

■ Bâtiments non résidentiels
Tél. 069/78 96 51
facilitateur.ure.batiment@icedd.be

■ Processus industriels
Tél. 0800/97 333
facilitateur.ure.process@ccilb.be
facilitateur.ure.process@3j-consult.com



La réduction des émissions de Nox est-elle compatible avec des mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique ?

L'appellation NO_x désigne de manière symbolique les oxydes d'azote qui sont émis lors de la combustion. Rappelons que le symbole chimique :

- N désigne l'azote (du latin Nitrogenium, en anglais Nitrogen);
- O désigne l'oxygène.

Il existe plusieurs oxydes d'azote, dont les plus courants sont :

- le protoxyde d'azote ou "gaz hilarant" : N₂O;
- le monoxyde d'azote : NO;
- de dioxyde d'azote : NO₂.

On voit que le "niveau" d'oxydation de l'azote est de :

- ½ O pour 1 N dans le N₂O;
- 1 O pour 1 N dans le NO;
- 2 O pour 1 N dans le NO₂.

En réalité, la combustion produit principalement du NO et accessoirement du NO₂. Le N₂O n'est pas produit par la combustion mais est important dans la mesure où il constitue l'un des principaux gaz à effet de serre.

L'appellation "NO_x" est donc réservée aux oxydes d'azote produits par la combustion. Tout se passe comme si le "x" de la formulation "NO_x" valait donc :

- x = 1 pour NO;
- x = 2 pour NO₂.

Le NO est instable dans l'atmosphère c'est-à-dire qu'il s'oxyde rapidement au contact de l'oxygène de l'air pour former du NO₂. Tout comme les oxydes de soufre, le NO et le NO₂ sont responsables des pluies acides. Ils réagissent en effet avec l'oxygène de l'air et l'eau pour former de l'acide nitrique : HNO₃. Le NO₂ est un gaz brun-orange dont la toxicité pour l'homme est mal définie. Il a une odeur âcre et piquante et il conduit à la formation d'acide nitrique dans les poumons (présence d'eau et d'oxygène). C'est l'une des odeurs caractéristiques des zones polluées par les moteurs diesel ou les moteurs de conception ancienne comme on en trouve sur les gros navires.

■ Bâtiments non résidentiels
Tél. 069/78 96 51
facilitateur.ure.batiment@icedd.be

■ Processus industriels
Tél. 0800/97 333
facilitateur.ure.process@ccilb.be
facilitateur.ure.process@3j-consult.com



Wallonie



FACILITATEUR
URE

On sait que la combustion est une réaction d'oxydation d'un combustible ou d'un carburant par l'oxygène. L'oxygène nécessaire à cette réaction provient le plus souvent de l'air ambiant. On dit que l'air est le comburant. Les combustibles sont des molécules constituées de carbone (C), d'hydrogène (H), d'oxygène (O), d'azote (N) et de soufre (S).

La combustion (l'oxydation du combustible) produit donc des fumées contenant :

- du gaz carbonique : CO_2 ;
- de la vapeur d'eau : H_2O ;
- l'azote de l'air : N_2 (la majeure partie, non oxydée);
- des oxydes d'azote : NO et NO_2 c'est-à-dire le "NOx" (marginale);

- du monoxyde de carbone : CO (si combustion incomplète);
- de la suie : C (éventuellement, si combustion incomplète);
- de l'oxygène : O_2 (s'il y a un excès d'air comburant);
- du dioxyde de soufre : SO_2 (s'il y a du soufre dans le combustible).

La formation des oxydes d'azote résulte principalement de la réaction à haute température entre l'azote et l'oxygène de l'air ("NOx thermique"). Les combustibles liquides et solides contenant de l'azote d'origine végétal, ce dernier contribue aussi à la formation des NOx ("fuel NOx"). Dans le cas du gaz naturel (principalement du méthane CH_4), il n'y a évidemment pas de "fuel NOx". On notera également que les radicaux libres CH présent dans la flamme contribuent à rompre les molécules d'azote N_2 et, par-là, à former les NOx ("prompt NOx").

De ces trois processus de formation du NOx, la voie du "NOx thermique" est la plus importante. Il s'agit là du fait qu'à haute température, l'azote de l'air a simplement tendance à s'oxyder "un peu" avec l'oxygène de l'air. Une manière concrète d'observer ce phénomène, est d'examiner des enregistrements d'émissions de NOx d'un four à gaz à haute température lorsque celui-ci déclenche. En effet, si en cours de fonctionnement les émissions sont maintenues par exemple entre 200 et 300 mg/Nm^3 , on verra qu'immédiatement après le déclenchement, les émissions dépassent 500 ... 600 mg/Nm^3 . Tant que le four est allumé, la majeure partie de l'oxygène de l'air réagit avec le combustible et il n'en reste que très peu pour former du NOx et, de plus, la pression dans le four étant maintenue, il n'y a que très peu d'entrées d'air parasite. Par contre, après déclenchement, la haute température des parois du four persiste quelques temps tandis que la pression dans la chambre du four n'est plus maintenue. L'air parasite, qui s'engouffre dans le four par tirage naturel, entre alors en contact avec des parois très chaudes et un pic de NOx survient pendant quelques minutes, le temps que la surface des parois refroidisse.

Les processus thermiques produisent donc du NO et du NO_2 que l'on dénomme les "NOx". On notera que dans les fumées la concentration en NO_2 représente généralement moins de 5% de celle en NO et que l'on peut donc souvent se contenter de mesurer la concentration en NO . Inversement, le NO s'oxyde rapidement en NO_2 , ce qui peut induire une erreur de mesure significative.

■ Bâtiments non résidentiels
Tél. 069/78 96 51
faciliteateur.ure.batiment@icedd.be

■ Processus industriels
Tél. 0800/97 333
faciliteateur.ure.process@ccilb.be
faciliteateur.ure.process@3j-consult.com



Comme le NO s'oxyde rapidement dans l'atmosphère pour former du NO₂, il est convenu de chiffrer le NO_x en mg de NO₂ par Nm³ (m³ "normal" soit 0°C et 1 atm.) et donc de convertir la concentration de NO mesurée en NO₂ équivalent après oxydation totale. Le coefficient de conversion de la masse de NO en masse NO₂ équivalent étant de 1.53 (le rapport des masses molaires), on peut donc écrire symboliquement :

$$\text{NO}_x \text{ en mg/Nm}^3 = (1.53 \times \text{mesure NO en mg/Nm}^3) + (\text{mesure NO}_2 \text{ en mg/Nm}^3).$$

Ainsi, une valeur limite d'émission ("VLE") exprimée, par exemple, comme ceci :

$$\text{NO}_x < 250 \text{ mg/Nm}^3$$

indique que l'ensemble des NO et des NO₂ présent dans les fumées exprimé en NO₂ équivalent suivant la formule ci-avant, ne doit pas dépasser 250 mg/Nm³.

D'autre part, les valeurs limites d'émissions ("VLE") de NO_x telles qu'elles figurent généralement dans les permis d'exploitation (permis uniques), sont données pour une concentration précise en oxygène dans les fumées. En effet, il serait trop facile de prétendre qu'une installation thermique n'émet que très peu de NO_x alors que l'excès d'air a été forcé vers le haut pour diluer les fumées et donc les NO_x. C'est pourquoi, les mesures sont toujours corrigées par calcul pour ramener les concentrations en NO_x à ce qu'elles auraient été si la concentration en oxygène des fumées avait été celle convenue et non celle mesurée. Par exemple, la mesure de 200 mg de NO_x par Nm³ de fumées dont la concentration en oxygène est de 8% fera l'objet d'une correction pour ramener cette valeur à ce qu'elle serait si les fumées ne contenaient que 3% d'oxygène. Dans ce cas précis, la correction conduit à une émission de $200 \times 1.39 = 278 \text{ mg/Nm}^3$. La teneur en oxygène conventionnelle varie d'un secteur à l'autre et d'un type de combustible à l'autre. Pour le gaz naturel, la teneur conventionnelle en oxygène est souvent fixée à 3%, c'est le cas de la directive européenne 2001/80/EC relative aux "Grandes Installations de Combustion" ("GIC", en anglais "LPC" pour "Large Combustion Plants").

D'une manière générale, la formation du NO_x est d'autant plus importante que l'azote et l'oxygène se rencontrent à plus haute température dans la flamme, et qu'il y a plus d'oxygène et d'azote en présence. Ainsi, toutes les techniques de réduction des NO_x à la source (techniques dites "primaires") consistent à réduire la température de la flamme par :

- l'adaptation de l'excès d'air;
- l'augmentation de la recirculation (diluer la flamme par les fumées);
- l'étagement l'injection de l'air et/ou du combustible dans le brûleur.

■ Bâtiments non résidentiels
Tél. 069/78 96 51
faciliteateur.ure.batiment@icedd.be

■ Processus industriels
Tél. 0800/97 333
faciliteateur.ure.process@ccilb.be
faciliteateur.ure.process@3j-consult.com



Concernant l'excès d'air, deux tendances s'opposent :

- réduire l'excès d'air a pour effet de réduire l'oxygène disponible pour l'oxydation de l'azote et donc la formation des NOx;
- augmenter l'excès d'air a pour effet de réduire la température maximum de la flamme ce qui ralentit la cinétique de formation des NOx.

L'effet d'une modification de l'excès d'air sur les émissions de NOx dépendra donc de la concentration en oxygène dans les gaz comburés, avant cette modification :

- si la teneur en oxygène est déjà très faible, le fait de réduire l'excès d'air supprime le peu d'oxygène résiduel disponible pour la formation des NOx (mais attention au risque de production de CO);
- par contre, si la teneur en oxygène est déjà significative, l'augmentation de l'excès d'air a pour effet de diluer la flamme par l'air en excès et donc d'en réduire la température ce qui entraîne une réduction des NOx (mais augmenter l'excès d'air se fait au détriment du rendement de combustion).

Les techniques de recirculation et d'étagement sont mises en œuvre dans ce qu'on appelle communément les brûleurs "bas-NOx". On notera au passage que la récupération de la chaleur des fumées pour le préchauffage de l'air comburant induit une augmentation de la température de flamme. Une action de réduction de la consommation entraîne donc en principe une augmentation des émissions de NOx. La mise en œuvre de brûleurs bas-NOx en combinaison avec la récupération permet de compenser cet effet négatif. Poussé à l'extrême, les techniques d'augmentation de la recirculation et de l'étagement ont conduit au concept de "combustion sans flamme". Il s'agit de créer dans un four à haute température des conditions d'étagement et de recirculation telles que la "flamme" occupe une bonne partie du volume du foyer et n'est plus identifiable à l'œil nu. Dans ce cas, même avec de l'air comburant très chaud (500 ... 900°C) les émissions de NOx restent contenues.

J. Michotte & JBVerbeke, Février 2013

Afin de pouvoir prendre du recul sur vos installations et connaître les principales données auxquelles votre entreprise doit être sensibilisée en matière d'énergie, n'hésitez pas à faire appel aux services des facilitateurs URE process. Ils sont gratuits et peuvent rapporter gros !

Pour les contacter, rien de plus simple, formez gratuitement le 0800/97.333

Ou envoyez leur un mail via à l'adresse : faciliteateur.ure.process@3j-consult.com