

Travaux sous tente : Principe de dimensionnement des ventilations, prise en compte des évolutions réglementaires CO / NO_x

Jean-Baptiste PARA

Direction Technique - SARPI REMÉDIATION FRANCE

www.sarpiremediation.com

intersol'2023
 Congrès-Exposition International sur les Sols, les Sédiments et l'Eau
 International Conference-Exhibition on Soils, Sediments and Water

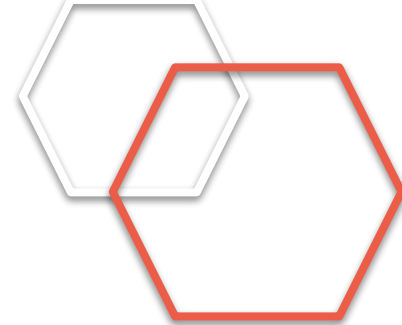
MAÎTRISER DURABLEMENT LE RISQUE DÉCHET
 POUR PÉRENNISER L'ACTIVITÉ INDUSTRIELLE
 ET LE DÉVELOPPEMENT DES TERRITOIRES



Principe généraux

La sécurité des salariés

- Stratégie de ventilation réussie = **sécurité du personnel** + gestion des nuisances + ergonomie + maîtrise économique.
- Ventilation = EPC (Equipement Protection Collective)
 - À privilégier en matière de sécurité avant EPI (Equipement Protection Individuelle).



Notre approche

Un calcul multiparamétrique



Calcul du besoin en ventilation se base sur :

- COV : calcul de l'indice d'exposition au débit d'extraction 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)
- NO_x : calcul de la teneur au débit appliqué sur base émission en gNO_x/kW (idem)

Généralités et Définitions

Qu'est ce que les NO_x ?

Les NO_x = Famille de polluants comportant majoritairement NO (Monoxyde d'azote) et NO_2 (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 \square s'oxyde en NO_2 (cinétique en minutes)

Réglementation Française

Les seuils applicables



Composé	VLEP (8h)	VLCT (15min)
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

Dans les SSP, contexte d'exposition majoritaire

- Milieu semi-confiné dont travaux sous tente
- Problématique locale en extérieur
- Décantation gazeuse : Gaz sont plus lourds que l'air
 - □ point bas fouilles et milieux non aérés ou mal ventilés

Problématique

Evolution dans la réglementation



Composé	VLEP avant le 1 er Juillet 2020	VLEP appliquée aujourd'hui
NO ₂	1 ppm ou 1,91 mg/m3	0,5 ppm ou 0,96 mg/m3
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 NO_x et CO (usage limité aux masques de fuite)*
- Transposition pour les travaux sous tente : Obligation de respecter une exposition < VLEP 8h**

* Avis France Sécurité

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

Notion de sécurité Exposition multicomposés

Indice exposition (IE) et calculs



1. Calcul IE pour chaque polluant:

IE Polluant, n = Indice d'exposition du polluant n

D Polluant = teneur/concentration dans le ciel de tente au débit proposé

VLEP 8h polluant, n = Valeur Limite d'Exposition Professionnelle

Mvol, polluant n = Masse de polluant volatilisable lors de la phase chantier

Tps travail = Temps de travail quotidien d'un travailleur

Dt = Durée terrassement

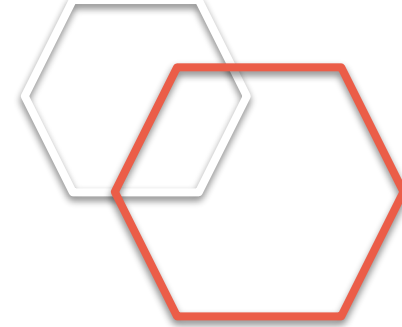
Qtente = Débit imposé dans la tente

2. Calcul somme IE (si plusieurs polluants)

3. Détermination facteur protection EPI et IE acceptable

Calcul du débit de ventilation

Basés sur les émissions réglementaires



Polluant	Limite d'émission réglementaire
CO	3,5 gCO / kWh
NO _x	0,4 g NO _x /kWh

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

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

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 NO_x)

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

Source / INRS ED6246

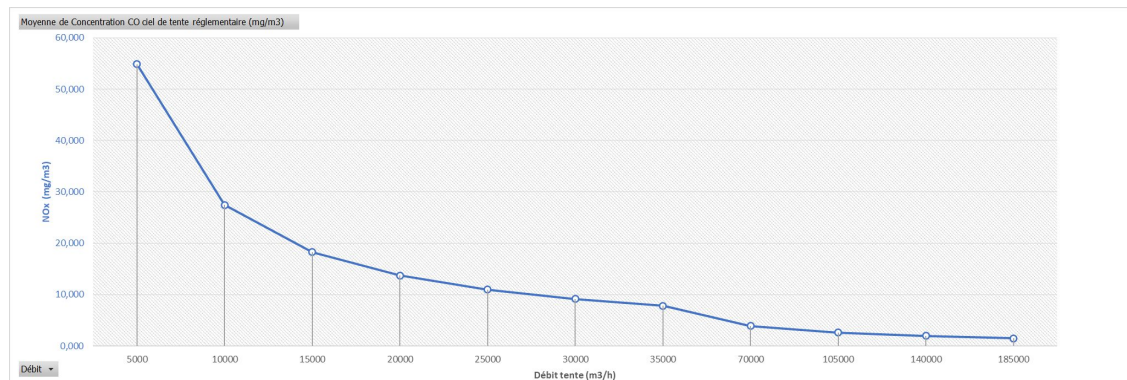
Synthèse

Choix du débit



Le débit d'extraction choisi est le plus pénalisant : engins (CO, NO_x), volatilisation polluants.

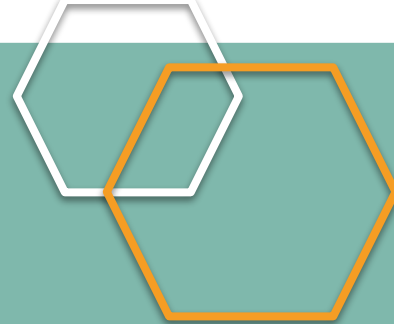
Exemple avec CO :



Cette approche nécessite de faire des scénarii :

Exemple : Les calculs sur NO_x et CO pour 1 engin dépendent de la puissance de ce dernier. Or cette puissance est instable et fonction de l'effort à fournir.

Le couple EPC /EPI est donc pondéré par l'élaboration de différents scénarii d'exposition en lien avec la réalisation du chantier.

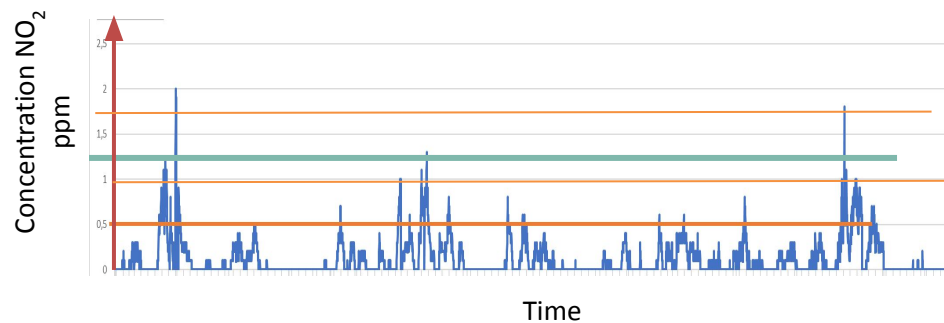
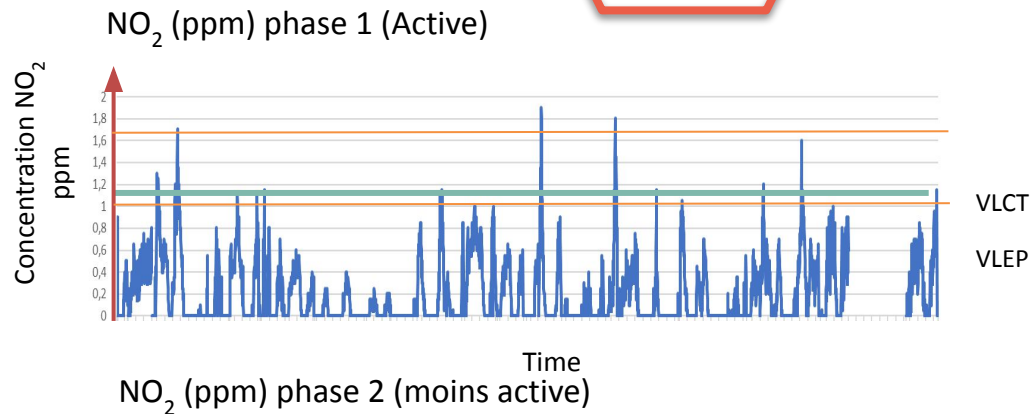


REX sur les problématiques NOx

Chantier N°1

Premières mesures sur site

Paramètres	Valeurs
Volume tente	17 000 m3
Extraction	63 000 m3/h
Insufflation	40 000 m3/h
TDR	2-4
Machines	<ul style="list-style-type: none">• Pelle 40T• Tombereaux 22m3• Chargeuse 13T• 8/4
Calculs	Théorique limite avec nouveaux seuil



Chantier N°2

Une approche améliorée



Paramètres	Valeurs
Volume tente	27 000 m ³
Extraction	70 000 m ³ /h
Insufflation	10 000 m ³ /h
TDR	2,6
Machines	<ul style="list-style-type: none">• Pelle 25T• Chargeuser 4.5m³
Calculs	Ok with estimation for new threshold

Détection passive sur NO₂ et prélèvements ponctuels au sac TEDLAR

- ☐ Pas d'alarme au seuil 1 ppm (évacuation)
- ☐ Prélèvement sac TEDLAR concordant et ne montrant pas d'impact NO₂

**PRISE EN COMPTE NOUVEAUX SEUILS NO_x
DANS DIMENSIONNEMENT = Ventilation
améliorée + Aéraulique améliorée + machines
choisies avec attention**

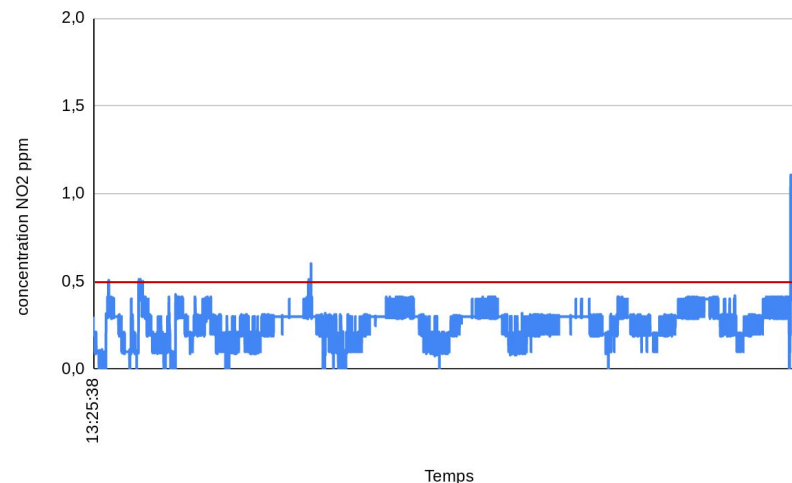
Chantier N°3

Intégration dans les procédures SARPI REMÉDIATION



Paramètres	Valeurs
Volume tente	20 000 m ³
Débit d'extraction	70 000 m ³ /h
Débit d'insufflation	10 000 m ³ /h
Taux de renouvellement	3,5
Machines	<ul style="list-style-type: none">• Pelle 26T• Compacteur 22T
Calculs	Compatibilité entre seuils et ventilation

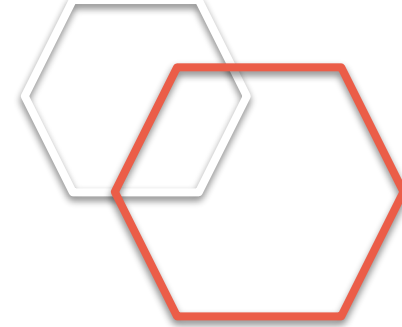
chantier c








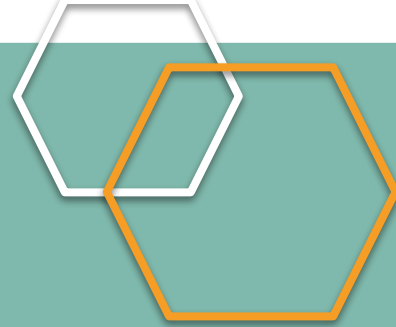
Gestion des chantiers depuis 2022 ⇒ Maîtrise des émissions de NO_x

Constats et retour d'expérience

Entreprise apprenante



- 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 : Retour chantier « limites » sur site A 
- Modèle de calcul pertinent ☐ si le calcul indique un dépassement , des dépassements seront bel et bien constatés. 
- Dimensionnement adapté possible ☐ Chantier B (aéraulique + choix machines adaptées + ...) ☐ étude sur la ventilation améliorée et contraintes ajoutées 

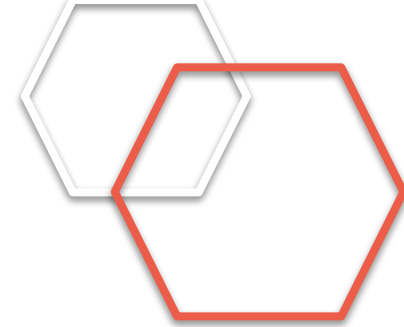


Focus sur les machines

Particularité du choix des engins thermique

Recherche sur les phénomènes d'émission

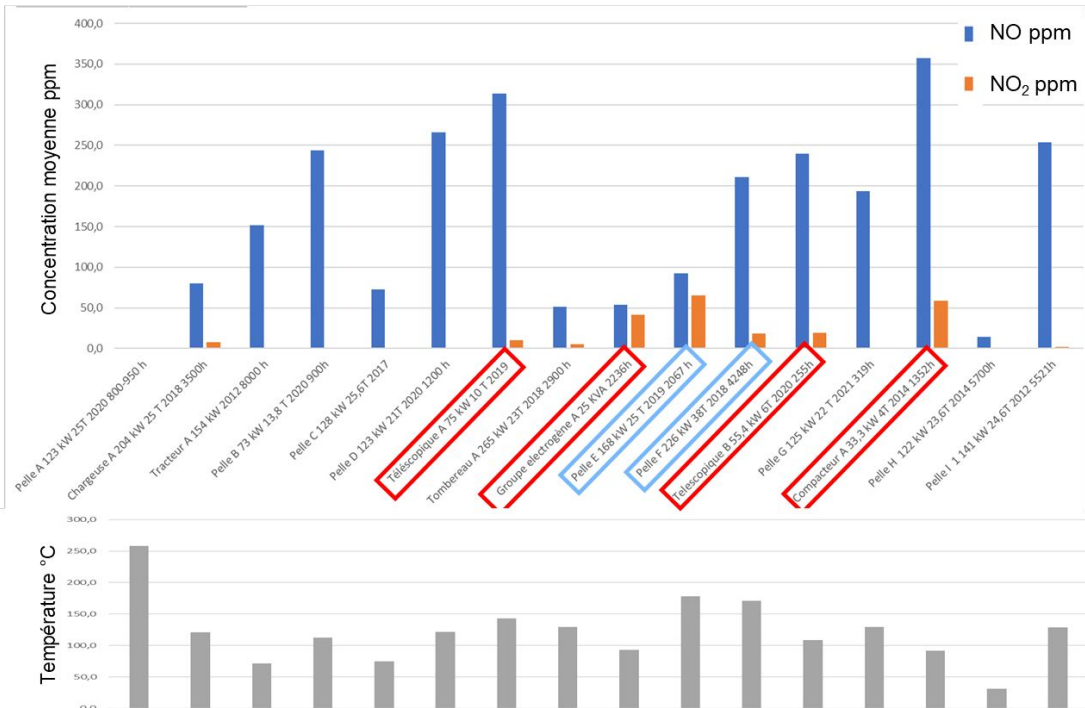
- Analyse directement en sortie machine = (appareil Varioluxx NO /NO₂)
- Analyse à l'arrêt (sécurité) à 2-3 régimes moteur ; point mort - 1/2 régime - 100% régime.
- Analyse d'engins divers ; pelles / Chargeuses / Tracteur / Tombereau / Groupe électrogène..
- Attente régime stable si possible



Résultats

Campagne de mesures sur différents engins

Régime ralenti



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%

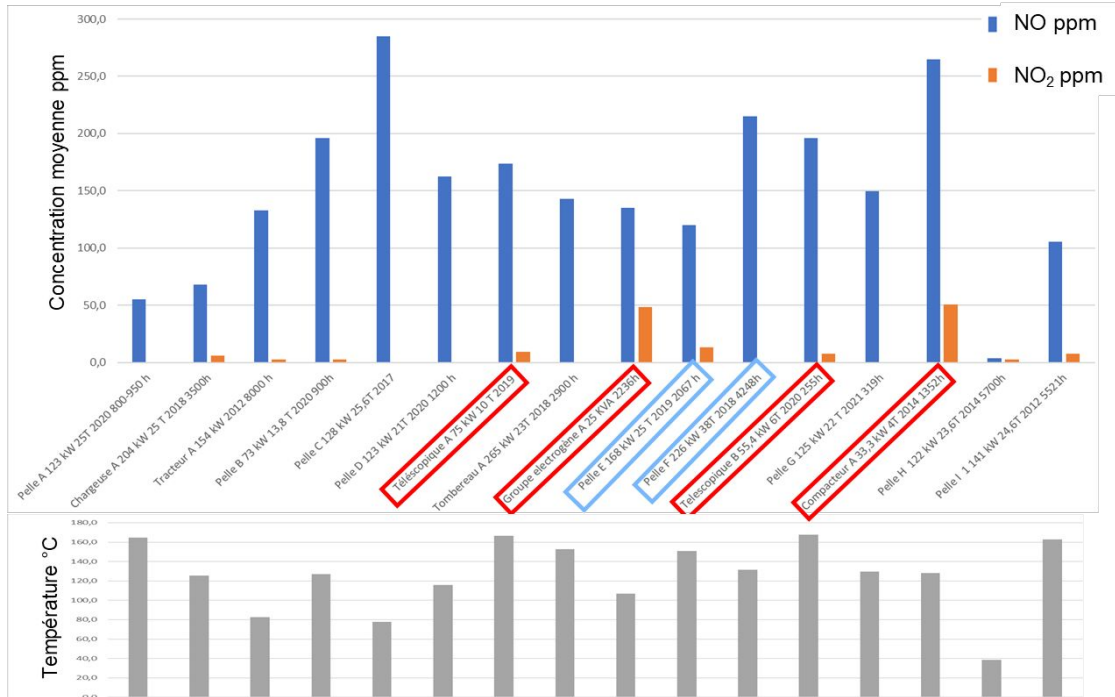
Sans système AdBlue® □ émission très importante de NO₂ □ ratio NO₂/NO_x parfois > 40%

Emission fonction de la température sortie (= chauffe); **Pelle froide** ou en **sortie de régénération** = régime instable générant NO₂

Résultats

Campagne de mesures sur différents engins

Régime maximum



Le régime moteur fait varier l'émission de NO_x

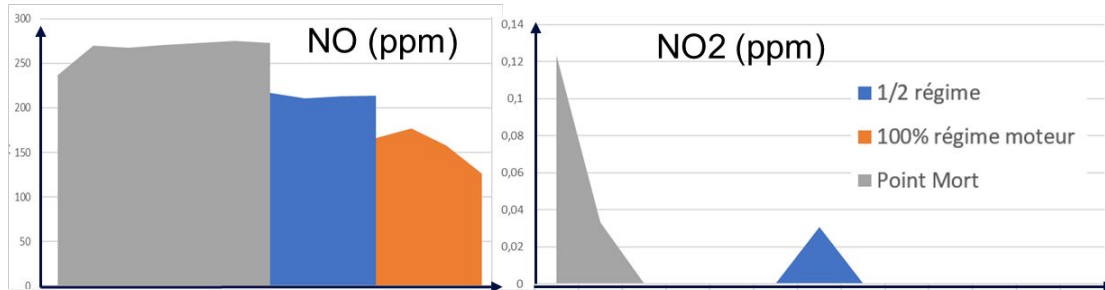
Les machines semblent conçues pour fonctionner « en force » (au débit près): le système AdBlue© semble optimal pour des régimes de marche plutôt que de repos.

Focus effet AdBlue©

Efficacité sur la réduction des émissions

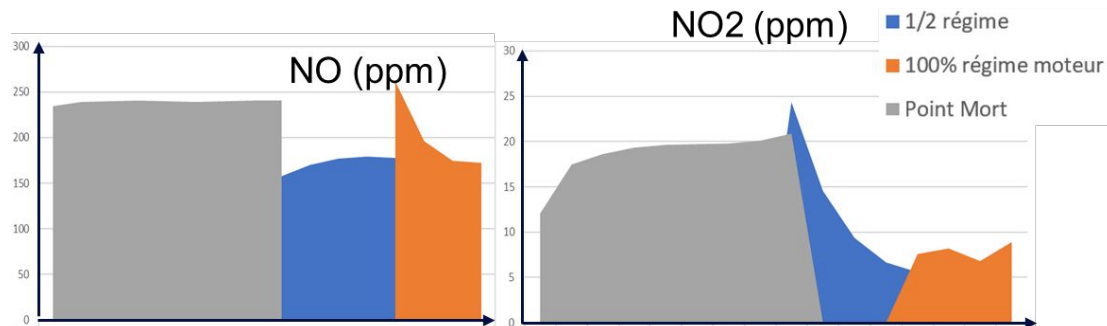


Pelle D 123 kW 21T 2020 1200 h



Avec AdBlue ©

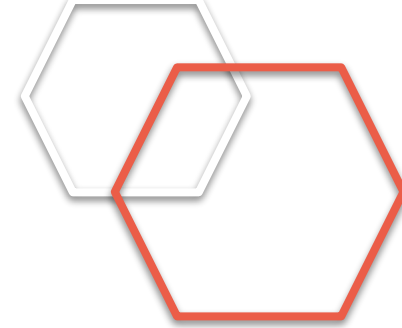
Manitou B 55,4 kW 6T 2020 255h



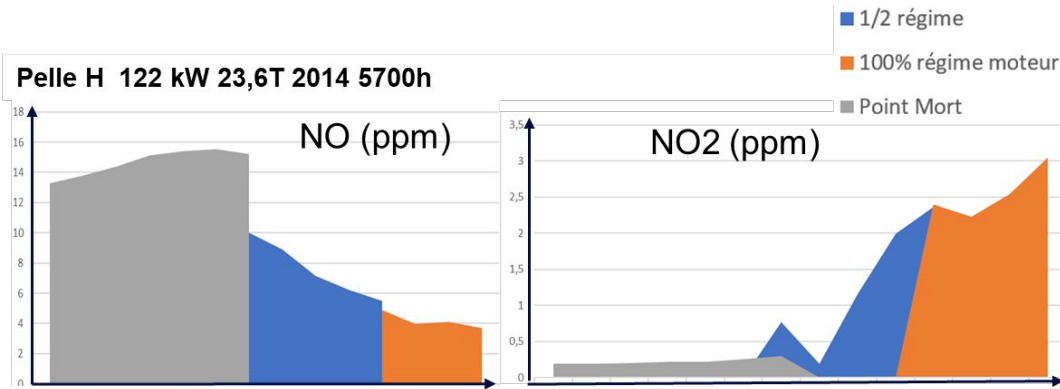
Sans AdBlue ©

Autres cas d'études

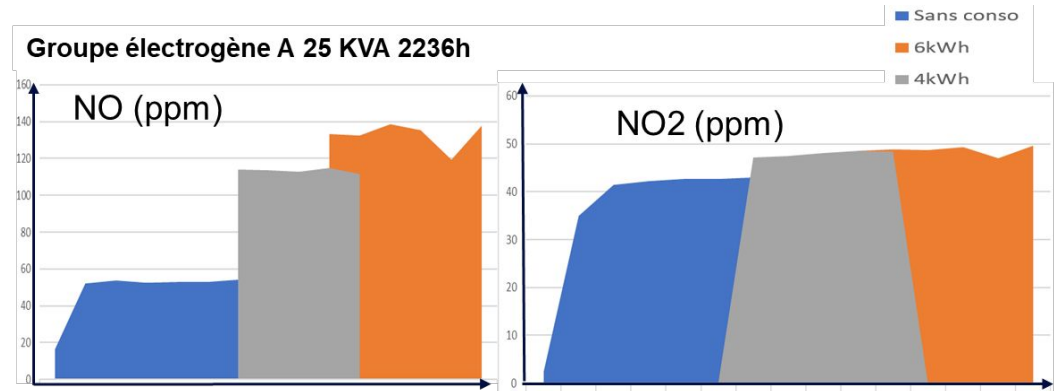
Stabilité du régime moteur et appareil thermique hors engins

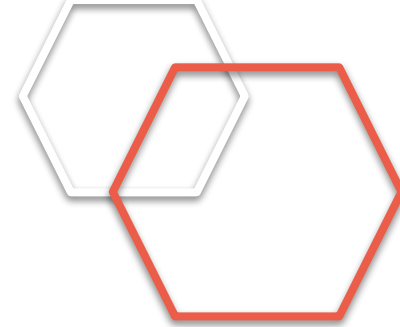


Pelle H 122 kW 23,6T 2014 5700h



Groupe électrogène A 25 KVA 2236h



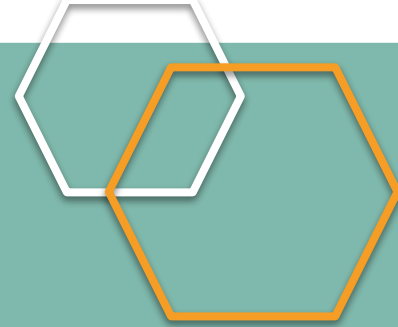


- NO_x problématique actuelle universelle et permanente en milieu confiné.
- La nouvelle réglementation implique une attention particulière impactant le dimensionnement des unités de ventilation.
- Pour éviter de surdimensionner, le choix des engins doit faire l'objet d'une réflexion approfondie.

Conclusion Perspectives



- 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/machines thermiques sans AdBlue©
- Chargement des camions avec moteur recrachant à l'extérieur (tête de camion dehors ou sas dédié)



Merci pour votre attention

SARPI REMÉDIATION

Jean-Baptiste Para

+33 7 70 10 48 96

jean-baptiste.para@veolia.com