

Chronique d'une réduction des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) dans le secteur du raffinage

Par Franck CHEVALLIER

UFIP (Union française des industries pétrolières)

L'industrie pétrolière s'est engagée depuis longtemps pour améliorer la qualité de l'air, tant au niveau de ses plateformes industrielles de raffinage du pétrole qu'au niveau de la qualité de ses produits. Les industriels du raffinage ont ainsi déployé des efforts importants en termes techniques, organisationnels et économiques pour réduire à la fois leurs propres émissions atmosphériques et celles de leurs clients utilisateurs.

Le cas du dioxyde de soufre (SO₂) est un bel exemple de ces progrès qui ont vu les émissions du raffinage français diminuer de plus de 80 % en trente ans, alors que les traitements du pétrole brut ont évolué dans une proportion moindre. Des investissements très importants ont été engagés pour mettre en œuvre les meilleures techniques disponibles afin de réduire les émissions sur les sites industriels et, dans le même temps, pour fabriquer des carburants à très basse teneur en soufre d'une qualité toujours plus grande, qui permettent aux constructeurs automobiles le développement de technologies réduisant toujours plus les émissions des moteurs thermiques.

L'industrie du raffinage a également développé et utilise des outils de modélisation pour réaliser des études d'impact et des prévisions lors des épisodes de pollution associant une anticipation de la dispersion des fumées émises dans l'atmosphère avec les prévisions météorologiques.

Des effets positifs de ces efforts sur la qualité de l'air sont observables et les dépassements de la valeur limite de concentration dans l'air ambiant du dioxyde de soufre sont désormais très rares au niveau des sites industriels et des agglomérations.

Compte tenu de ces faibles niveaux d'émissions et de concentrations désormais atteints en France pour le dioxyde de soufre, toute mesure de réduction supplémentaire doit être précisément évaluée, car elle pourrait avoir des coûts de plus en plus élevés pour une efficacité et un bénéfice de plus en plus réduits.

Le raffinage français et la qualité de l'air

L'industrie pétrolière est un acteur engagé dans la protection de l'environnement et la qualité de l'air, tant au niveau de ses plateformes industrielles de raffinage du pétrole qu'au niveau de la qualité des produits nécessaires aux activités de la vie courante (chauffage, transports...) et ceux utilisés dans des processus industriels (pétrochimie, lubrifiants, revêtements routiers...).

Aujourd'hui, la France compte neuf raffineries, dont une aux Antilles, et une bioraffinerie de taille mondiale. Quatre raffineries sont intégrées à des sites pétrochimiques au cœur de bassins industriels.

Pour les industriels du raffinage, l'amélioration de la quali-

té de l'air est un enjeu majeur :

- Ils ont déployé des efforts importants pour réduire leurs émissions atmosphériques et les impacts de celles-ci. Les exemples de ces initiatives sont nombreux : développement de technologies innovantes, mise en œuvre des meilleures techniques disponibles, réalisation d'études d'impact à chaque nouveau projet...
- Localement, les raffineries contribuent à la surveillance de l'air au travers du dialogue et de la coopération avec les différentes parties prenantes, ainsi que du financement des associations de surveillance de la qualité de l'air agréées par l'État. Des moyens techniques et organisationnels sont également mis en œuvre afin d'anticiper et de réduire les émissions et les pics de pollution.

Ils ont ainsi contribué à l'amélioration de la qualité de l'air extérieur observée en France depuis plusieurs décennies⁽¹⁾. Le cas du dioxyde de soufre, développé dans cet article, est un exemple emblématique des progrès réalisés.

Les émissions du raffinage et le dioxyde de soufre (SO₂)

Le raffinage, au cours des opérations de transformation du pétrole brut en produits pétroliers finis, émet principalement dans l'atmosphère du dioxyde de soufre (SO₂), des oxydes d'azote (NO_x), des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et des particules (PM), qui viennent s'ajouter à des gaz à effet de serre liés à la combustion (CO₂).

Le secteur du raffinage contribue pour moins de 20 % aux émissions de SO₂ au niveau national, derrière l'industrie manufacturière. Et il reste un contributeur très minoritaire (moins de 2 %) pour les autres polluants comme l'indiquent les données du tableau suivant correspondant aux émissions nationales de l'année 2015⁽²⁾.

Émissions (kt/an)	Raffinage	France métropolitaine	Part Raffinage
SO ₂	30,1	153	19,7%
NO _x	10,8	835	1,3%
COVNM	7,3	623	1,2%
PM _{2,5}	0,3	165	0,2%

Tableau 1.

Les émissions de SO₂ du raffinage dépendent du soufre présent dans les pétroles bruts qui alimentent les raffineries (dans différentes proportions en fonction de leurs origines géographiques). Elles sont en constante réduction du fait de l'évolution des procédés mis en œuvre pour récupérer le soufre et réduire les émissions.

Ce soufre est présent dans les combustibles liquides et gazeux autoconsommés pour fournir l'énergie nécessaire aux procédés de raffinage, et sa présence dans les produits nécessite de désulfurer ceux-ci pour éliminer les émissions liées à leur usage et répondre aux spécifications réglementaires, normatives et commerciales. Au-delà de diminuer les émissions directes de SO₂ liées au soufre des combustibles, comme pour les fiouls marins ou industriels, le soufre doit aussi être extrait des carburants essences et diesel, car il empêche les systèmes de post-traitement catalytiques, installés sur les véhicules, de fonctionner correctement et suffisamment longtemps.

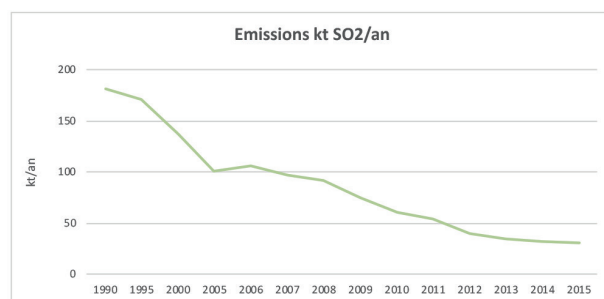
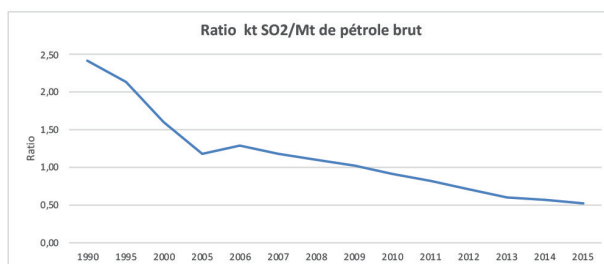
La contribution du raffinage à la baisse continue sur quarante ans des émissions de SO₂

Après un pic à la fin des années 1970, les émissions atmosphériques de SO₂ ont été réduites continuellement et

très significativement sur le territoire national sous l'effet de la diminution des consommations d'énergies fossiles liée à la mise en œuvre du programme électronucléaire, à la mise en place d'actions d'économie d'énergie et des progrès réalisés par les industriels dans leurs procédés, ainsi que de l'usage de combustibles moins soufrés et de l'amélioration du rendement énergétique des installations.

À ces réductions, sont venues s'ajouter diverses dispositions réglementaires sur la teneur en soufre des combustibles et carburants, renforçant la baisse constatée au niveau national.

Le raffinage y a largement contribué. Les inventaires établis régulièrement par le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA) montrent la chute très importante des émissions depuis plusieurs décennies. S'agissant du SO₂, les émissions ont diminué de 152 kt entre 1990 et 2015, soit une baisse de 83 %, bien plus forte que celle des traitements du pétrole brut (24 %). Le ratio émissions de SO₂ par tonne de pétrole brut traité⁽³⁾ a donc également baissé (voir les Figures 1 et 2 ci-dessous).



Figures 1 et 2.

Cette trajectoire vertueuse de baisse des émissions de SO₂ du raffinage a concerné les installations de combustion qui apportent l'énergie nécessaire au fonctionnement des procédés de raffinage (fours, chaudières, turbines...) et les unités techniques de procédés comme les craqueurs catalytiques en lit fluidisé servant à fabriquer des essences ou les unités d'extraction et de récupération du soufre contenu dans les produits (unités d'hydrodésulfuration et usines à soufre). Elle s'explique notamment :

- par la baisse de la teneur en soufre des combustibles liquides autoconsommés et par une moindre utilisation des fiouls lourds au profit du gaz naturel ;
- par la mise en œuvre des meilleures techniques dispo-

(1) CGDD (2018), « Bilan de la qualité de l'air en France en 2017 », octobre.

(2) CITEPA (2017), rapport SECTEN, avril.

(3) Source : UFIP-CPDP.

nibles (MTD) dans les unités de combustion et de fabrication, et cela avant que la directive sur les émissions industrielles, dite IED⁽⁴⁾, ne l'impose pour le raffinage à la fin 2018 avec l'application des conclusions sur les MTD parues en octobre 2014 ;

- par la mise en place d'actions d'économie d'énergie et par l'amélioration du rendement énergétique des installations.

Dans leur phase d'utilisation, les produits du raffinage contribuent à la réduction des émissions : exemple du transport

En éliminant le soufre des carburants essences (divisé par 200) et carburants gazoles (divisé par 100), le raffinage a également contribué très largement à lutter contre la pollution de l'air en réduisant les émissions du transport routier⁽⁵⁾, comme illustré dans le tableau suivant :

Émissions du transport routier (kt/an)	1990	2010	2016 (estimé)
SO ₂	143	0,8	0,8
NO _x	1224	582	453
PM _{2,5}	70	41	26

Tableau 2.

La teneur en soufre des essences et des gazoles est limitée à 10 ppm en France et en Europe depuis 2009. À titre de comparaison, cette norme sera étendue à la Chine, l'Inde et les États-Unis seulement au cours de la prochaine décennie.

Le raffinage français et européen a par ailleurs agi avec force pour l'abaissement d'autres composés présents dans les carburants, comme les composés aromatiques, les oléfines, le benzène, le manganèse et le plomb.

L'industrie pétrolière française développe ainsi des carburants de qualité toujours plus élevée, qui permettent aux constructeurs automobiles le développement de technologies permettant de réduire considérablement les émissions des moteurs thermiques de dernière génération. De nombreux produits premium proposés dans les stations-service reposant sur des additifs de haute technologie (détergence, performance...) réduisent les consommations et contribuent également à restreindre les émissions.

D'importants investissements ont été mis en œuvre

Pour atteindre ces performances sur les émissions de SO₂, les raffineries ont mis en œuvre les meilleures techniques disponibles adaptées à leurs effluents et procédés fonctionnant en marche continue. L'aspect coûts vs efficacité environnementale est aussi pris en compte dans les choix d'investissement retenus.

Pour la baisse des émissions de SO₂, on peut mentionner entre autres :

- les mesures en faveur de l'efficacité énergétique (échanges thermiques, combustion...);
- les améliorations dans l'organisation opérationnelle des sites industriels contribuant à préserver la qualité de l'air : par exemple, la gestion des opérations en cas d'épisodes de pollution ;
- le changement de combustibles avec le passage au gaz en substitution au fioul lourd ;
- l'augmentation des capacités associée à une amélioration de l'efficacité des unités d'extraction et de récupération du soufre des produits et effluents en contenant ;
- l'amélioration du lavage aux amines pour enlever le soufre des gaz de raffinerie autoconsommés ;
- l'usage d'additifs pour extraire le soufre des procédés catalytiques en lit fluidisé ;
- des stripeurs d'eau haute pression permettant une meilleure séparation des gaz contenant des composés soufrés, puis l'apport d'un traitement adapté ;
- la récupération et la purification de gaz torchés ou brûlés.

Pour réduire les émissions d'autres polluants comme les oxydes d'azote, les poussières et les composés organiques volatils, le raffinage a mis en œuvre d'autres solutions techniques comme des brûleurs bas-NOx, des procédés de dénitrification des fumées *via* les procédés catalytiques SCR⁽⁶⁾ sur les turbines ou non catalytiques SNCR⁽⁷⁾ sur les chaudières, des dépoussiéreurs par précipitateurs électrostatiques, des systèmes de détection systématique des émissions fugitives, des unités de récupération de vapeur..., et le recours aux meilleures techniques permettant de limiter les émissions sur les bacs de stockage (par exemple, des joints d'étanchéité plus performants).

Pour mettre en œuvre ces technologies et réduire les émissions atmosphériques, le raffinage français a investi, tous polluants confondus, plus de 500 millions d'euros, auxquels se rajoutent, pour chaque site, des frais opératoires de plusieurs millions d'euros par an. Le cas échéant, des surcoûts d'achats de pétrole brut à faible teneur en soufre sont nécessaires pour respecter les valeurs d'émissions autorisées par installation.

Ces investissements ont été en grande partie engagés avant 2010 (dans le cadre de l'arrêté ministériel Raffinage de juin 2005 et des plafonds d'émissions nationaux 2010 de la directive, dite NEC⁽⁸⁾). Après 2010 et pour tenir compte des incidences de la révision des permis d'exploiter (liée à la directive IED), les sites ont continué à investir et à mettre en œuvre les meilleures techniques disponibles, déjà largement en place, de manière ciblée, en recherchant toujours les baisses d'émissions les plus efficaces, c'est-à-dire à un coût (investissements + frais opératoires) en euros/tonne de polluant évitée le plus bas.

(4) Directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles.

(5) CITEPA (2017), rapport SECTEN, avril.

(6) SCR : Selective Catalytic Reduction.

(7) SNCR : Selective Non Catalytic Reduction.

(8) NECD : National Emission Ceiling Directive.

Pour ces deux grandes périodes, avant et après 2010, l'ordre de grandeur des coûts liés à la maîtrise des émissions atmosphériques de SO_2 est équivalent à plusieurs milliers d'euros/tonne évitées.

Pendant la période 2000-2010, le raffinage français a également massivement investi (1 milliard d'euros) pour produire des carburants à très basse teneur en soufre (10 ppm), qui ont largement contribué à l'amélioration de l'efficacité des moteurs et à une baisse drastique des polluants en sortie d'échappement. Il faut ajouter à ce chiffre un autre milliard d'euros d'investissements dans des capacités d'hydrocraquage qui consistent à convertir le fioul lourd en produits légers et à réduire ainsi considérablement les émissions liées à la combustion du fioul lourd.

Des conséquences positives pour la qualité de l'air observables

On constate que les concentrations moyennes annuelles pour le SO_2 , mesurées en fond urbain, ont été divisées par cinq depuis le début des années 2000 et que les dépassements de valeur limite de concentration dans l'air ambiant en moyenne horaire ou en moyenne journalière sont désormais très rares au niveau des sites industriels. Aucune agglomération n'a enregistré un dépassement des normes réglementaires de qualité de l'air pour le SO_2 en 2017⁽⁹⁾.

Prévoir et analyser les impacts pour optimiser les mesures

Le raffinage a développé et utilisé des outils de modélisation et de prévision

Les impacts sanitaires des émissions atmosphériques sont évalués dans le volet Santé des études d'impact. Les outils de modélisation permettent de calculer à l'échelle locale les concentrations et dépôts atmosphériques

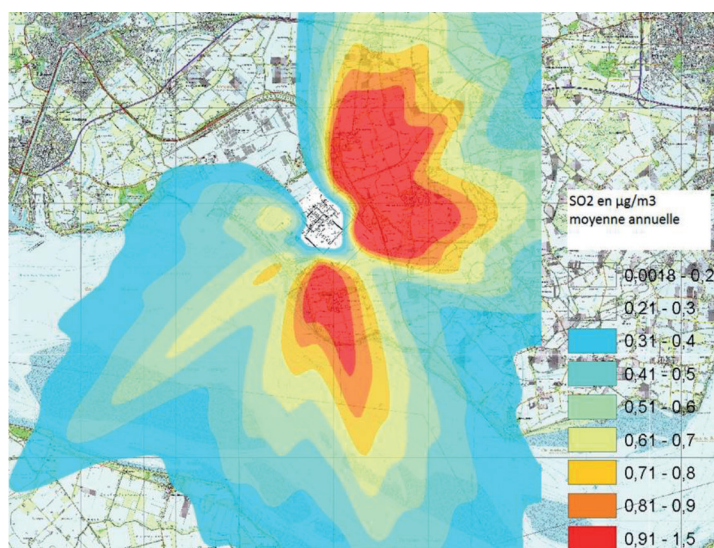


Figure 3 : Exemple de modélisation d'impact moyen annuel en SO_2 autour d'un site de raffinage en Europe.

(9) CGDD (2018), « Bilan de la qualité de l'air en France en 2017 », octobre.

résultant de la dispersion atmosphérique de différents polluants émis et de hiérarchiser les zones de retombées atmosphériques (concentrations) des émissions d'une installation en fonctionnement normal.

Les outils de modélisation utilisent en données d'entrée de leurs calculs, les paramètres d'émissions et leurs éventuelles variations, la direction et la force des vents, la pluviométrie et la stabilité de l'atmosphère locale, mais également la topographie, le bâti et l'occupation des sols. Ils sont un moyen de mieux estimer les impacts d'une activité, mais ils constituent aussi un moyen de tester les gains résultant de différents scénarios de réduction des émissions (puisque les émissions et concentrations ne sont pas linéaires) afin d'optimiser, en termes de coûts/efficacité, les mesures de progrès.

La France possède une expertise reconnue internationalement en matière de modélisation, à laquelle a contribué l'industrie du raffinage et dont elle se sert.

Des outils d'aide à la décision en cas de pics de pollution ont, par exemple, été développés spécifiquement pour anticiper et limiter les impacts de l'activité des sites de raffinage sur la qualité de l'air⁽¹⁰⁾. Le principe est d'associer un modèle de dispersion des fumées émises dans l'atmosphère avec des prévisions météorologiques pour prévoir, par simulation, l'impact environnemental d'une raffinerie en fonction de sa prévision de marche. Ces outils peuvent fonctionner 24h/24 et génèrent un indicateur du risque environnemental associé à une probabilité pour les jours à venir. L'innovation a été d'obtenir une prévision météorologique à fine échelle fiable qui permet à un site industriel d'anticiper des actions efficaces et adaptées pour réduire les risques d'impact. Les résultats se sont traduits par une nette diminution des dépassements des normes qualité de l'air pour le SO_2 à partir de la mise en œuvre de ces outils qui auront aussi contribué aux progrès constatés autour des sites industriels.

Au niveau national ou régional, des outils de modélisation sont également utilisés pour évaluer l'impact des mesures réglementaires. Par exemple, dans le cadre du Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA), les mesures prises ont fait l'objet d'analyses spécifiques pour évaluer leurs performances en regard de leurs coûts⁽¹¹⁾. Ces évaluations sont particulièrement nécessaires dans le contexte du SO_2 compte tenu des faibles niveaux d'émissions et de concentrations désormais atteints en France. En effet, il est souhaitable d'éviter que les coûts de réductions supplémentaires soient hors de proportion avec les bénéfices attendus.

(10) "An integrated tool to forecast and reduce refinery contribution to SO_2 pollution peaks", *International Journal of Environment and Pollution* 44(1/2/3/4), February 2011, pp. 115-121.

(11) https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/06-1_PREPA_Synthese_-_aide_a_la_decision_pour_l_elaboration_du_PREPA.pdf