

DIMENSIONNEMENT VENTILATION TENTES – PRISE EN COMPTE CO / NOX

SUEZ RR IWS REMEDIATION France

POLLUTEC 2021



Principes généraux

Ventilation = EPC (Equipement Protection Collective) → A privilégier en matière de sécurité avant EPI (Equipement Protection Individuelle)

Ventilation réussie = couple EPI/EPC en adéquation + système technico-économiquement acceptable

Dimensionnement sur la base du débit d'extraction → taux de renouvellement peu impactant → étude en dynamique stable de la pollution et gaz émis

Paramètres & hypothèses



Calcul du besoin de ventilation sur :

- **VOC : calcul de l'indice d'exposition au débit tente et volatilisation (propriétés polluants + opérations chantier + REX)**
- **CO : calcul de la teneur au débit appliqué sur base émission en gCO/kW (puissance machines pondérées par taux de fonctionnement)**
- **NOx : calcul de la teneur au débit appliqué sur base émission en gNOx/kW (idem)**

Indice d'exposition (IE) et calculs

Notion de sécurité exposition multi-composés

1. Calcul IE pour chaque composé:

$$IE_{\text{Polluant, n}} = D_{\text{Polluant}} / VLEP_{8h_{\text{polluant, n}}}$$

$$D_{\text{Polluant n}} = M_{\text{vol, polluant n}} / (T_{\text{ps travail}} \cdot Dt \cdot Q_{\text{tente}})$$

2. Calcul somme IE

3. Détermination facteur protection EPI et IE acceptable

$$IE \text{ acceptable} = \text{facteur de protection EPI} / K'$$

Avec K' = facteur de sécurité (pics et incertitudes).
10 pour être considéré en « faible exposition »

Avec

$IE_{\text{Polluant, n}}$ = Indice d'exposition du polluant n

D_{Polluant} = teneur/concentration dans le ciel de tente au débit proposé (mg/Nm3)

$VLEP_{8h_{\text{polluant, n}}}$ = Valeur Limite d'Exposition Professionnelle 8h du composé n (mg/Nm3)

Avec

$M_{\text{vol, polluant n}}$ = Masse de polluant volatilisable lors de la phase chantier sur avis d'expert (kg)

$T_{\text{ps travail}}$ = Temps de travail quotidien d'un travailleur (8h)

Dt = Durée terrassement (j)

Q_{tente} = Débit imposé dans la tente (m3/h).

CONCENTRATION NE DÉPASSANT PAS	APPAREILS CLASSÉS PAR DEGRÉ DE PROTECTION CROISSANTE
5 x VL	casque ou cagoule à ventilation assistée TH1 et filtres anti-gaz de classe 1, 2 ou 3
10 x VL	demi-masque filtrant à usage unique avec filtres anti-gaz de classe 1, 2 ou 3
	demi-masque avec filtres anti-gaz de classe 1, 2 ou 3
20 x VL	masque ou demi-masque à ventilation assistée TM1 et filtres anti-gaz de classe 1, 2 ou 3
	casque ou cagoule à ventilation assistée TH2 et filtres anti-gaz de classe 1, 2 ou 3
	masque ou demi-masque à ventilation assistée TM2 et filtres anti-gaz de classe 1, 2 ou 3
40 x VL	masque complet et filtres anti-gaz de classe 1, 2 ou 3
	casque ou cagoule à ventilation assistée TH3 et filtres anti-gaz de classe 1, 2 ou 3
40 x VL	demi-masque à ventilation assistée TM3 et filtres anti-gaz de classe 1, 2 ou 3
40 x VL ou 60 x VL	masque complet à ventilation assistée TM3 et filtres anti-gaz de classe 1, 2 ou 3

Calculs CO et NOx

Basé sur les émissions réglementaires

Polluant	Limite d'émission réglementaire
CO	3,5 gCO / kWh
NOx	0,4 g NOx /kWh

ICTT / Règlement no 96 de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies Appendice 2 tableau 13

Le calcul du débit de ventilation est calculé suivant la formule :

$$Q = K \cdot \frac{D}{C - C_0}$$

Avec

Q= débit de ventilation en Nm3/h

K = facteur correctif entre 1 et 10 évaluant l'homogénéité de la tente, par défaut 1

D = débit d'émission de polluant (somme des véhicules) en mg/h

C = Concentration en polluant tolérée dans l'ambiance du local (VLEP 8h du CO ou NOX)

C0 = concentration en polluant dans l'air neuf (= 0)

Source / INRS ED6246

$$D = \sum_{i=1}^n (P_{engin\ i} \times T_{prés_engin\ i} \times C_{rej_engin\ i} \times 1000)$$

$P_{engin\ i}$; Puissance engin i en kWh

$T_{prés_engin\ i}$; Taux de présence engin i en % du temps de présence ou taux de puissance utilisé sur la journée

$C_{rej_engin\ i}$; Concentration de rejet en polluant en g/kWh (limite réglementaire ou constructeur)

Bilan et hypothèses obligatoires

Le débit choisi est le plus pénalisant entre celui des engins (CO et NOx) et des VOC.

Hypothèses pénalisantes et pondération

- Les calculs sur NOx et CO pour 1 engin dépendent de la puissance de ce dernier. Or cette puissance est instable et fonction de l'effort à fournir. Une pondération de la puissance moyenne est à réaliser → incertitudes
- Les calculs sur COV dépendent de la teneur dans les sols et de leur volatilisation au moment des travaux. La volatilisation est estimée sur la base de retour d'expériences, des conditions opérationnelles (type de travaux) et des propriétés des polluants → incertitudes

Le couple EPC /EPI est donc pondéré par une étude de vulnérabilité s'assurant de la robustesse du système proposé. → maximisation des engins , des hypothèses de volatilisation, des teneurs dans les sols...

ANALYSES SUR PROBLÉMATIQUE NOX

SUEZ RR IWS REMEDIATION FRANCE



Définition & Généralités

Les NO_x = Famille de polluants comportant majoritairement NO (Monoxyde d'azote) et NO₂ (Dioxyde d'azote)

Molécules toxiques H330 (Mortel par inhalation) / H314 (Provoque de graves brûlures (INRS FT 133))



Sources majoritaires : oxydation azotes combustibles et azote de l'air

NO instable → s'oxyde en NO₂ (cinétique en minutes)

Seuils & Contexte

Seuils sur NO₂ et NO

Composé	VLEP (France 2019)	VLCT (France 2019)
NO ₂	0,5 ppm ou 0,96 mg/m ³	1 ppm ou 1,91 mg/m ³
NO	2 ppm ou 2,5 mg/m ³	-

Code du travail-Art.R4412-149 modifié par JORF n°0302 du 29 décembre 2019

Contexte d'exposition majoritaire

- **Milieu confiné dont travaux sous tente**
- **Problématique locale en extérieur**
- **Décantation gazeuse : densité NO₂ = 1,58 et NO = 1,04 → point bas fouilles et milieux non aérés**

Problématiques • Evolution de la réglementation avec application en Juillet 2020 → seuils plus contraignants

Composé	VLEP avant le 1 er Juillet 2020	VLEP appliquée aujourd'hui
NO ₂	1 ppm	0,5 ppm
NO	25 ppm	2 ppm

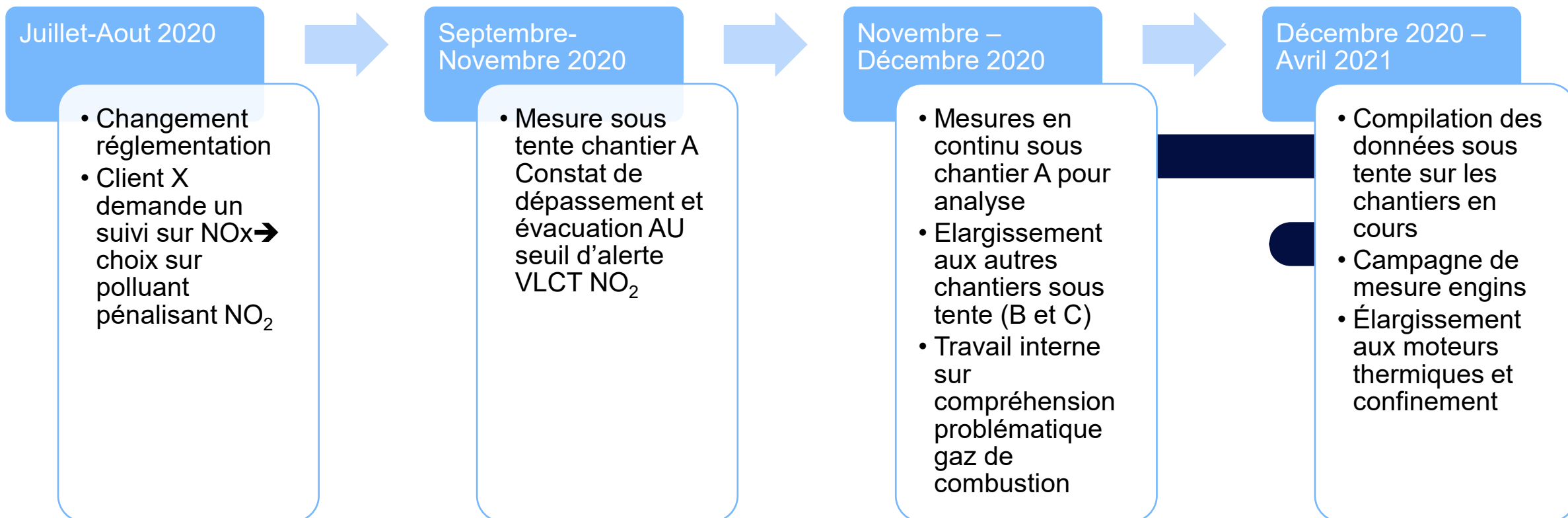
Code du travail-Art.R4412-149 modifié par JORF n°0302 du 29 décembre 2019

- **Les masques de protections respiratoires ne filtrent pas de manière pérenne les gaz d'échappements NOx et CO (usage limité aux masques de fuite)***
- **Obligation réglementaire de respecter une teneur sous tente < VLEP 8h****

* Avis France Sécurité

** Code du travail-Art.R4412-149 + <https://www.inrs.fr/risques/mesure-expositions-agents-chimiques-biologiques/reglementation.html>

Chronologie des récentes actions SUEZ RR IWS REMEDIATION FRANCE



Chantier A

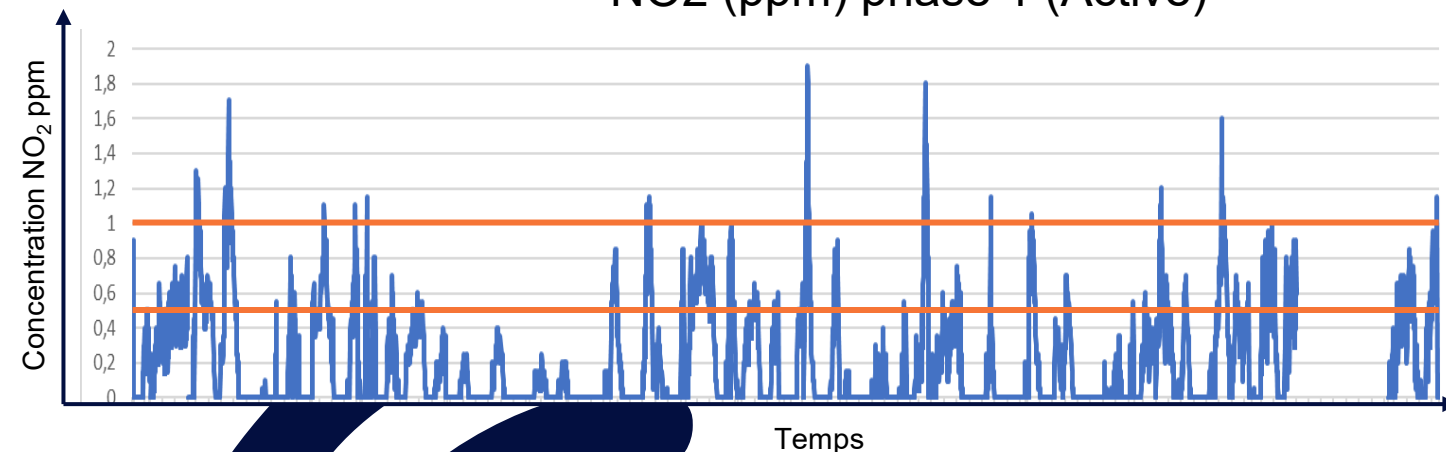
Conditions

- **Tente avec ventilation**
 - Aspiration : 63 000 m³/h,
 - insufflation : 40 000 m³/h
- **Volume tente 17 000 m³ environ**
- **→ taux de renouvellement 2-4**
- **Machines utilisées sans recommandations particulières :**
 - pelle 40 T /
 - Tombereaux 22m³
 - chargeuse 13 T
 - camions évacuations
- **Calculs sur anciens seuils NO_x car chantier débutant avant Juillet 2020 (mais risque déjà identifié à 30 000 m³/h au niveau théorique et limite à 63 000 m³/h)**

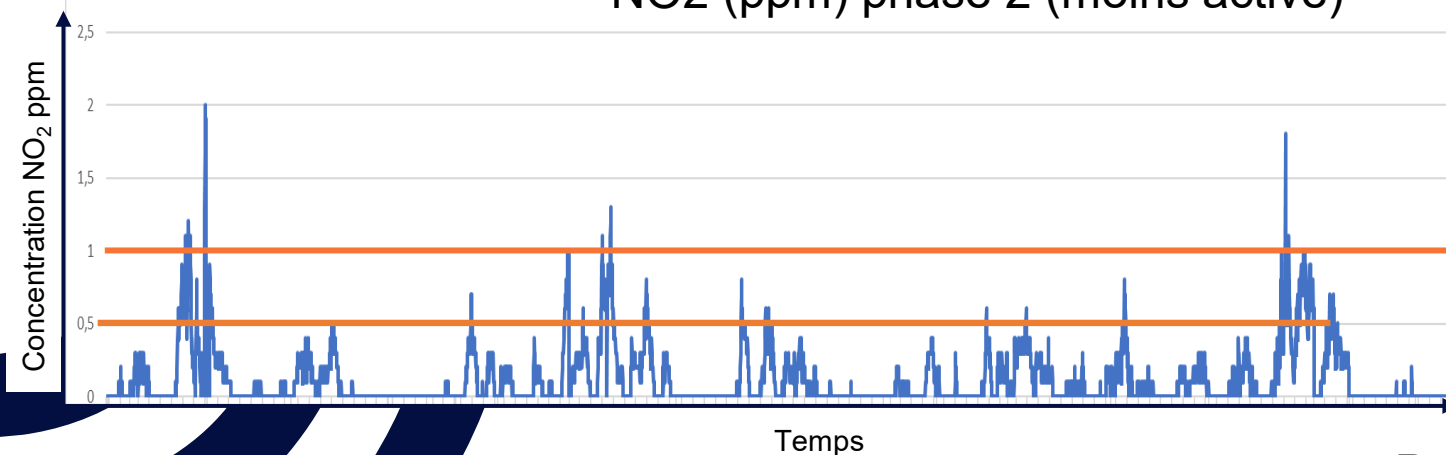
Chantier A

2 Phases

NO₂ (ppm) phase 1 (Active)



NO₂ (ppm) phase 2 (moins active)



Nb de point de mesure	12483
------------------------------	--------------

Nb de points > 1 ppm	169
----------------------	-----

Dépassements > 1ppm	1,4%
---------------------	------

Nb de points > 0,5 ppm	1466
------------------------	------

Dépassements > 0,5 ppm	11,7%
------------------------	-------

Nb de point de mesure	14554
------------------------------	--------------

Nb de points > 1 ppm	41
----------------------	----

Dépassements > 1 ppm	0,3%
----------------------	------

Nb de points > 0,5 ppm	447
------------------------	-----

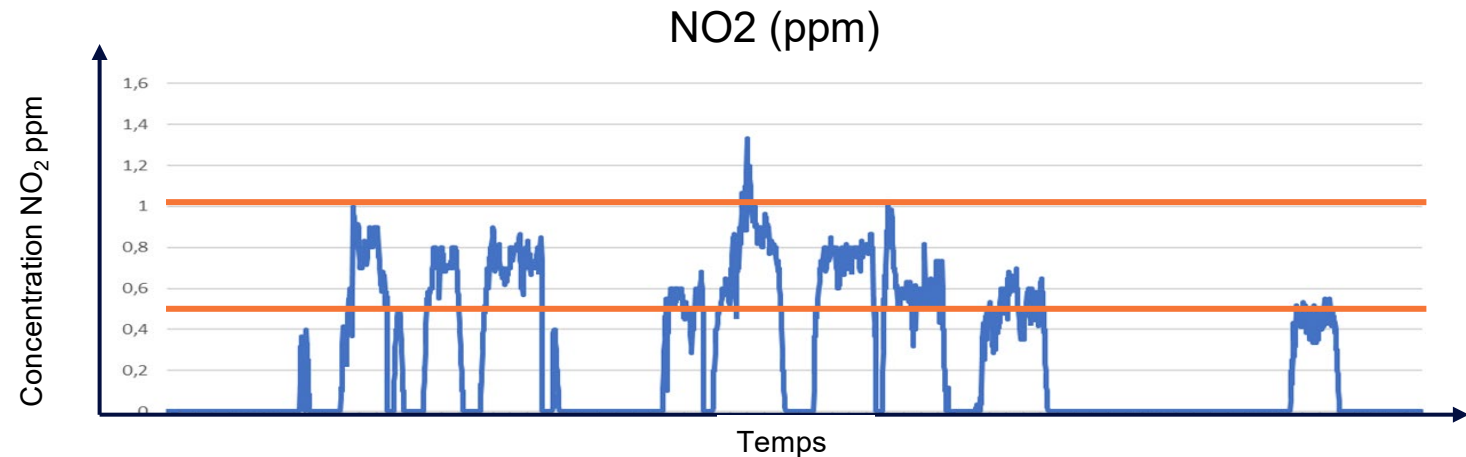
Dépassements > 0,5 ppm	3,1%
------------------------	------

Pas de dépassement VLEP 8H ou VLCT 15 min au sens exposition

Confirmation valeurs sur analyse TEDLAR

Chantier B

- **Machines :**
 - Pelle 25 T ,
 - Chargeuse 4,5 m³,
 - Tombereaux 22m³
- **Ventilation : 35 000 m³/h (identifié limite sur gaz d'échappement)**
- **Insufflation : 10 000 m³/h**
- **Tente : 6 700 m³ → taux de renouvellement >5**



A NOTER : Chantier déjà en fonctionnement lors de prise de conscience du sujet, calcul repris indiquait des risques de dépassements






Chantier C

- **Machines :**
 - Pelle 25 T ,
 - Chargeuse 4,5 m³
- **Ventilation : 70 000 m³/h**
- **Insufflation : 10 000 m³/h**
- **Tente : 27 000 m³ → taux de renouvellement > 2,6**
- **Détection passive NO₂ = pas d'alarme au seuil 1 ppm → Prélèvements sac Tedlar (NO, NO₂) concordants.**

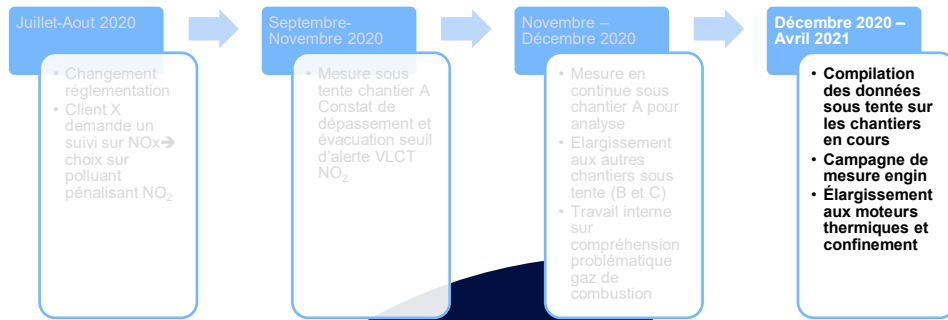
A NOTER : modification des calculs et prise en compte des nouveaux seuils →

- **Ventilation améliorée**
- **Aéraulique améliorée**
- **Machines choisies avec attention**

Constats (REX) :

- **Dépassements fréquents en pics du seuil VLEP 8h et VLCT en NO₂** 
- **Pas d'exposition des travailleurs d'un point de vue réglementairement (VLEP 8h ou VLCT 15 min)** 
- **MAIS retours chantier « limites » sur sites A et B** 
- **Modèle de calcul pertinent → si le calcul indique un dépassement , des dépassements seront bel et bien constatés.** 
- **Dimensionnement adapté possible → Chantier C (aéraulique + choix machines adaptées + ...) → étude sur la ventilation améliorée et contraintes ajoutées** 

Focus Machines



Varioluxx NO /NO₂ de GRUTER & MARCHAND)

Méthodologie

- **Analyse directement en sortie machine = (appareil Varioluxx NO /NO₂ de GRUTER & MARCHAND)**
- **16 machines analysées**
- **Analyse à l'arrêt (sécurité) à 2-3 régimes moteur ; point mort /1/2 régime /100% régime.**
- **Analyse d'engins divers ; pelles / Chargeuses / Tracteur / Tombereau / Groupe électrogène..**
- **Attente régime stable si possible**

Régime ralenti



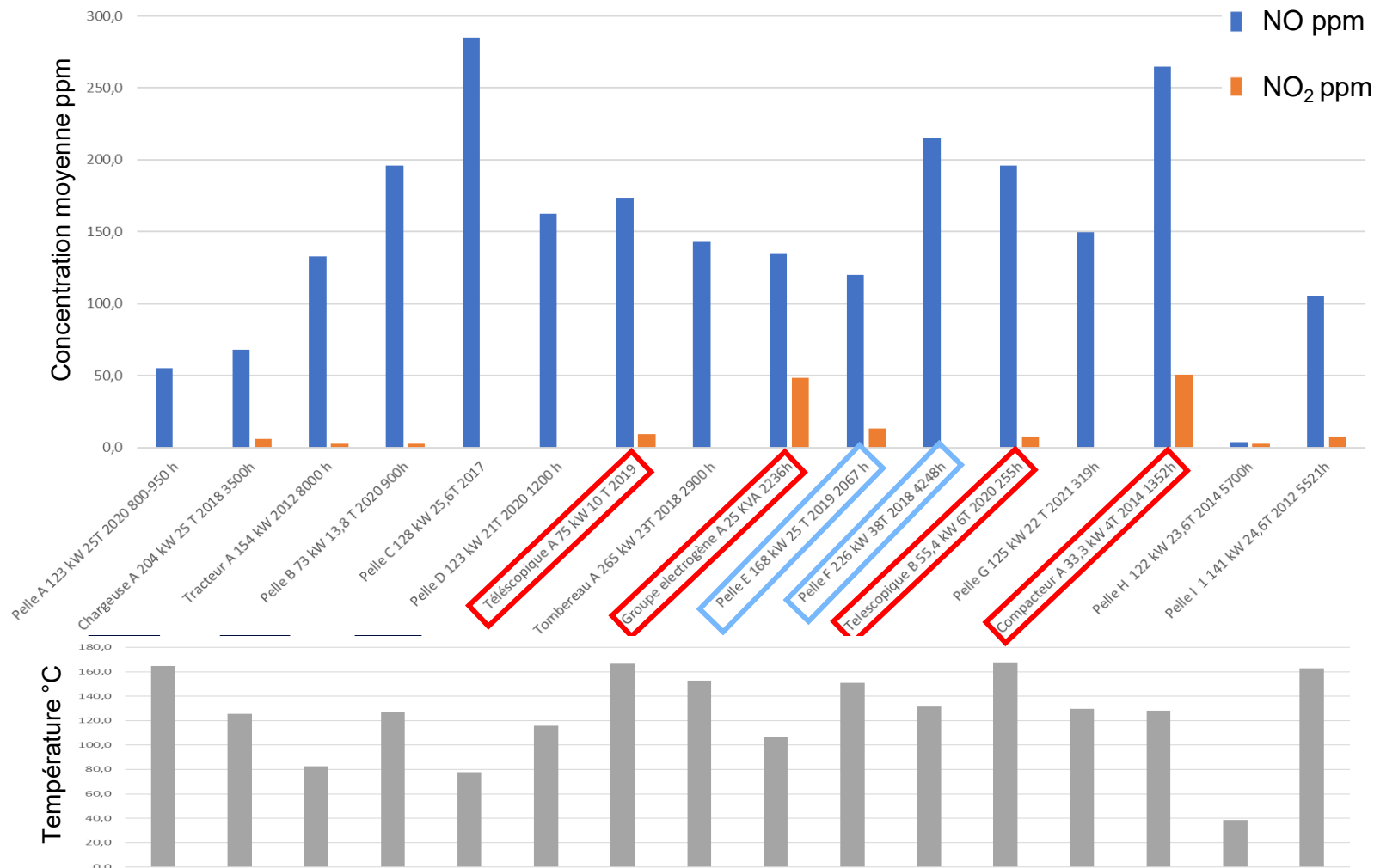
Interprétations

- La présence d'un pot catalytique avec AdBlue© réduit théoriquement les émissions globales mais ne les éliminent pas
 - Emission majoritaire de NO (instable et s'oxyde à terme en NO₂)
 - Emission de NO₂ très faible → Ratio NO₂ / NO_x = 1-10%
- Sans système AdBlue© → émission très importante de NO₂ → ratio NO₂/NO_x jusqu'à > 40%
- Emission fonction de la température sortie (= chauffe); Pelle froide ou en sortie de régénération = régime instable générant NO₂

Focus Machines

Résultats

Régime maximal à l'arrêt



Interprétations

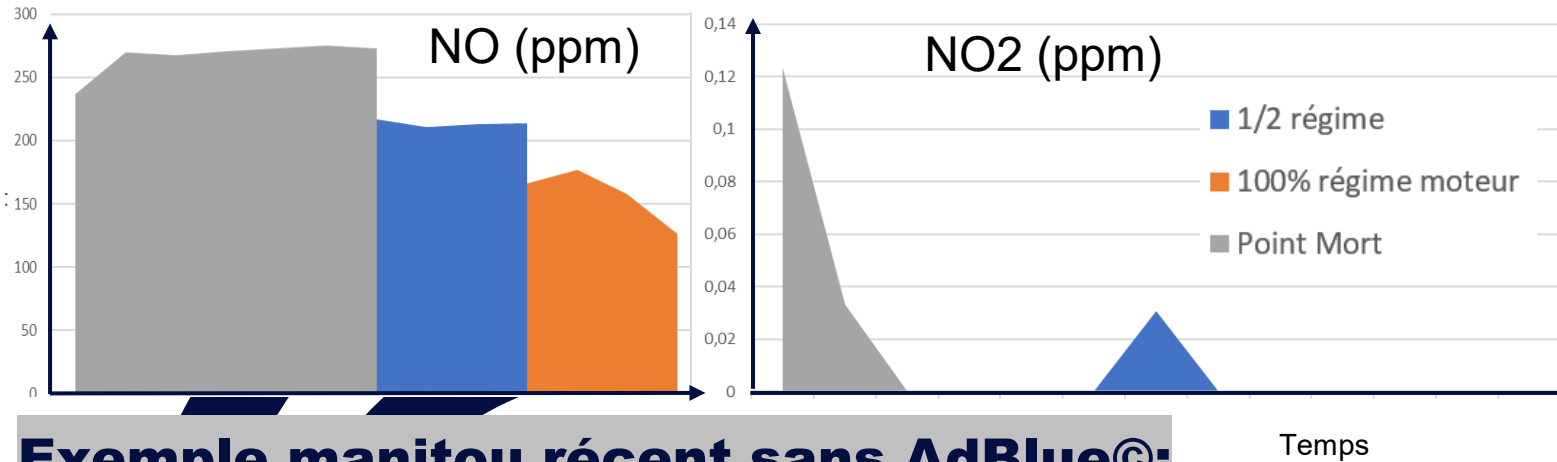
- Le régime moteur fait varier l'émission de NOx
- Les machines semblent conçues pour fonctionner « en force » (au débit près): le système AdBlue® semble optimal pour des régimes de marche plutôt que de repos.

Focus Machines

Résultats

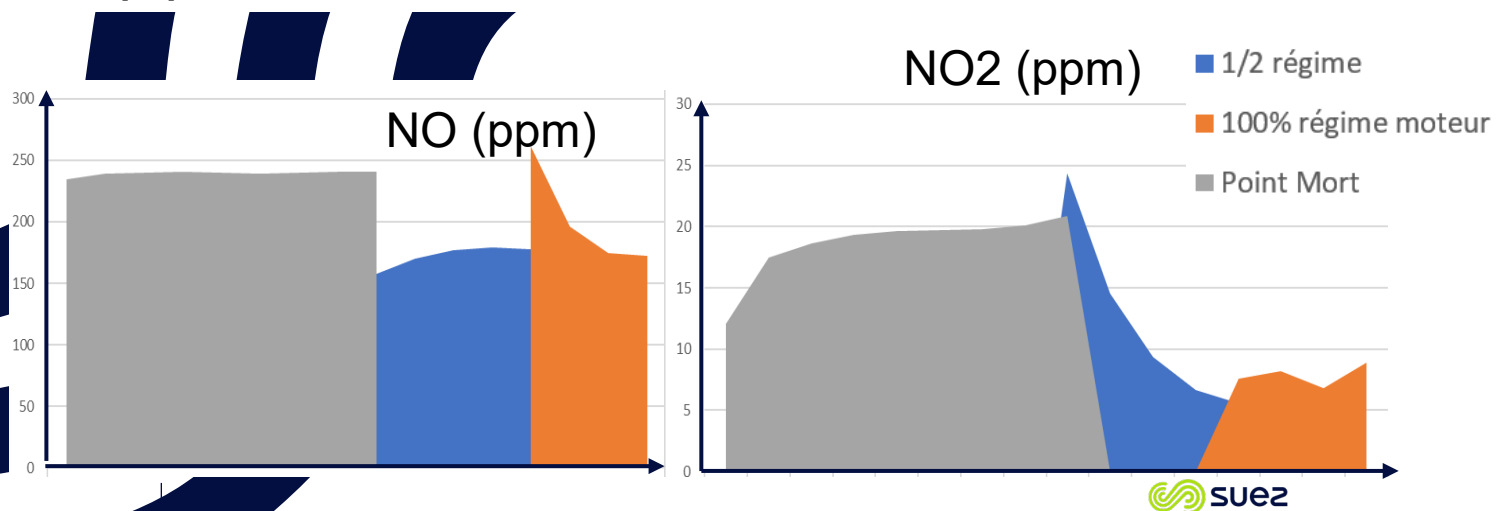
Exemple pelle récente avec AdBlue® :

Pelle D 123 kW 21T 2020 1200 h



Exemple manitou récent sans AdBlue®:

Telescopique B 55,4 kW 6T 2020 255h



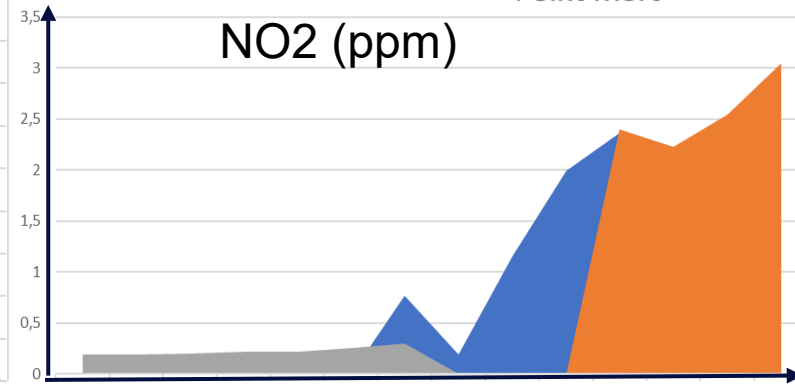
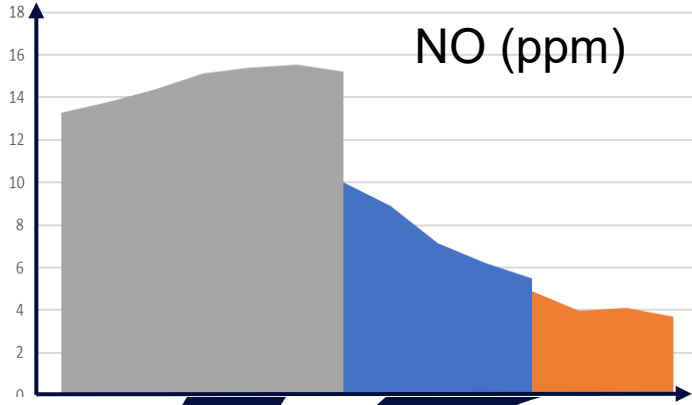
ATTENTION AUX ECHELLES
et corréler aux débits d'échappement

Focus Machines

Résultats

Exemple Pelle froide

Pelle H 122 kW 23,6T 2014 5700h

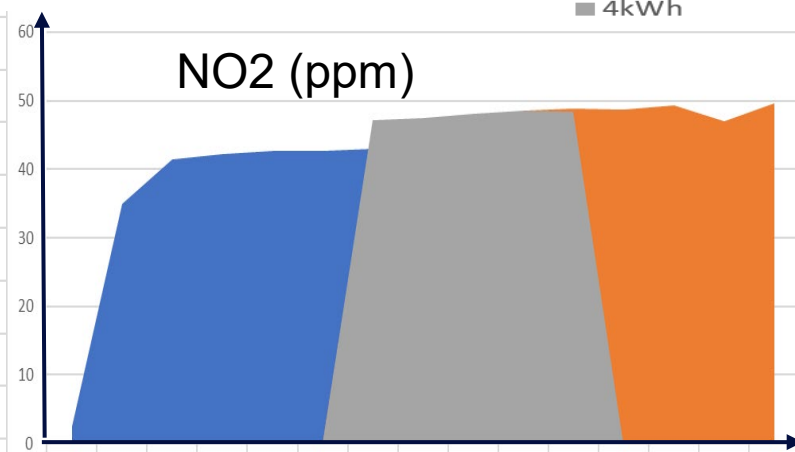
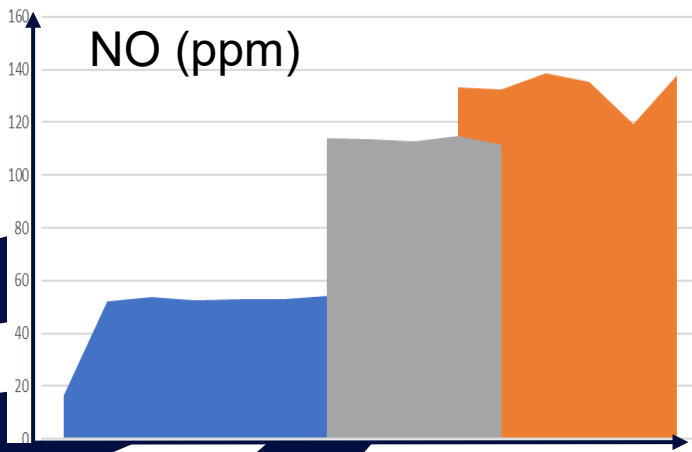


- 1/2 régime
- 100% régime moteur
- Point Mort

ATTENTION AUX ECHELLES
et corrélér aux débits d'échappement

Exemple groupe électroaène:

Groupe électrogène A 25 KVA 2236h



- Sans conso
- 6kWh
- 4kWh

BILAN :

- **NOx problématique actuelle universelle et permanente en milieu confiné**
- **La nouvelle réglementation en application demande une attention particulière impactant le dimensionnement des unités de traitements d'air**
- **Pour éviter de surdimensionner , le choix des engins doit faire l'objet d'une réflexion approfondie**

Quelques pistes :

- **Engins électriques : solution ultime mais coût important**
- **Eviter le personnel sous tente ou ARI (Appareil Respiratoire Isolant)**
- **AdBlue© à minima + engins récents**
- **Captage à la source (en particulier pour machinerie statique)**
- **Extraction au plus proche de la zone de travail.**
- **Etude aéraulique favorisant la circulation d'air à des vitesses élevées**
- **Eviter les petits engins sans AdBlue©**
- **Chargement des camions avec moteur recrachant à l'extérieur (tête de camion dehors ou sas dédié)**



A Etudier

- **Effet aérothermes sous tente?**
- **Cartouches pour traitement du NO_2 ?**
- **Détermination débit rejet pour bilan de masse NO_x (appareil de mesure adapté ?)**

MERCI



CONTACTS

Jean-Baptiste PARA

Industrial Waste Specialties

Soil remediation

Ingénieur Travaux Direction Technique

SUEZ RR IWS Remediation France

17 rue du Périgord

69330 MEYZIEU

Tél : +33 4 72 45 02 13

Mob : +33 7 70 10 48 96



<http://www.suezremediation.com/fr/>

Boris DEVIC-BASSAGET

Industrial Waste Specialties

Soil Remediation Europe

Directeur Technique

SUEZ RR IWS Remediation FRANCE

17, Rue du Périgord

69330 MEYZIEU

Tél : +33 4 72 45 09 48

Fax : +33 4 78 04 24 30

Mob : +33 6 07 52 78 81



<http://www.suezremediation.com/fr/>