3 % est émise sous forme de particules de sulfate.

Le SO_2 est un gaz incolore et corrosif; il a des effets très néfastes sur les plantes, les animaux et les humains et, même, sur les composantes inertes du milieu. Dans l'air, il peut subir une oxydation additionnelle et former du SO_3 , qui réagit avec la vapeur d'eau pour produire de l'acide sulfurique (H_2SO_4), l'une des principales composantes des précipitations acides. En outre, l'anion sulfate (SO_4^-) peut être inhalé par les humains et causer de graves dommages aux poumons. Les particules de sulfate contribuent à la réduction de la visibilité et modifient l'albédo de la Terre, c'est-à-dire le bilan radiatif de la planète, ce qui a des répercussions sur le climat [46–48].

3.3.2 Oxydes d'azote

Les procédés de combustion sont la principale source anthropique des oxydes d'azote. Ces oxydes peuvent se former lors de la combustion, à partir de l'azote contenu dans le combustible ou de l'azote présent dans l'air. Dans la plupart des systèmes de combustion externe alimentés aux combustibles fossiles, environ 95 % des oxydes d'azote émis sont sous forme de monoxyde d'azote (NO), les 5 % restants étant du dioxyde d'azote (NO_2). Le NO émis subit une oxydation additionnelle dans l'atmosphère pour produire du NO_2 . Le symbole NO_x représente la somme du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO_2), exprimée en NO_2 . Le NO_2 est un gaz fortement réactif dont la couleur donne au smog photochimique sa couleur brun rougeâtre caractéristique. En outre, ces oxydes réagissent avec l'eau pour produire de l'acide nitrique (HNO_3), qui,

Tableau 3.3 Principaux effets sur la santé et sur l'environnement des plus importants polluants émis par les centrales

Oxydes d'azote		Dioxyde de soufre	Mercure	Dioxyde de carbone
Composants de l'ozone de la basse atmosphère et du smog		Principal précurseur des fines particules de suie	Les humains sont principalement affectés en consommant du poisson contaminé	Contribue au réchauffement de la planète et aux changements climatiques
Contribuent à la mort et aux graves maladies respiratoires, et aggravent les maladies cardiovasculaires existantes			Dommages au système nerveux, aux fonctions cérébrales, à l'ADN et aux chromosomes, réactions allergiques, effets néfastes sur la reproduction	
Réagissent pour acidifier les eaux de surface et tuer des poissons et d'autres éléments du biote, y compris les arbres et les organismes du sol			L'ingestion de mercure par consommation d'animaux contaminés peut endommager les reins et l'intestin et altérer l'ADN	
Accélèrent l'altération atmosphérique des monuments, des bâtiments et des structures métalliques			Le huard, l'aigle, la loutre, le vison, le martin-pêcheur et le balbuzard sont des consommateurs de poissons et sont gravement affectés par l'exposition au mercure en raison de l'accumulation de celui-ci le long de la chaîne alimentaire	
Contribuent à la réduction de la visibilité (brouillard régional)				

de concert avec l'acide sulfurique, crée les précipitations acides. Un autre effet néfaste des oxydes d'azote est causé par les retombées atmosphériques de l'azote sous forme de nitrates et de nitrites dérivés du NO_x , qui engendrent l'eutrophisation des eaux intérieures et des mers littorales [46-48].

3.3.3 Mercure

Le mercure est un métal-trace qui est une substance toxique, biocumulative et persistante (STBP) connue; il est naturellement présent dans le charbon à de très faibles concentrations. La combustion de charbon est considérée comme la principale source anthropique de ce polluant dans l'atmosphère. Selon les données du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) [49], la combustion de charbon dans les centrales électriques, les chaudières industrielles, les chaudières domestiques, les appareils de chauffage et les poêles a produit des émissions de mercure d'environ 888 t, soit 46 % des émissions anthropiques totales à l'échelle mondiale, en 2005. Les centrales alimentées au charbon sont l'une des plus importantes sources de mercure en raison de la grande quantité de charbon qu'elles brûlent pour produire de l'électricité. Par exemple, en 2005, environ la moitié des émissions anthropiques de mercure aux États-Unis provenait de ces centrales; ces émissions représentent environ 52,4 t/an [52].

La majeure partie du mercure présent dans l'atmosphère est sous forme de vapeur de mercure élémentaire; toutefois, dans l'eau, le sol, les sédiments ou le biote, on trouve tant des formes organiques qu'inorganiques de ce métal. La vapeur de mercure élémentaire est relativement insoluble et non réactive; c'est pourquoi elle peut demeurer en suspension dans l'air et être transportée par les courants atmosphériques sur de grandes distances pendant de très longues périodes — jusqu'à quelques années — avant de se déposer sur le sol ou dans les eaux de surface. Une fois le mercure déposé, des microbes peuvent le transformer en une forme organique (le méthylmercure) qui peut être absorbée par d'autres organismes et s'accumuler le long de la chaîne alimentaire. Le mercure a de nombreux graves effets sur l'environnement et sur la santé humaine. Par exemple, la pollution par le mercure est la cause la plus courante de la contamination des poissons dans les rivières et les lacs aux États-Unis, et de nombreux États américains ont publié des

avis de non-consommation du poisson provenant de ces plans d'eau. L'ingestion de mercure par consommation de poisson contaminé peut entraîner l'altération du développement neurologique chez les fœtus, les nourrissons et les enfants. Chez les adultes, elle peut causer des dommages neurologiques [53]. Les *National Institutes of Health* (NIH, Instituts nationaux de la santé) des États-Unis estiment qu'une femme sur 12, dans ce pays, a des concentrations sanguines de mercure qui dépassent la quantité considérée comme sûre par l'EPA. Selon les estimations des NIH, les troubles de santé causés par le mercure engendrent des coûts de près de 9 milliards de dollars américains par année en frais médicaux additionnels et en perte de productivité sur le marché du travail [47, 54].

3.3.4 Particules

Les particules (PM) consistent en un large éventail de matières en phase solide ou liquide dont la taille va de moins de 1 nanomètre à 100 micromètres et qui peuvent avoir une composition chimique complexe. Parmi leurs éléments constitutifs, on compte les nitrates, les sulfates, les métaux, les composés organiques, les particules de sol, le pollen, la suie, etc. Les PM sont classées selon diverses valeurs de mesure, dont les plus courantes sont les PM_{10} et les $\text{PM}_{2,5}$, correspondant aux particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 et à 2,5 micromètres, respectivement. Les sources de particules sont très nombreuses; la combustion dans des installations fixes (telles que les centrales électriques) est l'une des plus importantes de ces sources, de concert avec le transport routier. Les sources de combustion fixes comprennent des installations consacrées à des activités industrielles telles que la sidérurgie, de même que les appareils de chauffage domestiques et les centrales électriques. Les émissions de PM causées par les combustibles solides (comme le charbon) sont, en général, plus grosses que celles attribuables aux combustibles liquides, et les PM produites par les combustibles liquides sont plus grosses que celles engendrées par la combustion du gaz naturel. Toutefois, en général, les particules produites par la combustion ont un diamètre inférieur à 1 micromètre.

Parmi les répercussions environnementales des émissions de particules, on compte la réduction de la visibilité, les précipitations acides et les dommages et taches causés aux matériaux (statues et monuments).

Les retombées de particules peuvent aussi contribuer à l'acidification des lacs et des cours d'eau, modifier le bilan de substances nutritives dans les plans d'eau et les sols et porter atteinte aux forêts et aux cultures [55].

Les PM peuvent causer de graves troubles de santé chez les humains, particulièrement celles dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres, car elles peuvent se loger très profondément dans les poumons lorsqu'elles sont inhalées et elles peuvent même pénétrer dans la circulation sanguine. Les effets les plus courants des particules sur la santé sont des symptômes respiratoires tels que l'irritation des voies respiratoires, la toux, la difficulté à respirer, la diminution de la capacité respiratoire, l'asthme, la bronchite chronique et le décès prématuré [55].

3.3.5 Gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre (GES) sont des gaz qui retiennent la chaleur dans l'atmosphère; cela permet à la surface de la Terre de conserver une température moyenne d'environ 15°C. Sans cet « effet de serre » naturel, la température ambiante moyenne serait d'environ 33°C inférieure à ce qu'elle est actuellement, ce qui rendrait impossibles la plupart des formes de vie que nous connaissons aujourd'hui. Or, depuis la Révolution industrielle, les activités humaines ont entraîné l'ajout d'importantes quantités de GES dans l'atmosphère, ce qui a accentué l'effet de serre naturel. Cela occasionne une augmentation de la température planétaire moyenne, ce qui a de graves effets sur le climat.

Certains de ces gaz, tels que le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O), sont émis dans l'atmosphère par des processus naturels aussi bien que par des activités humaines; d'autres GES comme les chlorofluorocarbures (connus sous leur acronyme CFC) sont exclusivement issus des activités industrielles. Les principaux GES émis par les activités humaines, particulièrement l'utilisation des combustibles fossiles, sont le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde nitreux.

Les émissions de GES, peu importe le gaz, sont couramment calculées en émissions équivalentes de dioxyde de carbone. Cela permet de comparer la capacité de chaque GES d'emprisonner la chaleur dans l'atmosphère (potentiel de réchauffement du globe, ou PRG) à la capacité du CO_2 , qui est utilisé comme gaz de référence. On obtient l'équivalent de dioxyde de carbone pour un gaz en multipliant la quantité émise de ce gaz par son PRG.

Voici une brève description des principaux GES :

Le **dioxyde de carbone** (CO_2) est un gaz non toxique et inoffensif. L'augmentation régulière de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère, qui est préoccupante en raison de ses effets sur les changements climatiques, est principalement attribuable aux activités humaines. On a estimé que les concentrations atmosphériques planétaires de CO_2 en 2005 étaient de 35 % supérieures aux concentrations antérieures à la Révolution industrielle. La principale source de ce gaz est l'utilisation des combustibles fossiles (les centrales électriques sont à l'origine d'une proportion allant de 17 % à 40 % des émissions totales de CO_2); parmi les autres sources, on compte les feux de forêt et de brousse ainsi que les procédés de combustion utilisés pour produire les matières entrant dans la fabrication du ciment [48, 56-58].

Le **méthane** (CH_4) reste dans l'atmosphère pendant 9 à 15 ans et il est 21 fois plus efficace que le dioxyde de carbone pour ce qui est d'emprisonner la chaleur dans l'atmosphère. Tout comme le dioxyde de carbone, le méthane est émis dans l'atmosphère par divers processus naturels et anthropiques. Les sources naturelles comprennent les milieux humides, les termites, les océans, les feux de forêt, etc.; les principales sources anthropiques sont la consommation de combustibles fossiles, la fermentation intestinale, les décharges, les systèmes au gaz naturel, la production des combustibles fossiles, la culture du riz, la combustion de biomasse et la manutention des déchets. On estime que les sources naturelles sont à l'origine d'environ 37 % des émissions atmosphériques totales de méthane par année; par conséquent, les sources anthropiques sont les principales sources de rejet de ce gaz dans l'air.

L'**oxyde nitreux** (N_2O) est un gaz incolore qui a une odeur légèrement douceâtre et il est environ 310 fois plus efficace que le dioxyde de carbone pour ce qui est d'emprisonner la chaleur dans l'atmosphère. À l'instar du dioxyde de carbone et du méthane, l'oxyde nitreux est également émis par des sources naturelles et anthropiques, mais contrairement aux deux autres gaz, les sources naturelles sont à l'origine d'environ 64 % de ses émissions atmosphériques totales.