



# Bioaérosols : risques et contrôles en centres de traitement des eaux usées

Salon des TEQ – Réseau Environnement

10 mars 2020 à Québec



UNIVERSITÉ  
LAVAL



CENTRE DE RECHERCHE  
INSTITUT UNIVERSITAIRE  
DE CARDIOLOGIE  
ET DE PNEUMOLOGIE  
DE QUÉBEC

Repentigny  
*S'épanouir*





# Plan

- **L'APSAM et ses partenaires en matière de santé et sécurité au travail**  
par Éloïse Guénette
- **L'IRSST et introduction au projet de recherche**  
par Annie Mathieu
- **Exposition aux bioaérosols dans les centres de traitement des eaux usées :  
application d'approche moléculaire et risque viral**  
par Caroline Duchaine et Marc Veillette de l'Université Laval
- **Le contrôle des bioaérosols contaminés à la station de traitement des eaux  
usées de la Ville de Repentigny**  
par Benoit Asselin



# L'Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail secteur « affaires municipal » et ses partenaires



**Une vidéo présentant les ASP est disponible sur le site de l'APSAM :**

<https://www.apsam.com/lapsam/services-offerts>

# L'IRSST et introduction au projet de recherche sur les bioaérosols

**Annie Mathieu, Ph. D.**

Prévention des risques chimiques et biologiques

Direction de la communication & valorisation de la recherche

Salon TEQ 2020 – Québec



# Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST)



# Mission de l'IRSST

- Contribuer par la recherche à la SST
- Assurer la valorisation de la recherche
- Offrir des services de laboratoire



# Champs de recherche



PRÉVENTION DES RISQUES  
**CHIMIQUES ET  
BIOLOGIQUES**



PRÉVENTION DES RISQUES  
**MÉCANIQUES  
ET PHYSIQUES**



PRÉVENTION DURABLE EN **SST**  
**ET ENVIRONNEMENT  
DE TRAVAIL**



**RÉADAPTATION**  
AU TRAVAIL

# Projet de recherche Caroline Duchaine



- Exposition des travailleurs aux bioaérosols dans les centres de traitement des eaux usées
- Comité de suivi



# Valorisation de la recherche

- **Rapport** de recherche IRSST
- **Magazine** Prévention au travail
- **Outils de vulgarisation**,  
en collaboration avec  
nos partenaires



Béha, IRSST 2013

# Savoir Média

## Facteurs de risque - C'est dans l'air!



La vidéo *C'est dans l'air* est disponible sur le site de Savoir média :

<https://savoir.media/facteurs-de-risque/clip/cest-dans-lair>

**Merci de votre attention**



# Bioaérosols dans les centres de traitement des eaux usées

Caroline Duchaine

Marc Veillette

Vanessa Dion Dupont

Hamza Mbareche

Évelyne Brisebois

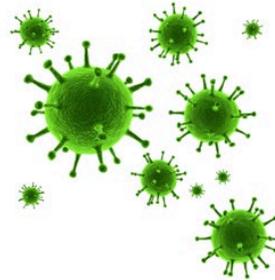
Jacques Lavoie

Yves Beaudet

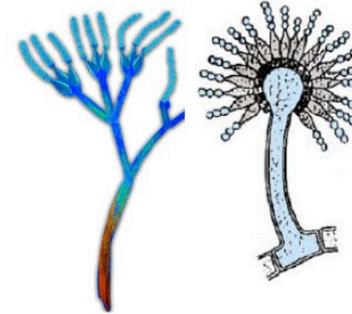
# Bioaérosols



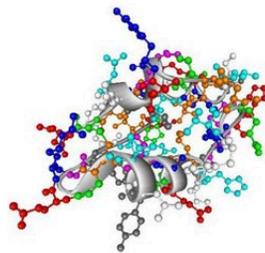
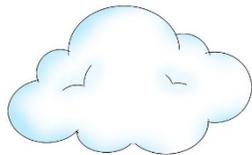
Bactéries



Virus



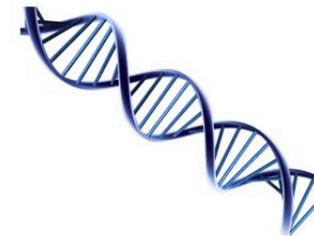
Moisissures



Protéines



Toxines



ADN



Tout autre allergène ou entité biologique

# Population touchée : projet eaux usées

- Travailleurs responsables du fonctionnement et de la maintenance des installations de traitement des eaux usées
- Maladies professionnelles
  - Infectieuses
    - Gastroentérites
    - Respiratoires
    - ....
  - Sensibilisation
    - AAE
    - Asthme allergique
    - STEPO

# Le syndrome de l'égoutier (Rylander, The Lancet, 1976)

- Symptômes communs
  - Maux de tête
  - Faiblesse/fatigue
  - Fièvre
- Plus fréquents chez les travailleurs d'usines de traitement d'eaux usées que dans les groupes contrôles (Rylander 1999)
- Implication des endotoxines dans ces symptômes (Ivens 1999, Rylander 1999)
  - Affections gastro-intestinales augmentées chez les travailleurs exposés à plus de 50 UE/m<sup>3</sup>
- Association des problèmes de gastro à la présence probable de virus (Fannin, 1995)

# Littérature : bioaérosols dans les CTEU

- Corrélations significatives entre l'exposition aux bioaérosols et l'incidence des maladies respiratoires ou entériques dans les centres de traitement des eaux usées (Thorn 2001)
- L'exposition prolongée et continue à de grandes concentrations de bioaérosols dans les centres de traitement des eaux usées peut mener à une sensibilisation et au développement de maladies occupationnelles comme l'AAE, l'asthme ou le STEPO (Lacey, 1991,1994)
- Augmentation de 37% des symptômes aigus de gastroentérite chez les travailleurs des CTEU comparativement à la population normale (Uhrbrand 2011)

# Situation au Québec

- 4 000 employés répartis dans 400 centres de traitements des eaux usées (APSAM)
- Les symptômes reliés au syndrome de l'égoutier et les infections respiratoires/gastroentériques peuvent pousser les victimes à s'absenter du travail
- Absences de courtes durées sont rarement déclarées aux organismes de surveillance telle la CNESST
- Non reconnu comme maladie professionnelle

# 2 voies d'exposition

- Inhalation
  - Respiratoires
  - Gastroentériques (déglutition)
- Fomites
  - Sédimentation > 'mains-bouche'

# Recommandations

- Il n'existe de pas de normes ou de limites d'exposition pour les bioaérosols
- Recommandations (8 h exposition)
  - Endotoxines: 90 UE/m<sup>3</sup> (Dacos)
  - Bactéries à Gram négatif cultivables: 1000 ufc/m<sup>3</sup> (IRSST)
  - Bactéries totales cultivables: 10 000 ufc/m<sup>3</sup> (IRSST)

# Problématique

- Méconnaissance du contenu bactérien et viral des bioaérosols ainsi que la contamination microbienne des surfaces
  - Absence d'études exhaustives sur l'exposition des travailleurs
  - Nuit à l'établissement de seuils limites d'exposition ou de recommandations
- Peu d'études utilisant des méthodes modernes décrivent la nature des agents biologiques dans l'air de cet environnement de travail
  - Sous-estimation du risque relié à ce type de travail
- Peu études de suivi des symptômes publiées chez cette population
  - Prévalences de diverses affections causées par l'environnement de travail

# Objectifs Principaux

- Objectif 1: Décrire les bioaérosols aux sites de travail de CTEU à l'aide d'échantillonnages stationnaires
- Objectif 2: Observer l'exposition personnelle journalière de travailleurs œuvrant dans des CTEU
- Objectif 3: Effectuer une étude épidémiologique prospective chez des employés afin de documenter les désordres gastro-intestinaux et respiratoires

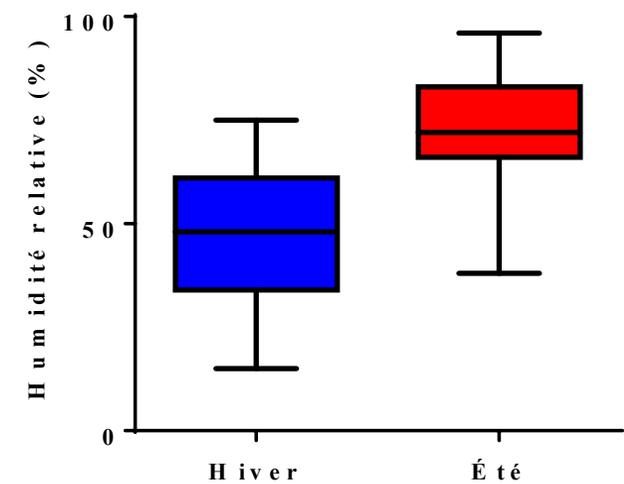
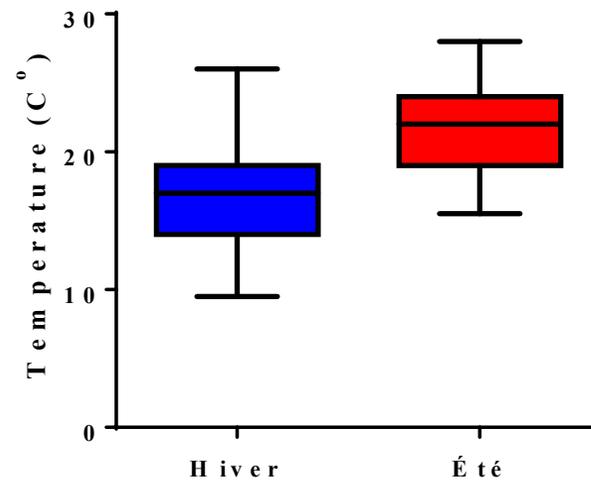
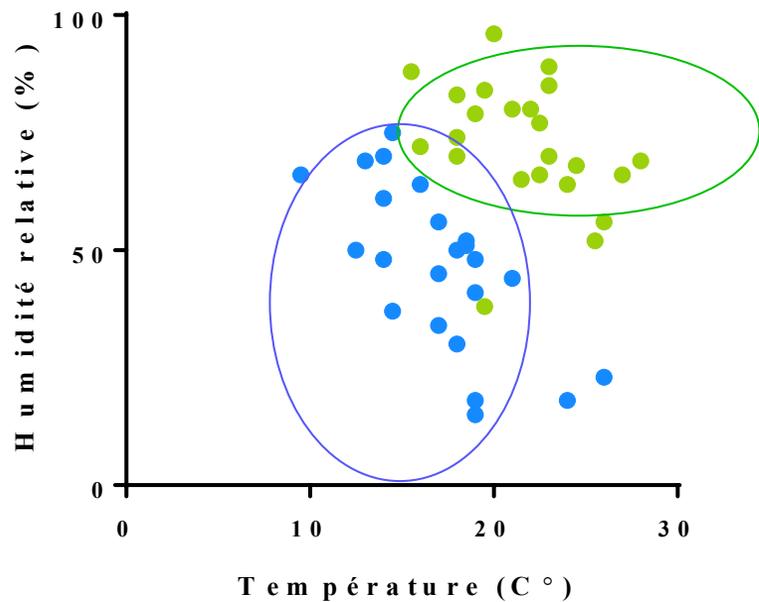
# Approche expérimentale

- Échantillonnages stationnaires (objectif 1)
  - Culture des bactéries
  - Quantification moléculaire de bactéries et virus (qPCR)
  - Biodiversité bactéries et virus (métagénomique)
  - Endotoxines
  - Paramètres environnementaux (Gaz, temp, hum, huile, CAH)
- Échantillonnage personnel (objectif 2)
  - Quantification moléculaire de bactéries
- Étude prospective de santé chez les travailleurs (objectif 3)
  - Questionnaire mensuel
  - Symptômes respiratoires et gastroentériques

# Sites visités

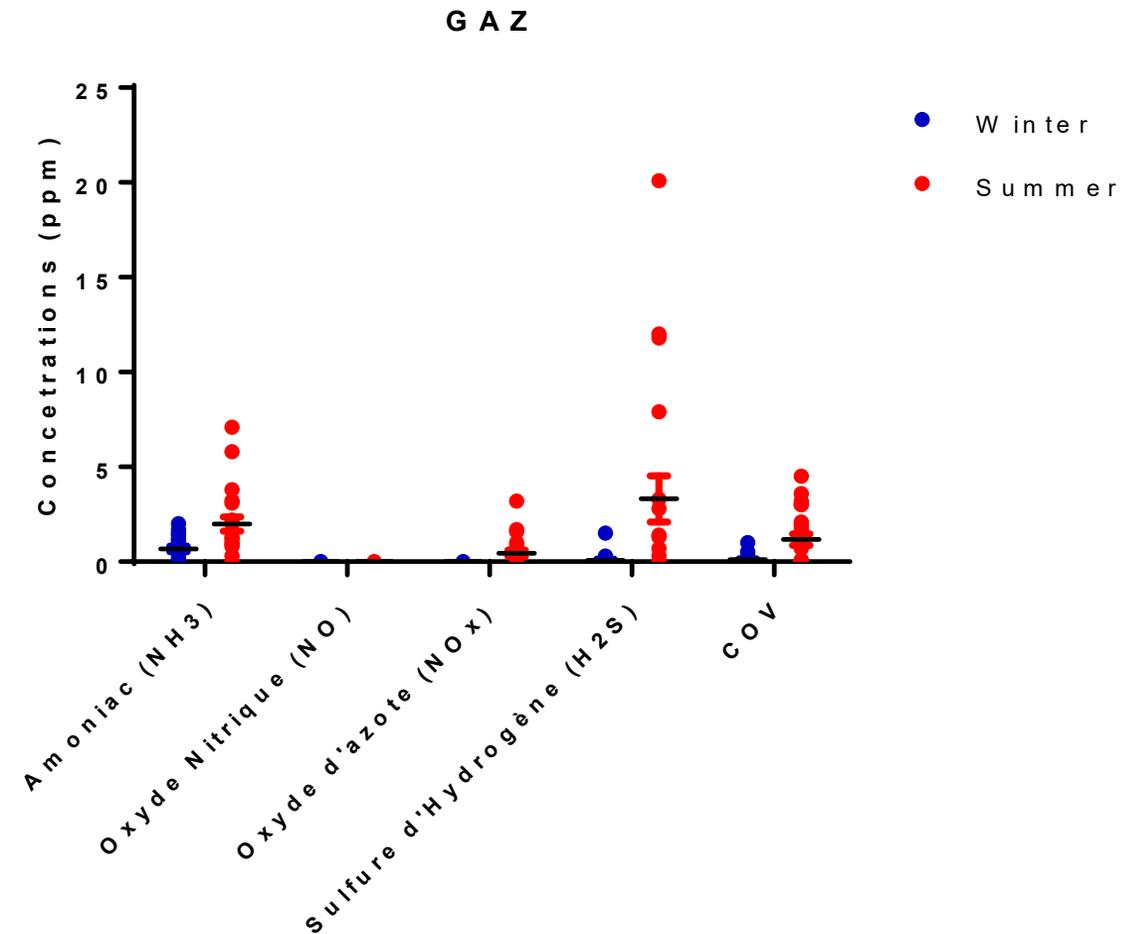
- 8 établissements au Québec
- 2 établissements en Alberta (virus)
- Exclusivement des sites intérieurs
- 4 étapes de traitement investiguées
  - Dégrilleurs
  - Dessableurs
  - Décantation primaire
  - Biofiltration

# Visites en été et en hiver

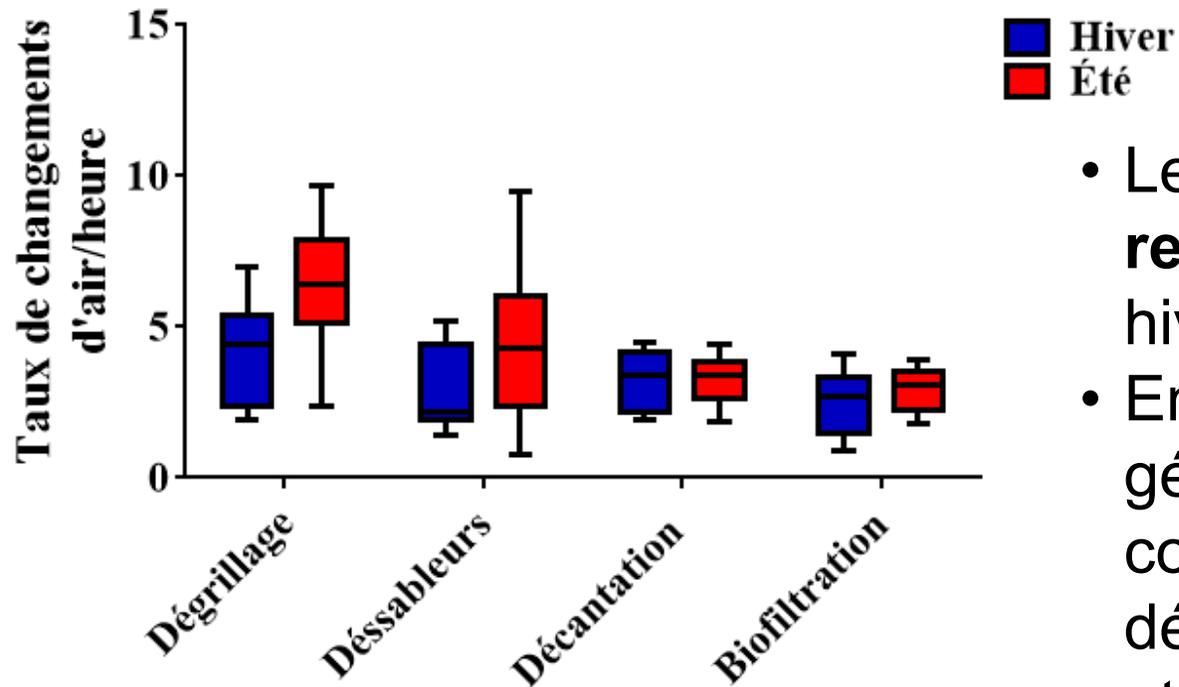


# Les gaz

- Légèrement plus élevés en été, **sous les limites normales d'exposition**
- Concentrations d'H<sub>2</sub>S plus élevées ont été obtenues lors de la visite d'une CTEU étant en alarme pour ce gaz

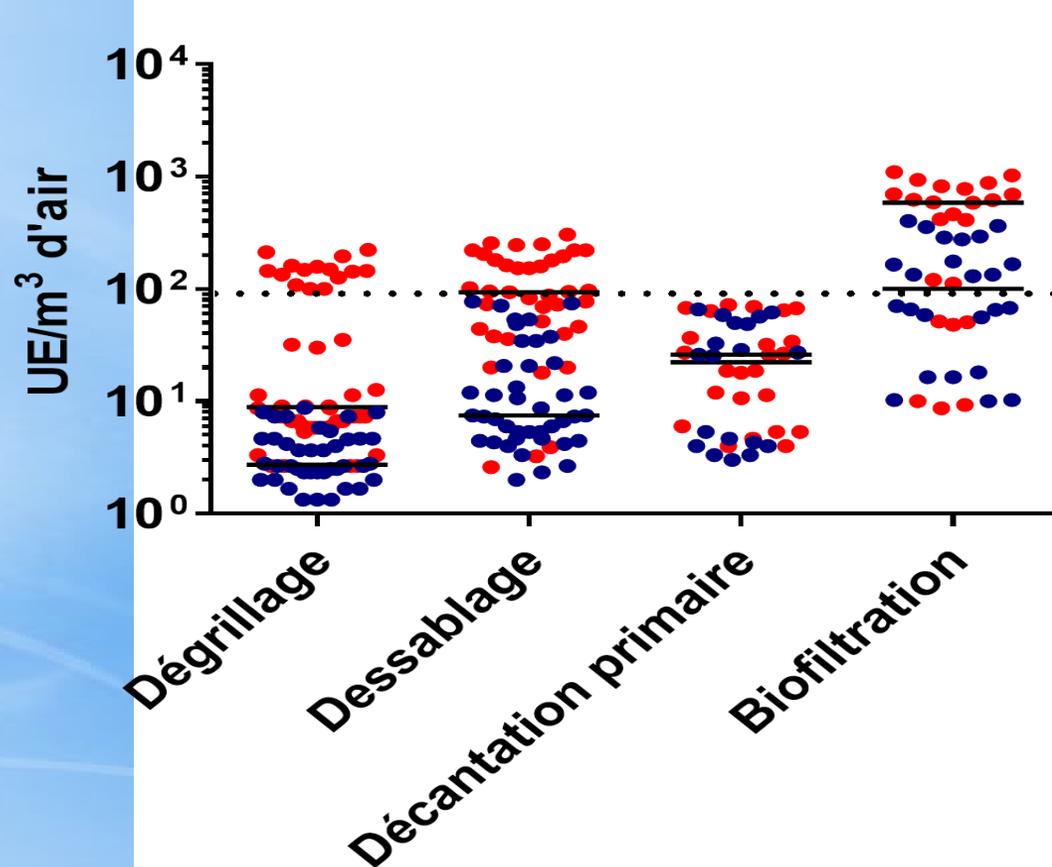


# Taux de changements d'air



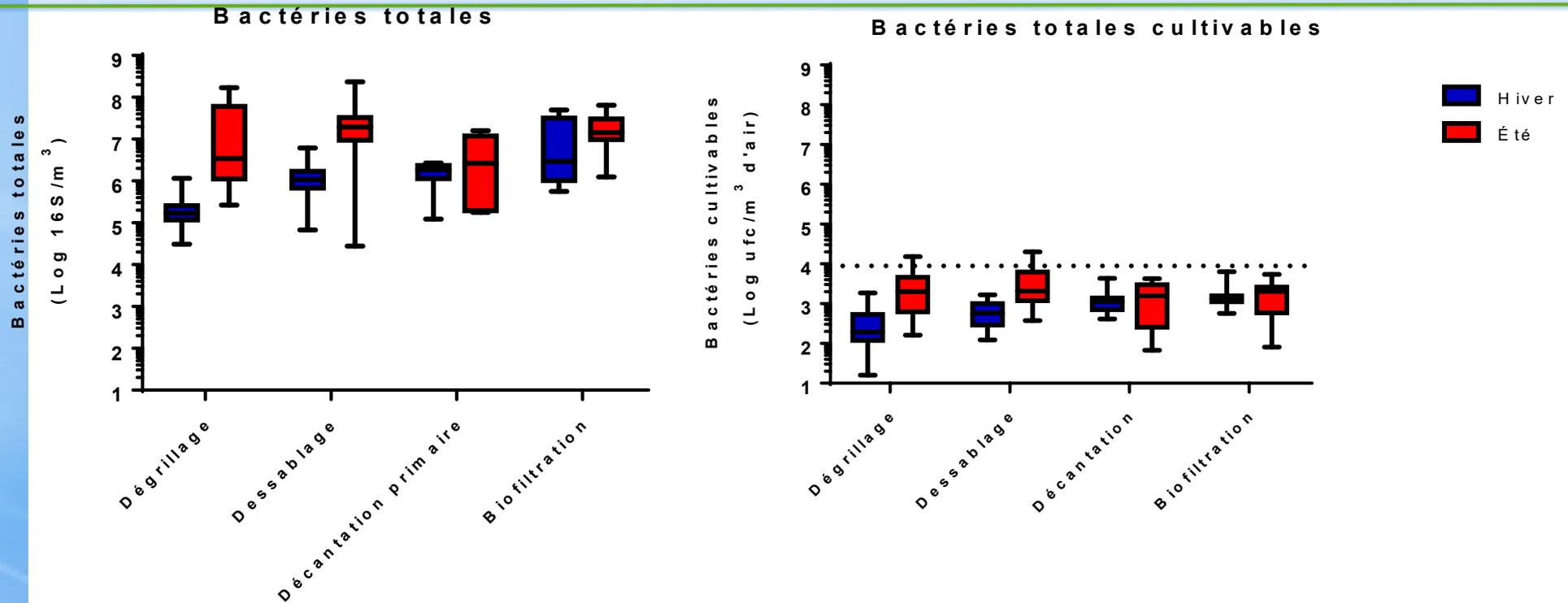
- Les taux de changements d'air sont **relativement semblables** en été et en hiver
- En été, les portes extérieures étaient généralement ouvertes lors des visites contribuant ainsi à l'augmentation des débits observés aux sites de dégrillage et dessablage

# Endotoxines



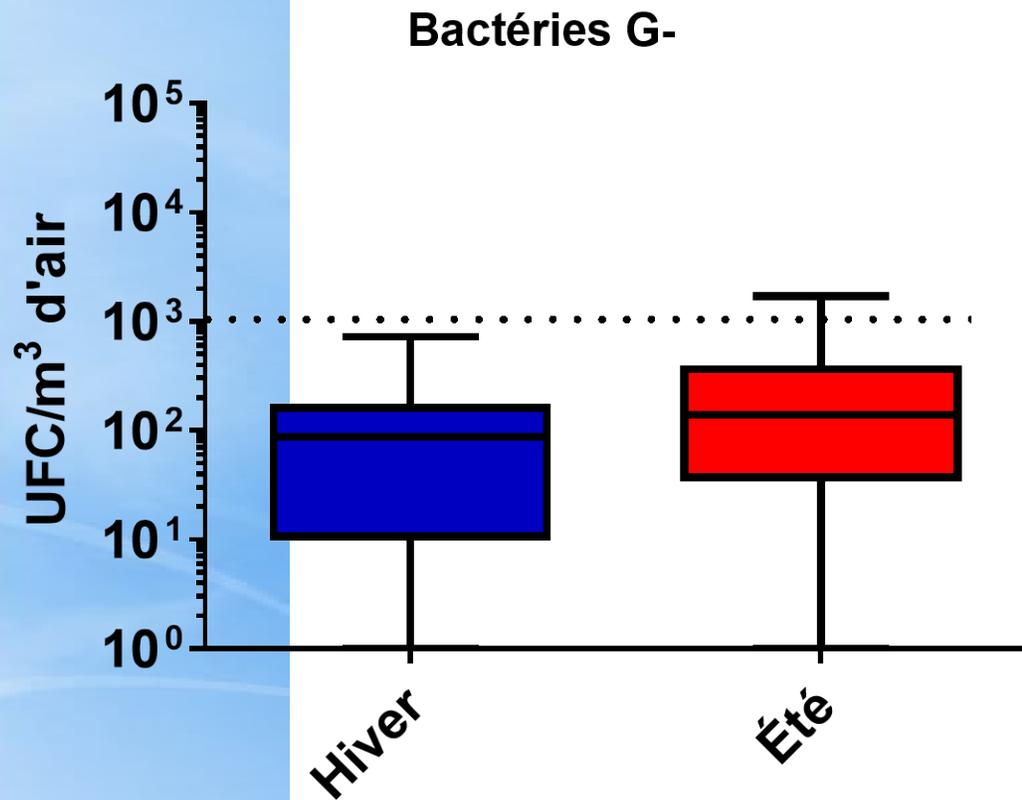
- Les concentrations d'endotoxines sont plus élevées en été
- **Elles dépassent fréquemment le seuil** pour les endotoxines (90 EU)
- Les sites ayant le plus d'activité de « brassage » de l'eau montrent des concentrations d'endotoxines supérieures

# Bactéries dans l'air



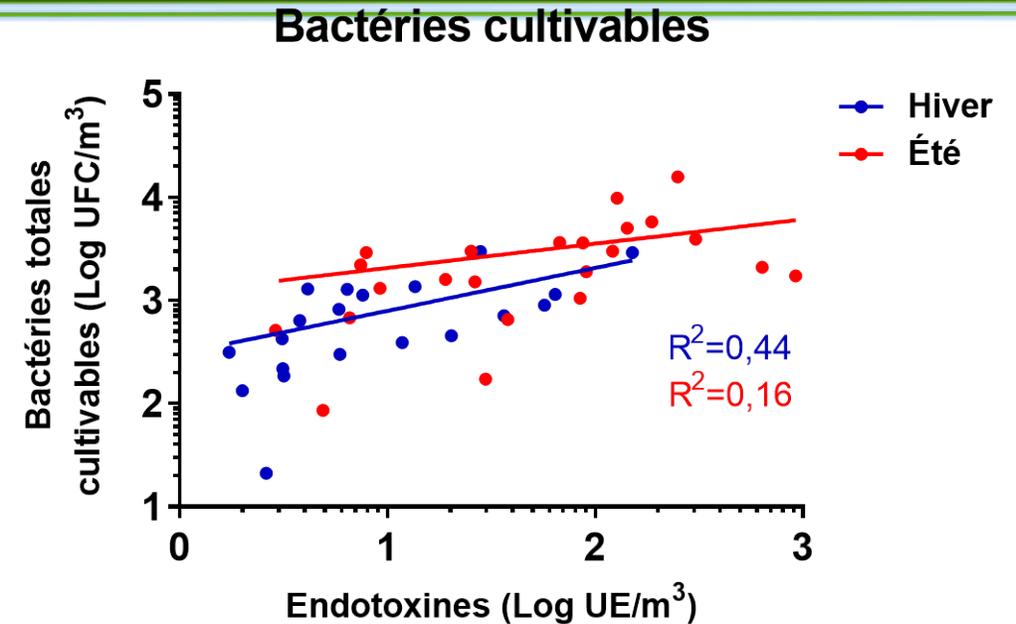
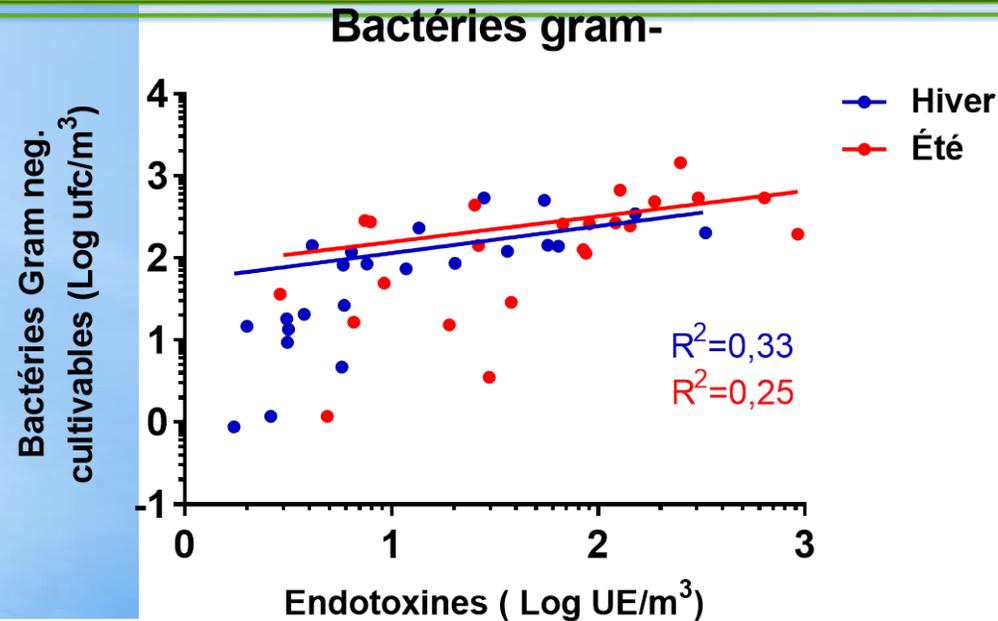
- Les concentrations de bactéries cultivables sont généralement **sous la limite recommandée malgré un dépassement fréquent des endotoxines**
- Écarts de concentration plus importants entre les saisons

# Bactéries à Gram négatif



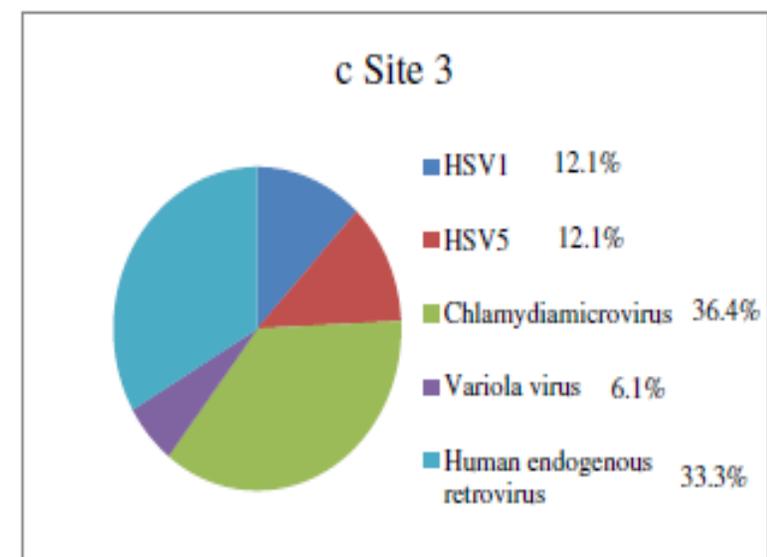
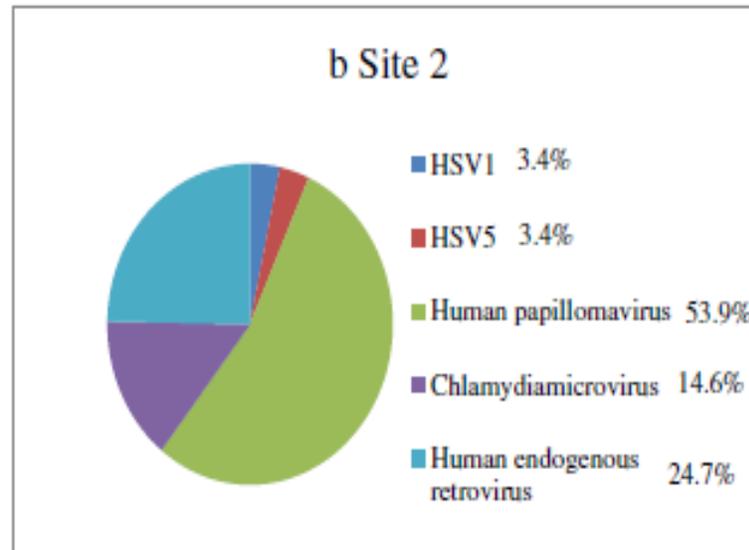
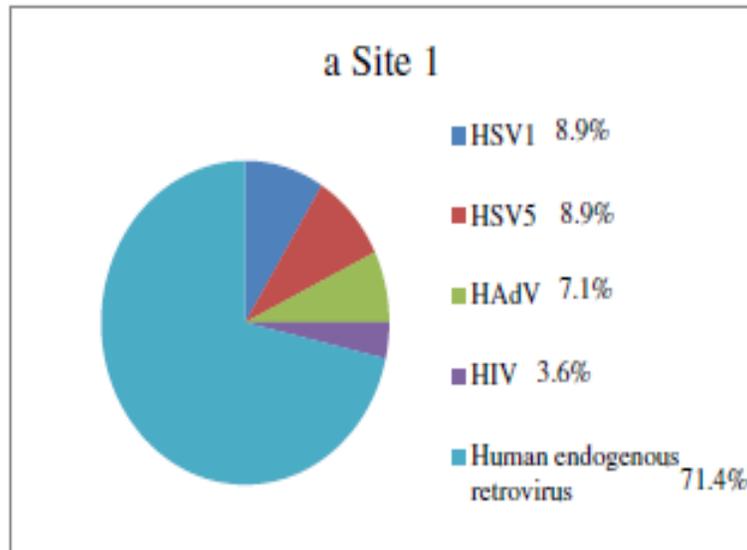
- Gram négatif : environ 10x moins concentrés que les bactéries totales cultivables
- Contrairement aux endotoxines, les concentrations de bactéries à Gram négatif sont **généralement sous la valeur recommandée** (1000 bactéries/m<sup>3</sup>)

# À la recherche de meilleur marqueur d'exposition



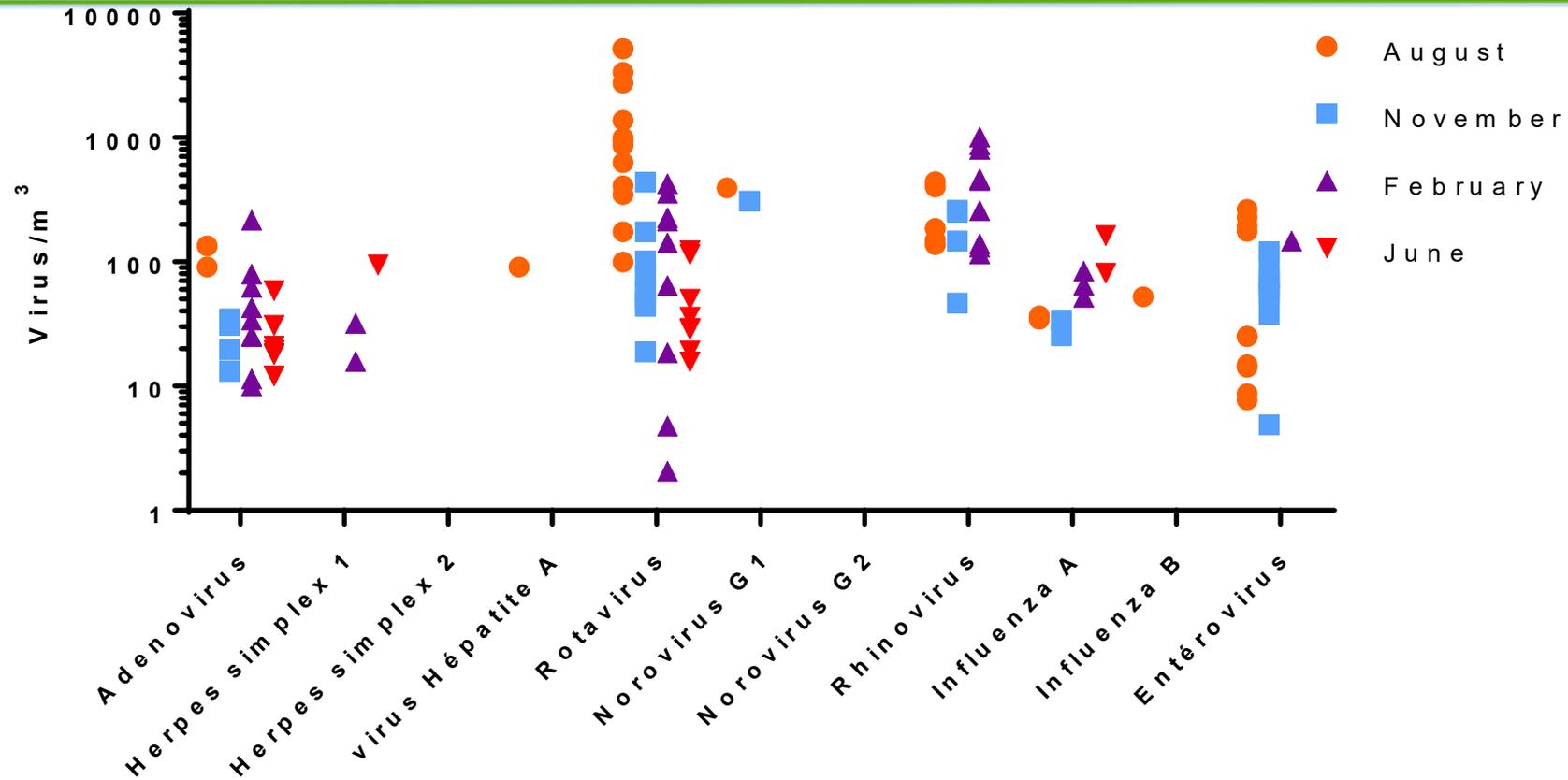
- Corrélation entre endotoxines et bactéries totales cultivables et Gram négatif
- Bactéries totales cultivables: intéressantes en raison de la facilité de réalisation de l'échantillonnage et du dénombrement, toutefois, dans le contexte des CTEU **la valeur actuellement proposée semble trop élevée**
- Différentes approches de collection des bioaérosols pour la mise en culture : performances variables

# Les virus (metagénomique) n = 3



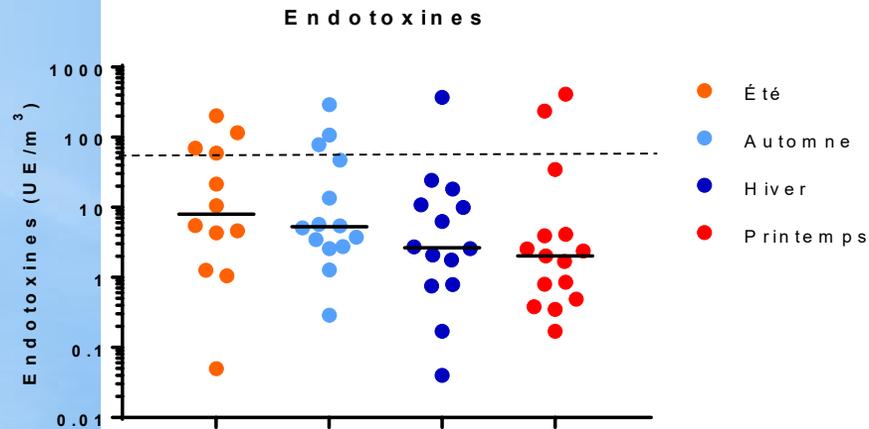
- Divers virus humains comme le virus de l'Herpès, de la Chlamydia, le VPH, le VIH et Adénovirus

# Les virus (qPCR) n = 200 (Alberta)

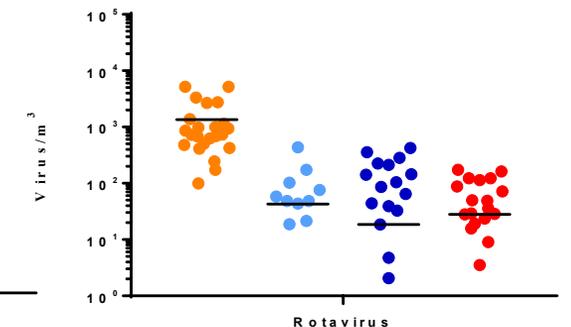
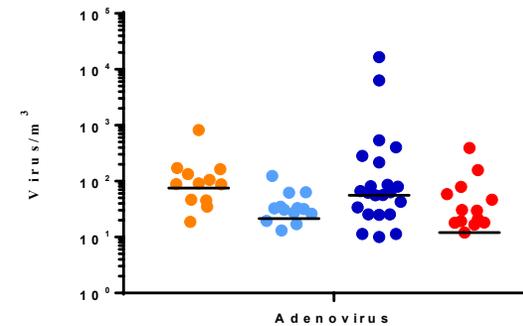
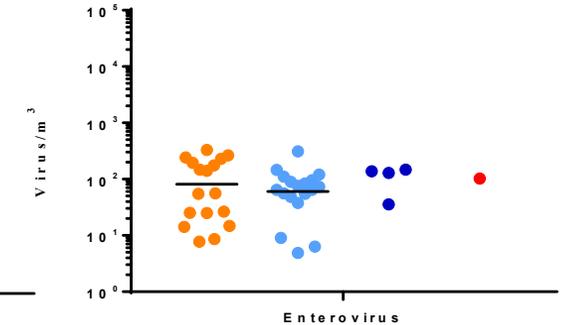
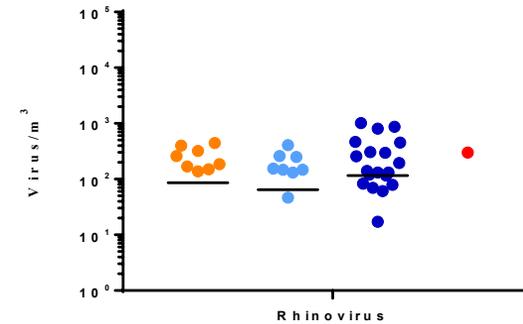


- Plusieurs virus pathogènes responsables d'affections respiratoires ou gastro-intestinales

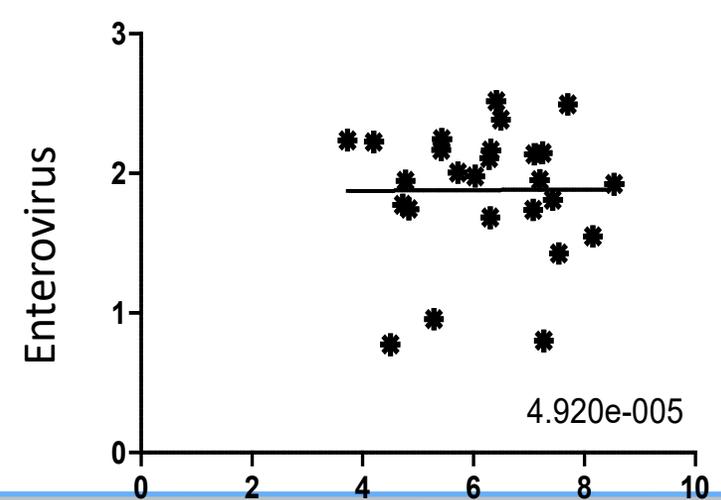
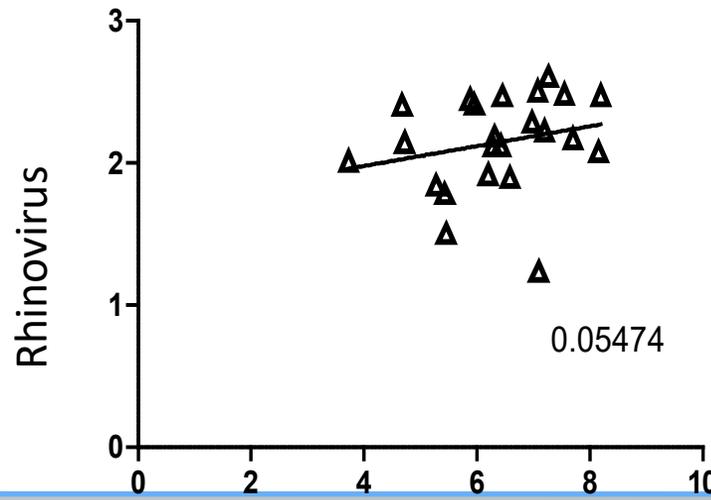
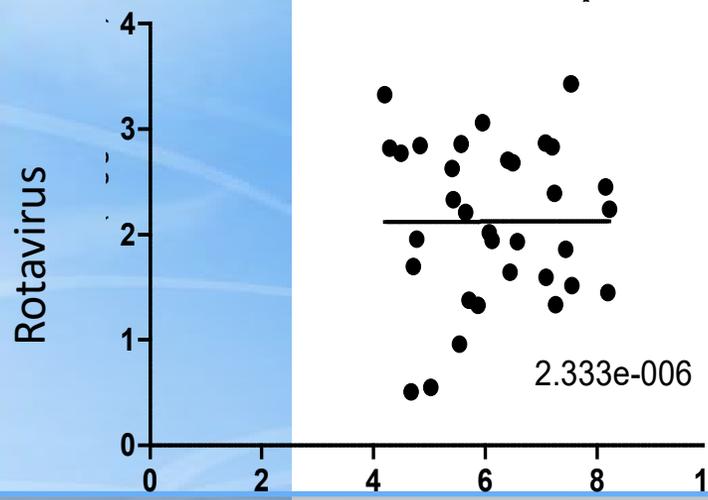
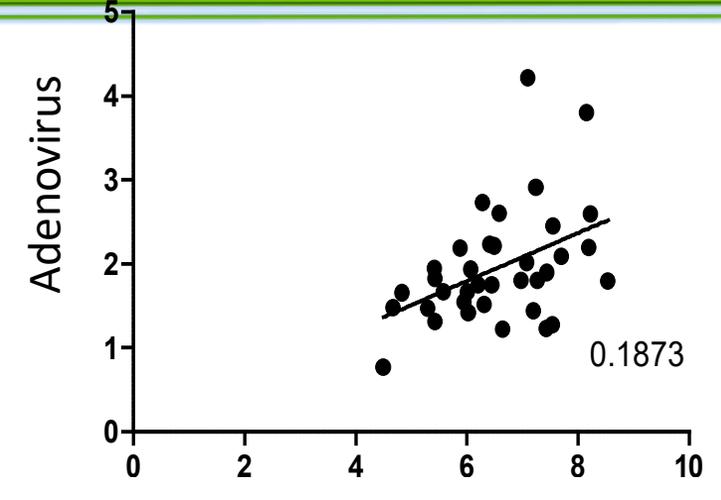
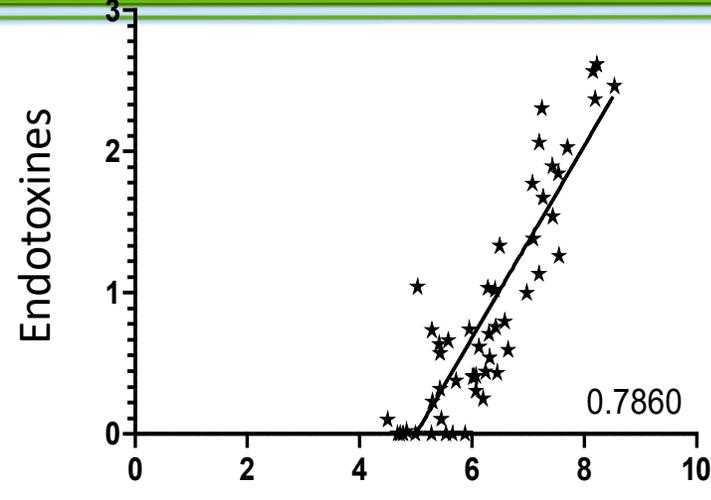
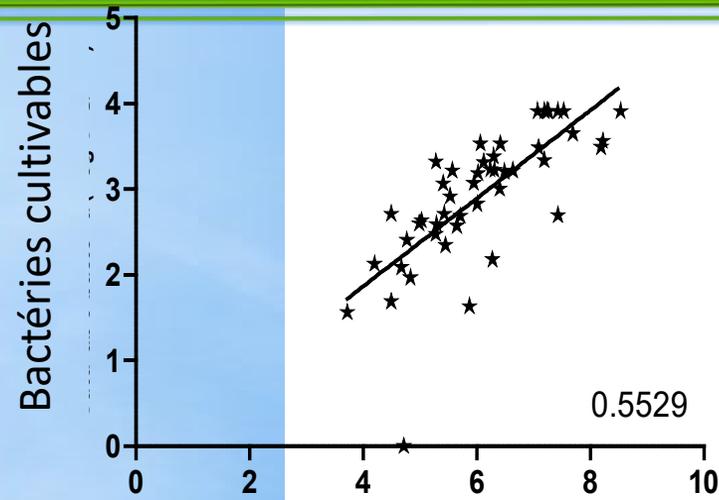
# Les virus (qPCR) n = 200 (Alberta)



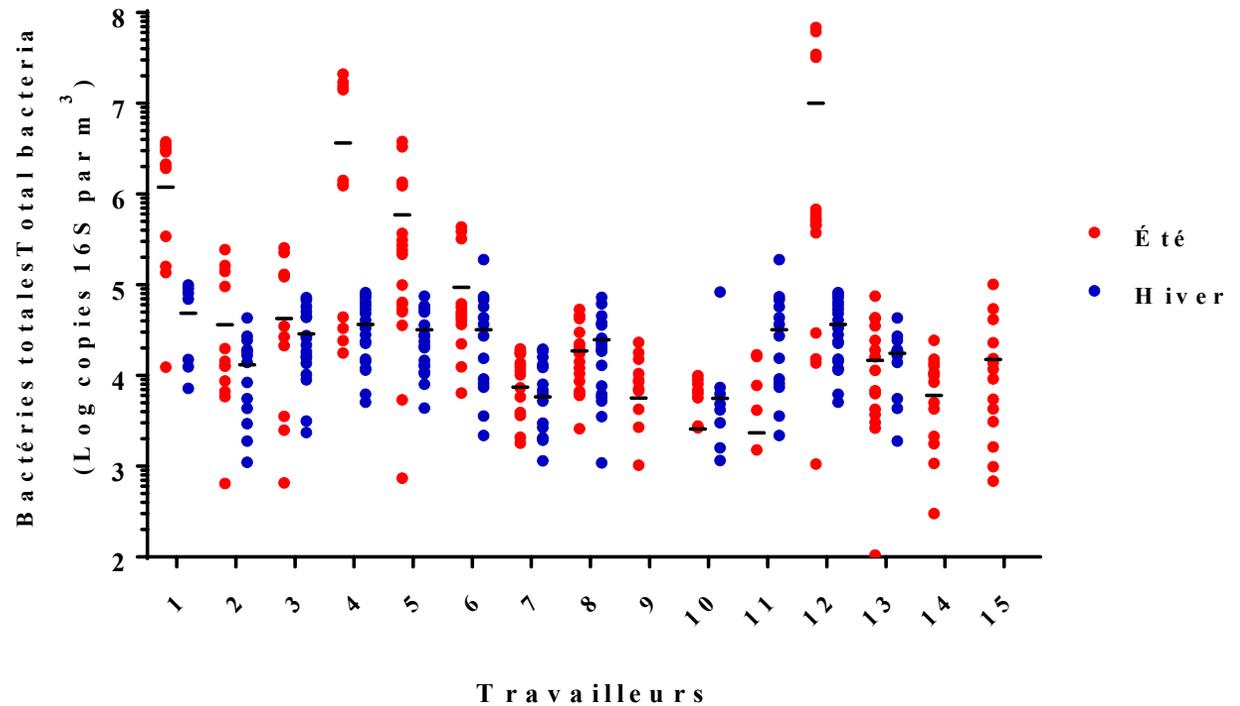
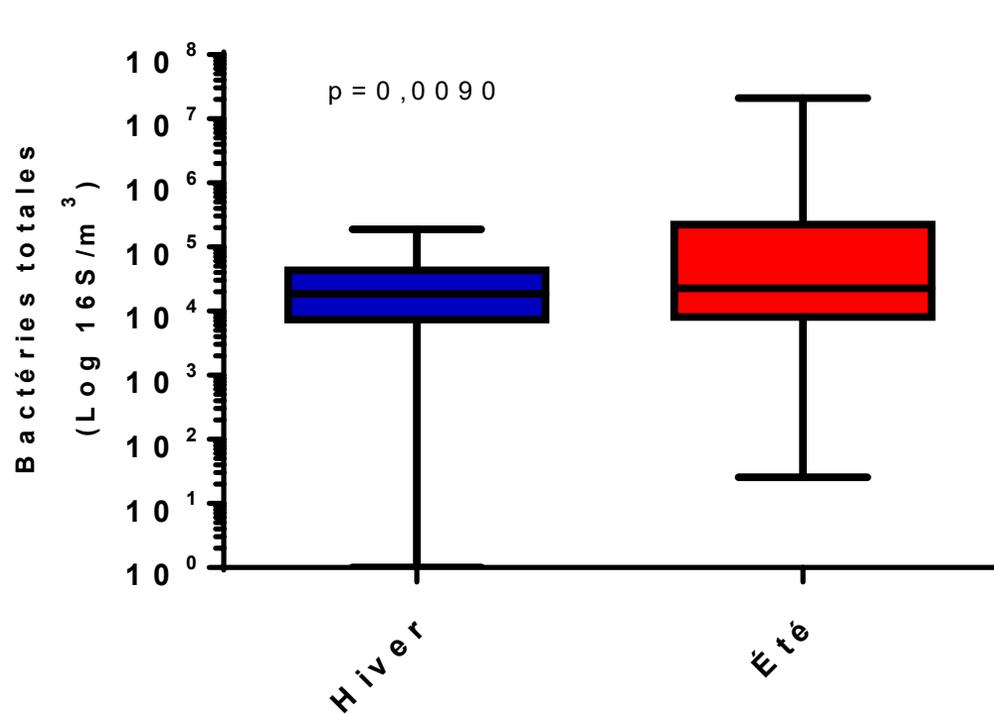
- Bien que les concentrations d'endotoxines soient basses, on retrouve des quantités appréciables de virus pathogènes aux sites correspondants



# À la recherche du meilleur marqueur d'exposition : Bactéries totales (qPCR)



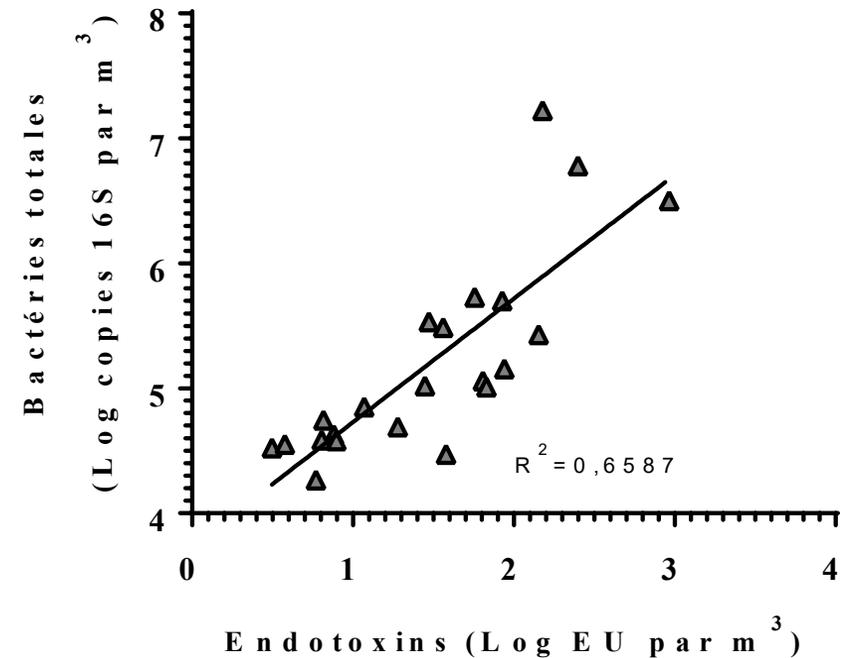
# Exposition personnelle : Bactéries totales (qPCR)



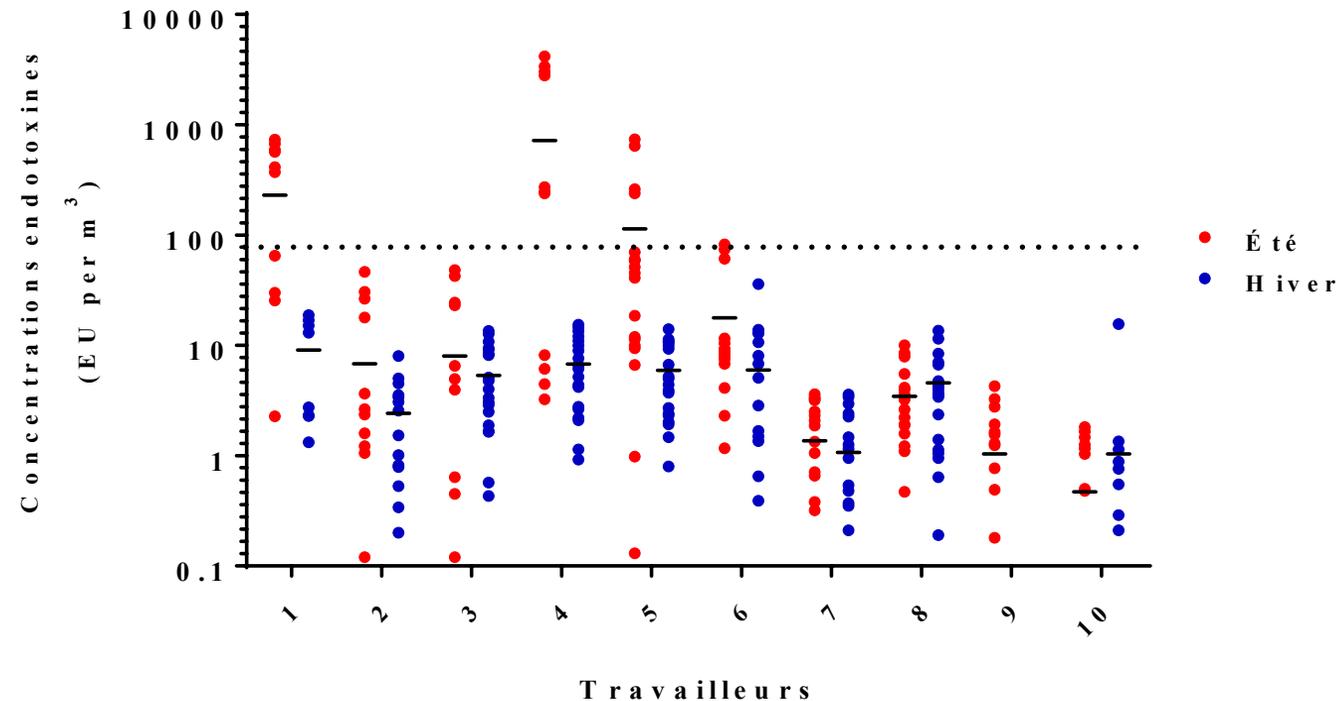
- Exposition personnelle : plus importante en été qu'en hiver

# Exposition personnelle : marqueur d'exposition

- Corrélation entre les bactéries totales et les endotoxines
- Les méthodologies d'échantillonnages et expérimentales sont relativement simples, mais nécessitent des équipements/expertises spécialisés

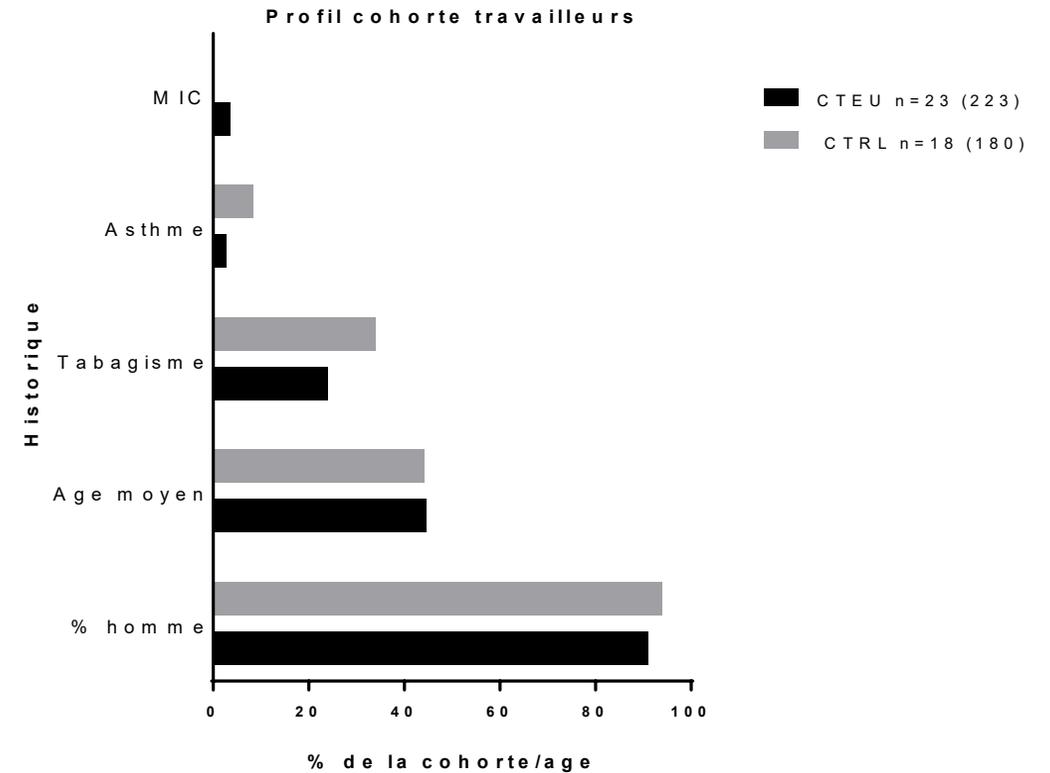
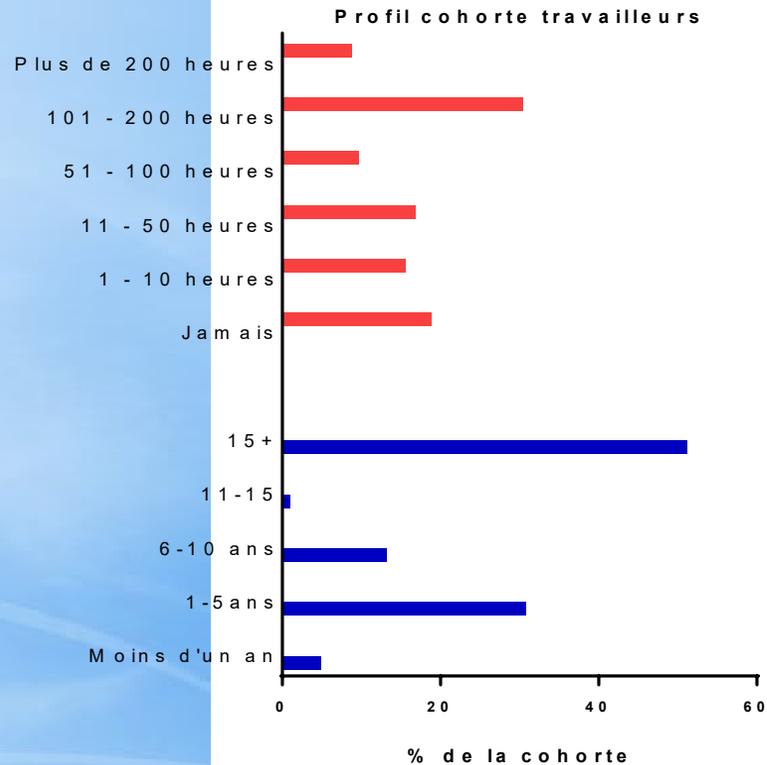


# Exposition personnelle : Endotoxines extrapolées



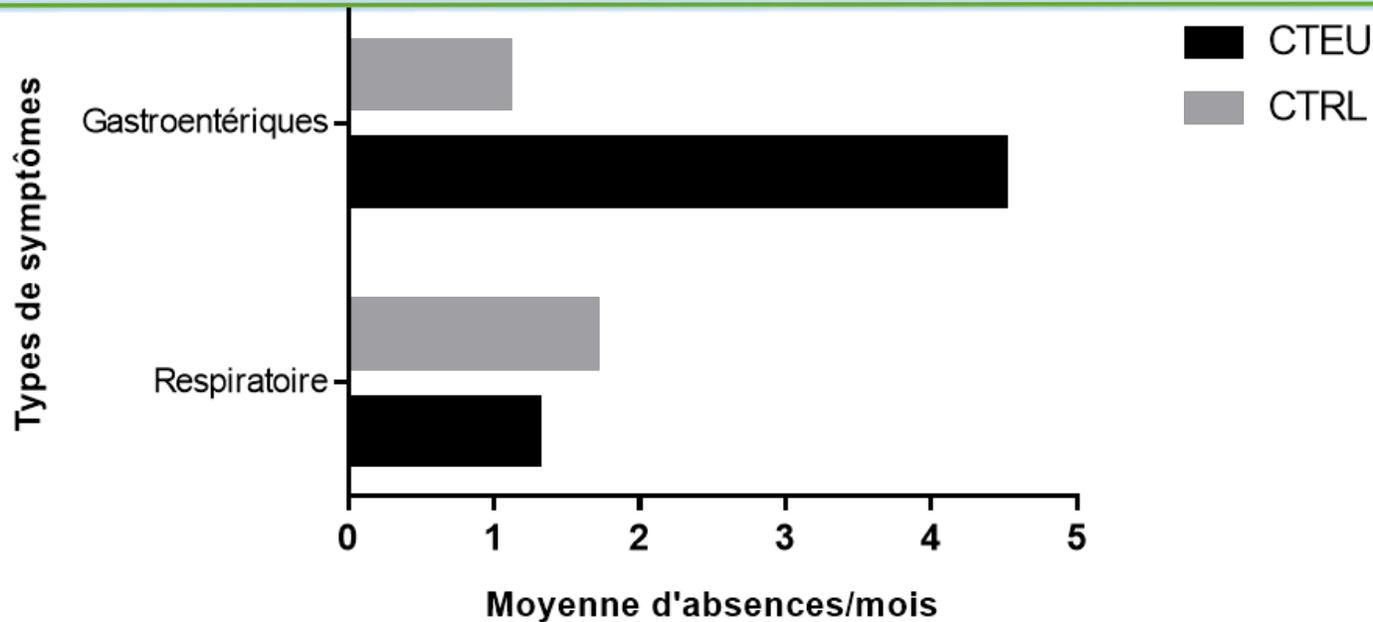
- Expositions **potentielles** (extrapolées) aux endotoxines dépassant à l'occasion les limites d'expositions recommandées

# Épidémiologie prospective chez les travailleurs : Population



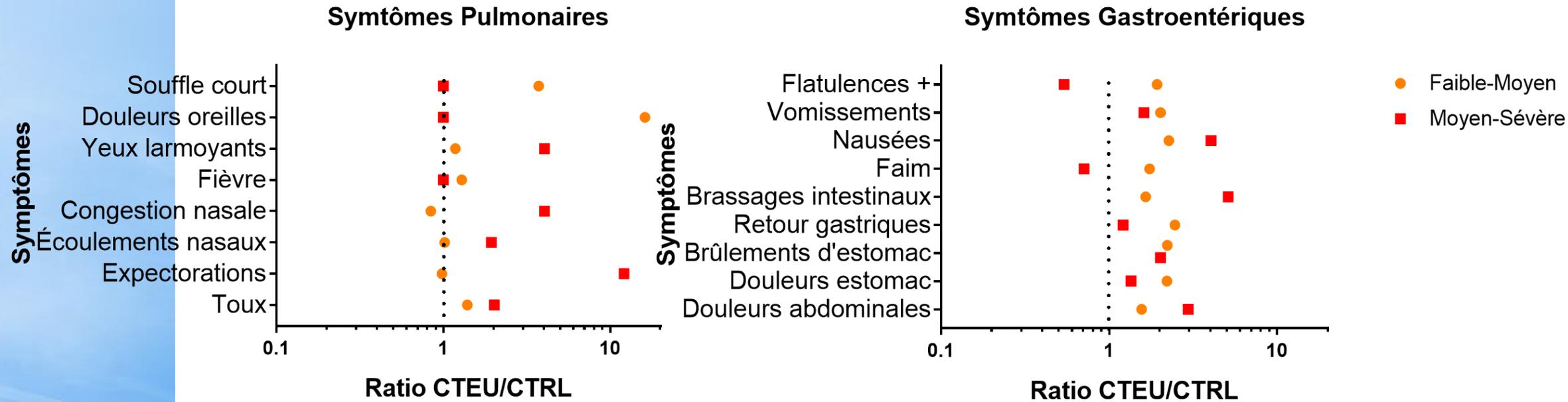
- Les populations des groupes CTEU et CTRL sont relativement similaires avec une petite sur représentation des fumeurs dans le groupe CTRL

# Épidémiologie prospective chez les travailleurs : Absentéisme



- Les travailleurs du groupe CTEU ont déclaré s'être absents du travail plus fréquemment pour des raisons liées à des symptômes en lien avec des désordres gastroentériques et légèrement moins souvent concernant des symptômes liés à des troubles respiratoires

# Épidémiologie prospective chez les travailleurs : Symptômes



- En accord avec les données d'absentéisme, les membres du groupe CTEU ont déclaré généralement souffrir de plus de symptômes d'origine gastroentériques

# Recommandations/Perspectives : Marqueur d'exposition

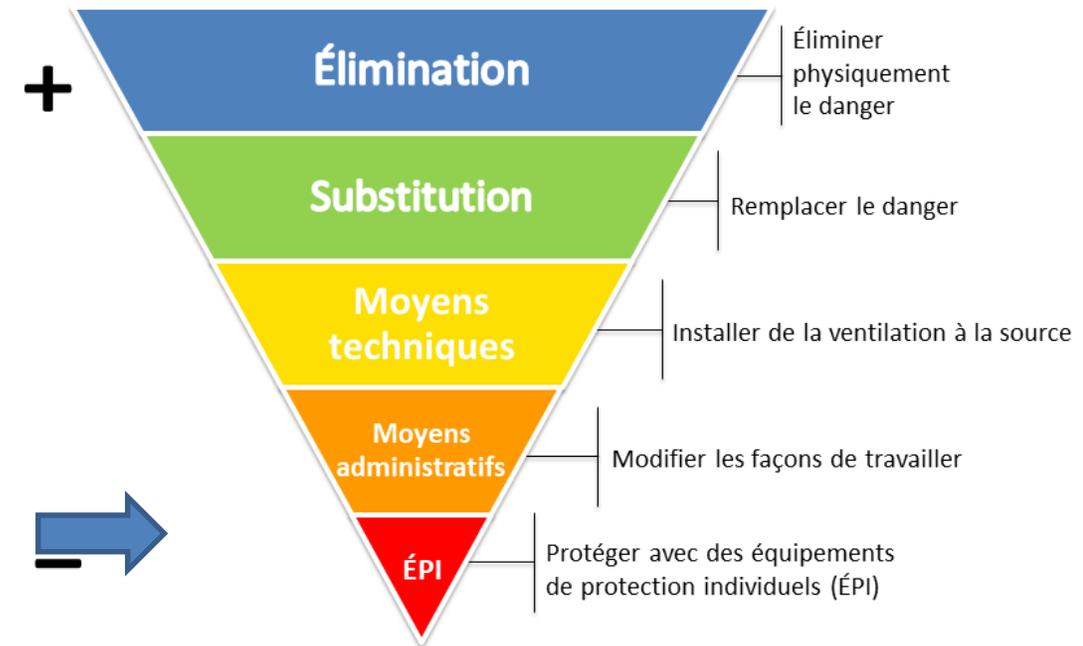
- Les recommandations actuelles pour les bactéries **totales cultivables** , appliquées au CTEU, semblent trop élevées et devraient être revues légèrement à la baisse (ex.: 5000 ufc/m<sup>3</sup>)
- Les concentrations de **bactéries totales cultivables** pourraient représenter des mesures simples pouvant estimer l'exposition et mesurer l'impact de mesures visant le contrôle de la concentration des bioaérosols
- Les mesures de **bactéries totales (qPCR)** semblent être le meilleur marqueur afin de monitorer les concentrations de bioaérosols et estimer l'exposition tant en échantillonnage stationnaire que personnelle

# Recommandations/Perspectives : Marqueur d'exposition

- Plusieurs méthodologies d'échantillonnage/analyse sont disponibles et offrent des rendements et performances différentes que les outils que nous utilisons en recherche
- Proposition/validation de méthodologies standard
  - Accessible
  - Robuste
  - Simple d'utilisation
  - Nécessitant un minimum d'équipement/expertise spécialisé

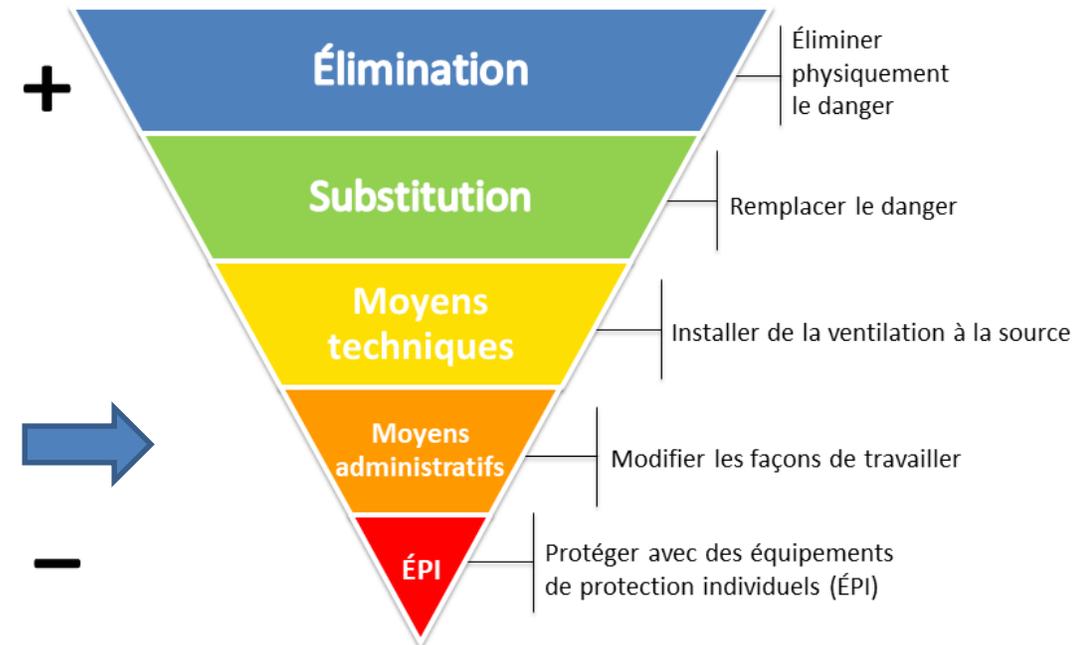
# Recommandations/Perspectives : Prévention

- Port de masque N95 dans les zones connues pour s'approcher ou dépasser les concentrations d'endotoxines recommandées



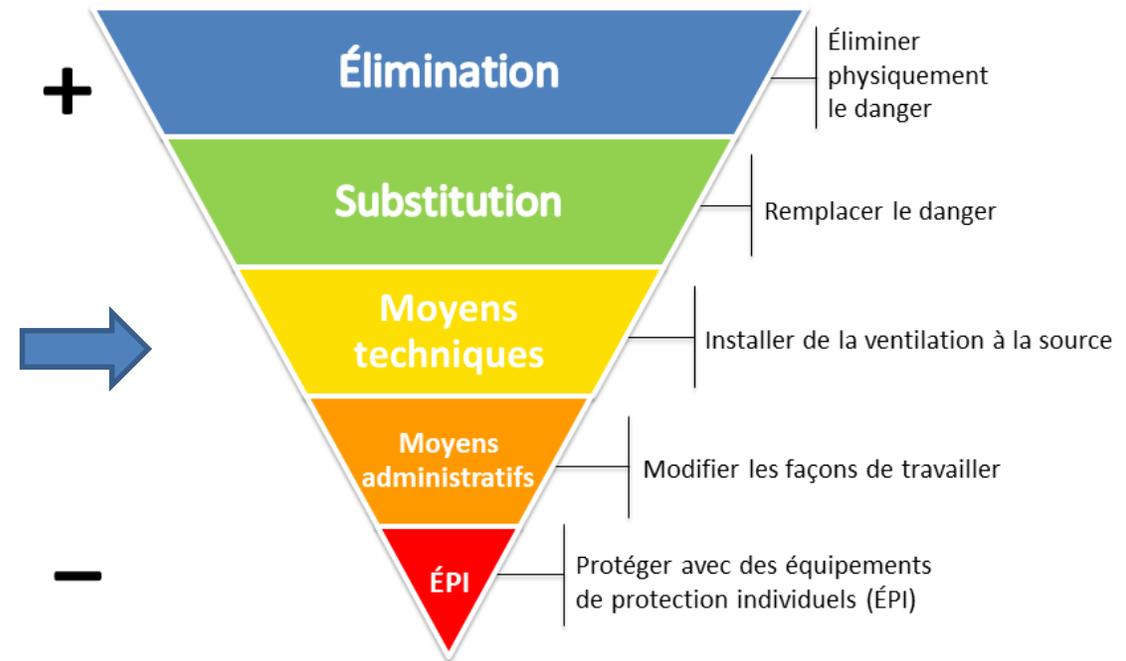
# Recommandations/Perspectives : Prévention

- La présence de plusieurs virus infectieux dans l'air force à mettre l'accent sur le respect des mesures d'hygiène dans les établissements pour réduire les contaminations via les fomites (objets-mains-bouche)



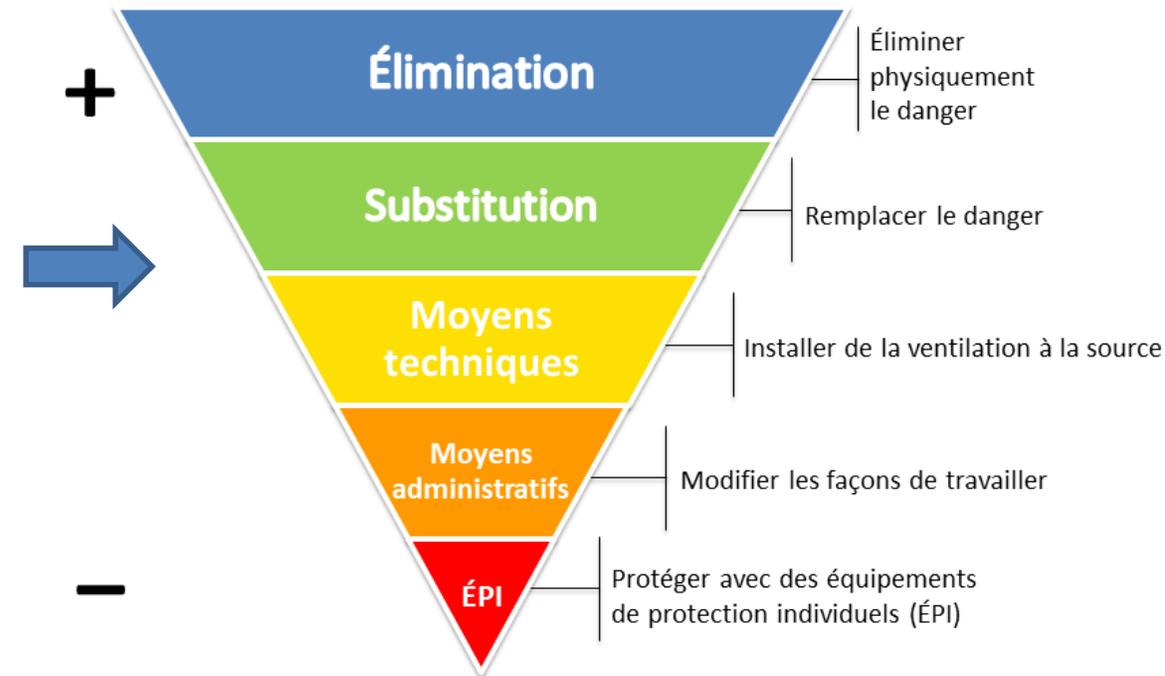
# Recommandations/Perspectives : Bâtiments

- Augmenter les débits de ventilation pendant la saison chaude

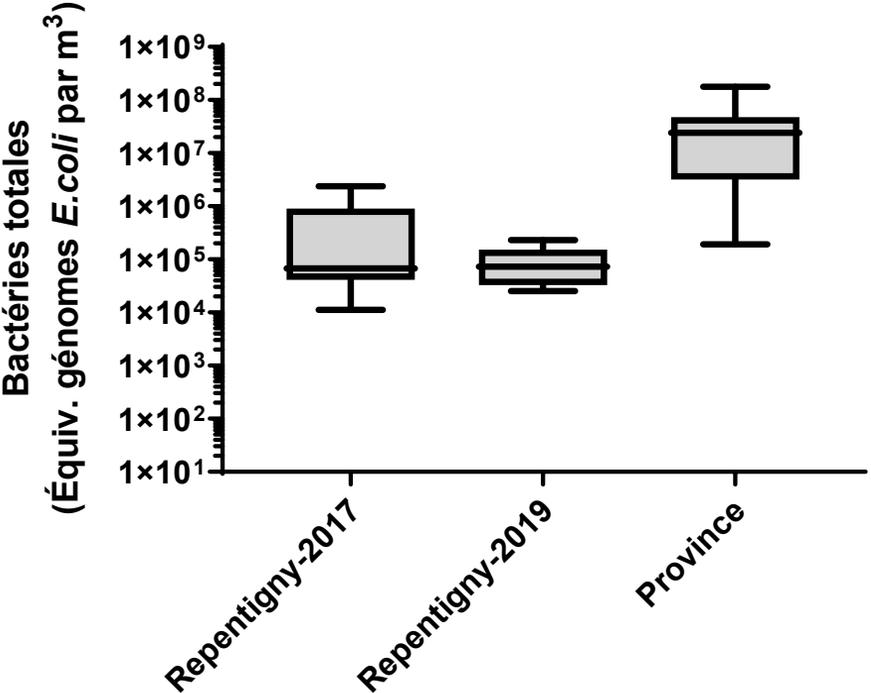
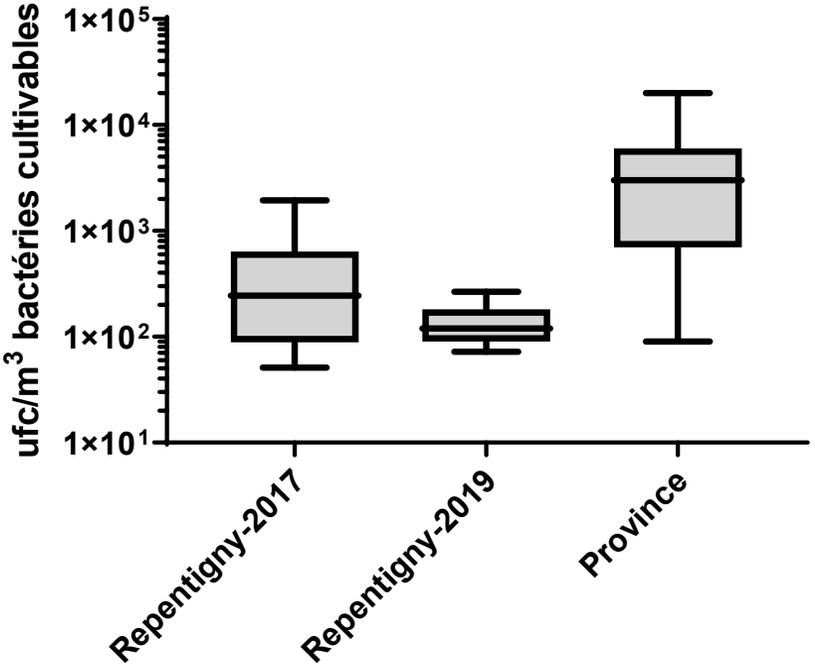


# Recommandations/Perspectives : Bâtiments

- Lors de la construction/rénovation d'équipement de traitement des eaux usées
  - Confinement des procédés
  - Extraction à la source



# Recommandations/Perspectives : Bâtiments



# Recommandations/Perspectives : Travailleurs

- Une étude de plus grande envergure
  - Longitudinale
  - Questionnaires
  - Mesures de fonctions respiratoires
  - Mesures de cytokines et immunoglobulines

# Remerciements

- IRSST pour le financement de la recherche
- Responsables des établissements participants
- Travailleurs et sujets contrôles ayant participé aux volets exposition personnelle et questionnaires
- Membres du comité de suivi du projet

## Des questions?

**LE CONTRÔLE DES BIOAÉROSOLS CONTAMINÉS À  
LA STATION DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES  
DE LA VILLE DE REPENTIGNY**

## L'ÉNONCÉ STRATÉGIQUE DE LA VILLE DE REPENTIGNY

Ville unique par sa qualité de vie optimale, Repentigny poursuit, avec dynamisme, constance et sans compromis, sa vision précise de créer une ville totalement humaine, accueillante, branchée, dynamique, culturelle, prospère, verte et sécuritaire.

Secteur Repentigny  
60 000 habitants

# LA FILIÈRE PHYSICOCHIMIQUE

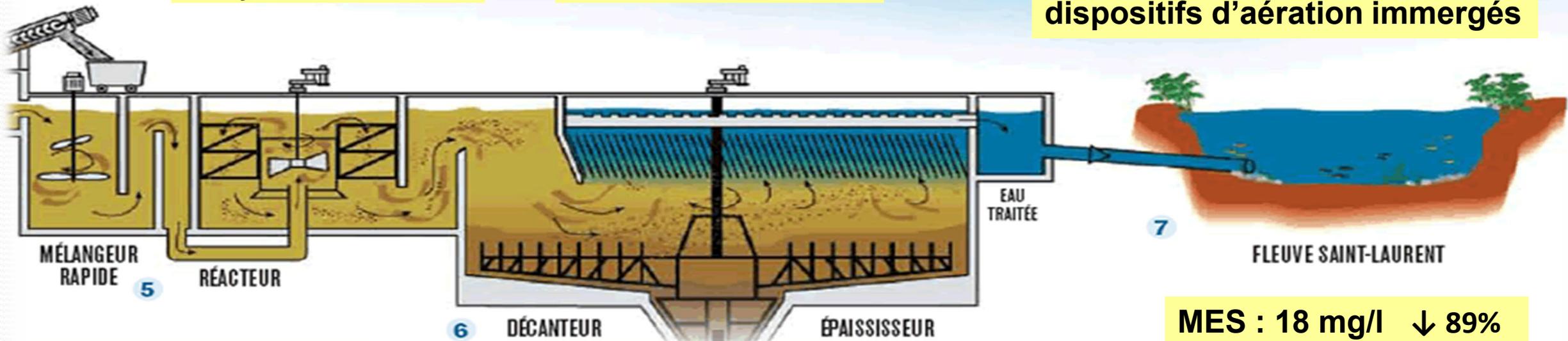
pompage des sables  
via pont-roulant



$Q_{\text{moy}} = 26\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$

tamis escalier 6 mm

dispositifs d'aération immergés



dosages de sulfate  
ferrique & polymère

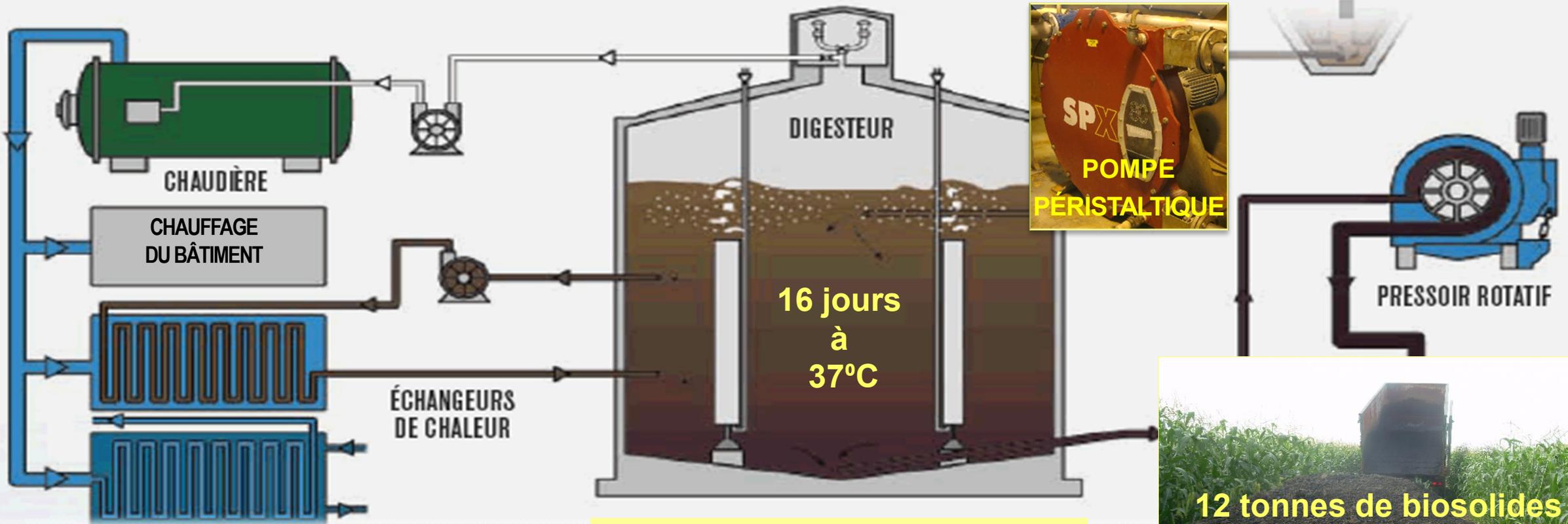
soutirage des boues  
vers les digesteurs

MES : 18 mg/l ↓ 89%  
PO<sub>4</sub> : 0,45 mg/l ↓ 82%  
DBO<sub>5</sub> : 24 mg/l ↓ 70%

# LA BIOMÉTHANISATION ET LA DÉSHYDRATATION

2100 m<sup>3</sup>/d de biogaz à 60% CH<sub>4</sub> (sans H<sub>2</sub>S)

pompage des boues décantées



90% des besoins thermiques de la STEU comblés par le biogaz

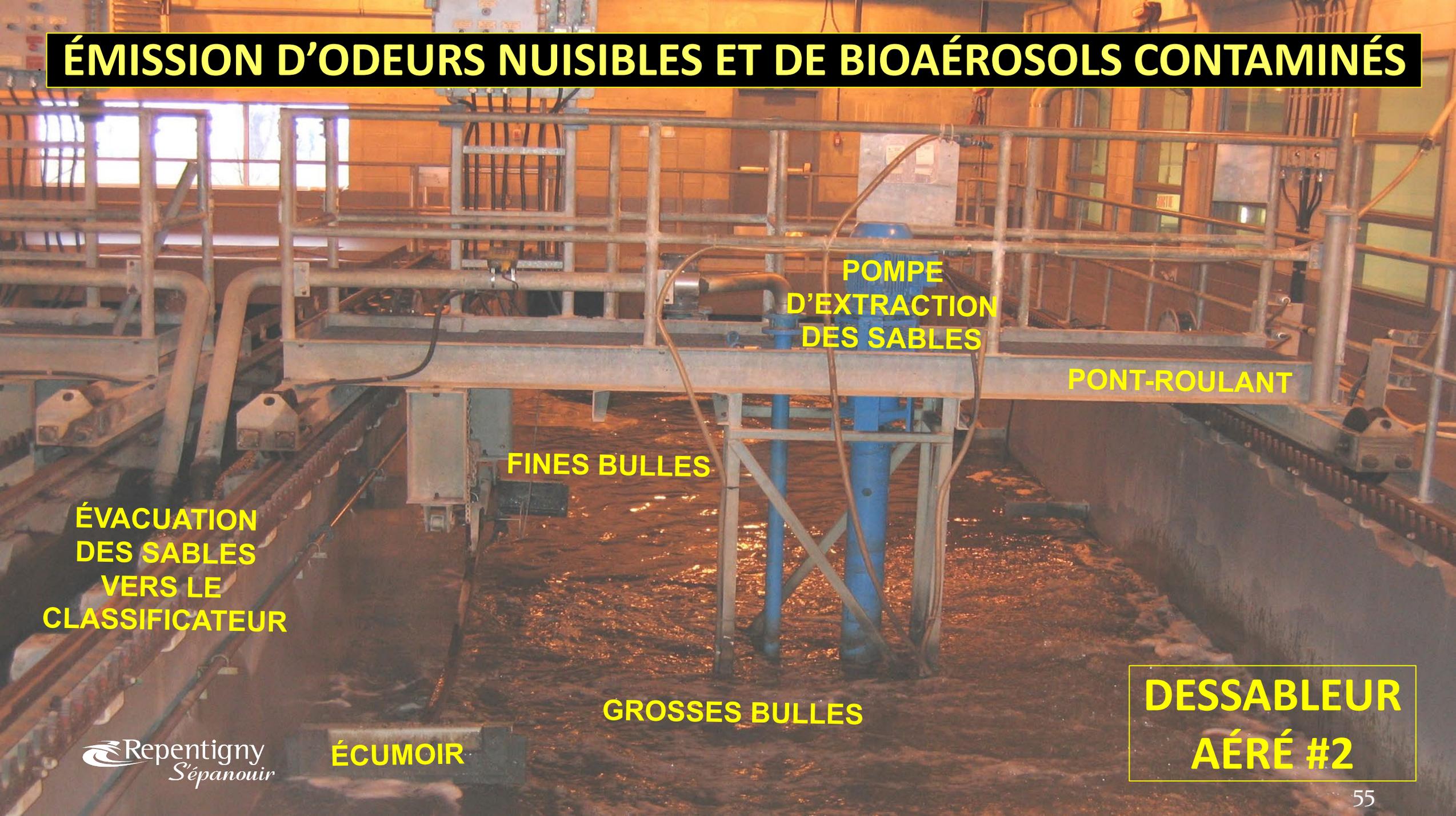
réduction de moitié de la teneur en matière organique

12 tonnes de biosolides par jour 100% recyclés sur les terres agricoles

## PROBLÉMATIQUES LIÉES AUX INFRASTRUCTURES EXISTANTES

- ❑ Émission d'odeurs et de bioaérosols contaminés dans l'atmosphère ambiant
- ❑ Entretien élaboré de la mécanique (ponts-roulants, pompes, aérateurs, etc.)
- ❑ Dégradation de l'ensemble des composantes structurales exposées
- ❑ Accumulation de filasse sur les multiples composantes immergées
- ❑ Entretien sanitaire fréquent des lieux de travail situés en périphérie
- ❑ Accès difficile aux bassins lors des opérations de vidange et d'entretien
- ❑ Balancement complexe de la ventilation de cette section du procédé
- ❑ Perte importante de particules fines du classificateur vers le bassin de transition

# ÉMISSION D'ODEURS NUISIBLES ET DE BIOAÉROSOLS CONTAMINÉS



POMPE  
D'EXTRACTION  
DES SABLES

PONT-ROULANT

FINES BULLES

ÉVACUATION  
DES SABLES  
VERS LE  
CLASSIFICATEUR

GROSSES BULLES

ÉCUMOIR

DESSABLEUR  
AÉRÉ #2

## DÉROULEMENT DE LA DÉMARCHE

- ❑ Avril 2015 : Réalisation des premiers échantillonnages microbiologiques sur le procédé
- ❑ Mai 2016 : Dévoilement des résultats préliminaires obtenus à différentes stations
- ❑ Octobre 2016 : Lancement de l'étude d'avant-projet de réfection des dessableurs
- ❑ Mars 2017 : Octroi du mandat de conception de la réfection des dessableurs
- ❑ Printemps & été 2017 : Élaboration des plans et devis
- ❑ Novembre 2017 : Lancement de l'appel d'offres pour la réalisation des travaux
- ❑ Février 2018 : Ouverture du chantier et début des travaux de réfection
- ❑ Février 2019 : Réception des installations ainsi rénovées

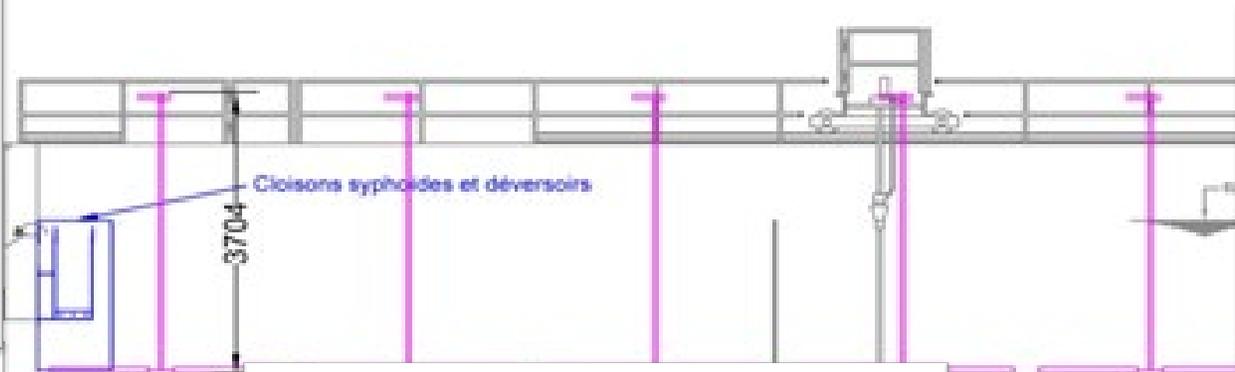
# LES CRITÈRES DE CONCEPTION DES DESSABLEURS

- ❑ Deux dessableurs identiques entièrement redondants
- ❑ Capacité de 68 000 m<sup>3</sup>/d chacun soit le débit de pointe de la station
- ❑ Densité relative de 2,65 des particules prise en considération
- ❑ Vitesse ascensionnelle à  $Q_{\text{moy}} = 11$  m/h et à  $Q_{\text{max}} = 39$  m/h
- ❑ Enlèvement des particules à débit maximal :
  - 95% des particules de 0,30 mm  $\Phi$
  - 85% des particules de 0,20 mm  $\Phi$
  - 65% des particules de 0,15 mm  $\Phi$

Le dessablage obtenu est très efficace et a permis de maintenir un cycle de vidange des digesteurs de 5 ans depuis leur mise en route initiale en 1996

# IMPLANTATION DES MÉCANISMES D'EXTRACTION DES SABLES AU FOND DU DESSABLEUR

**POMPAGE DES SABLES  
VERS LE CLASSIFICATEUR**



**CONVOYEUR  
À VIS**



**PUITS DE COLLECTE**



5600

# COUVERTURE DES DESSABLEURS ET ÉVACUATIONS DE L'AIR VICIÉ



2 TONNES

2 TONNES

VERS LE  
TRAITEMENT  
DES ODEURS



SOUTIRAGE  
DE L'AIR  
CONTAMINÉ

SÉCURISATION  
DES ACCÈS

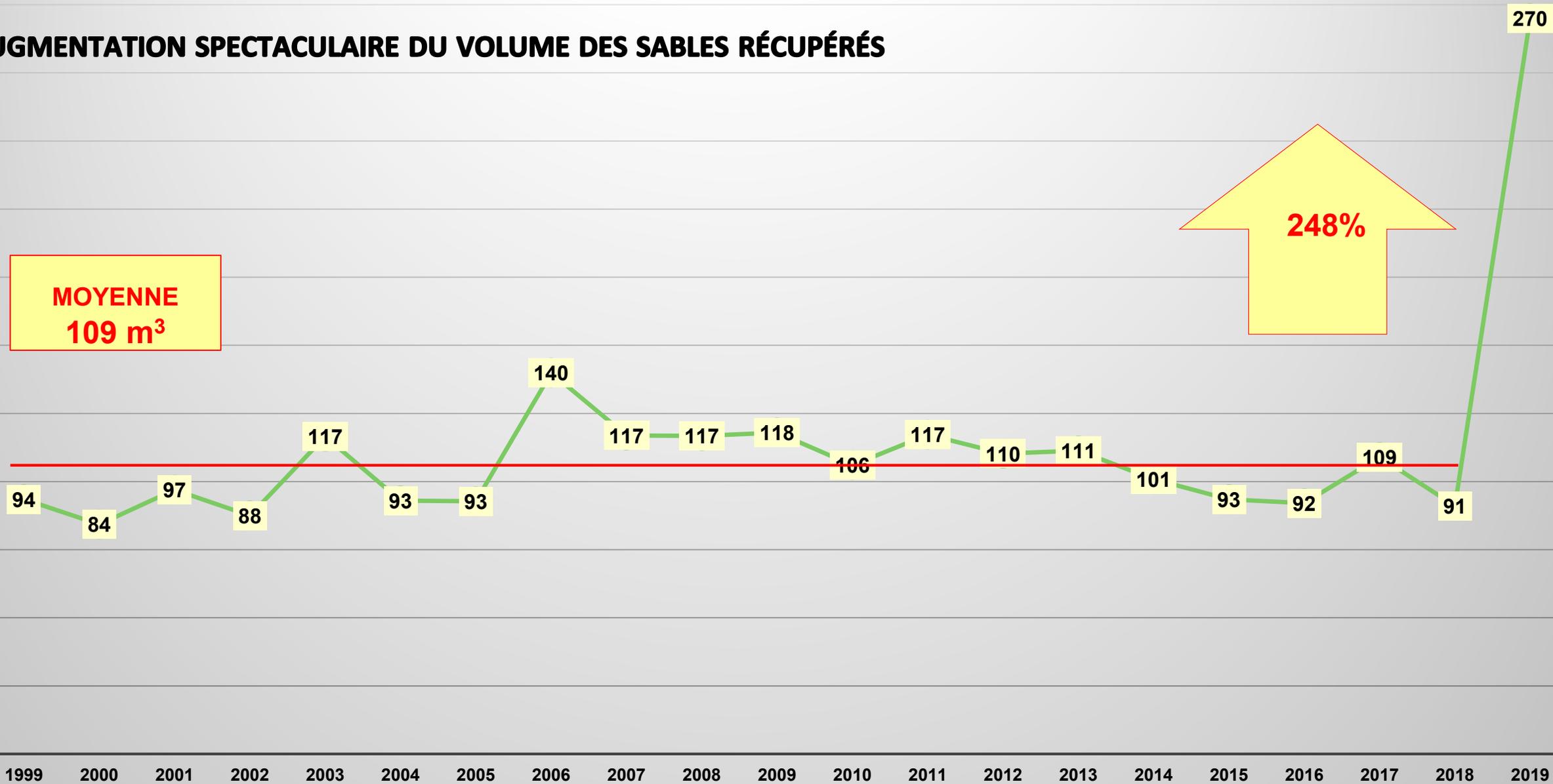


SOUFFLANTES  
CENTRIFUGES

CAILLEBOTIS  
COUVERTS DE TAPIS  
CAOUTCHOUTÉS

## AUGMENTATION SPECTACULAIRE DU VOLUME DES SABLES RÉCUPÉRÉS

Mètres cubes



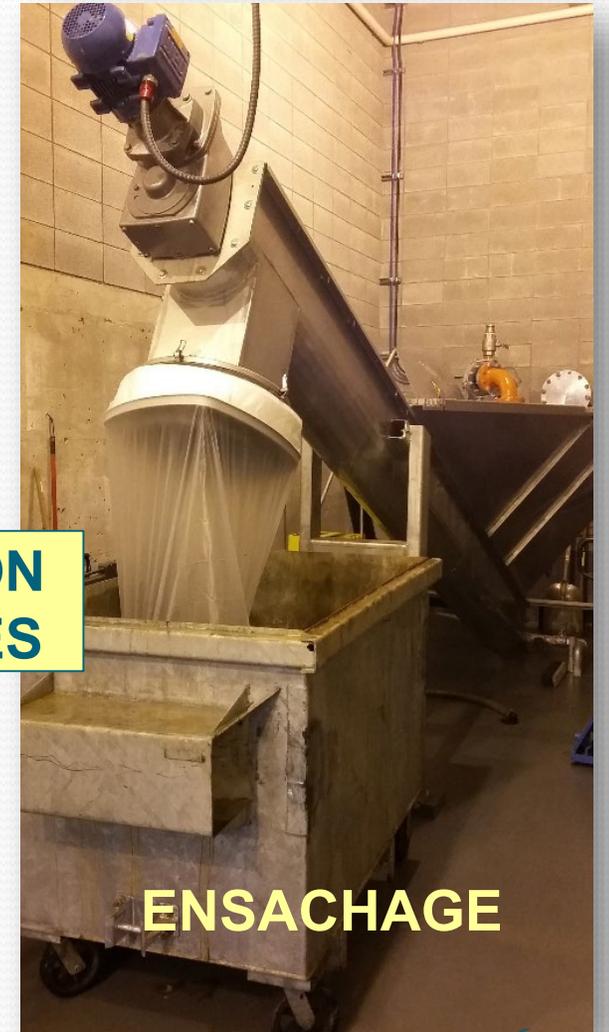
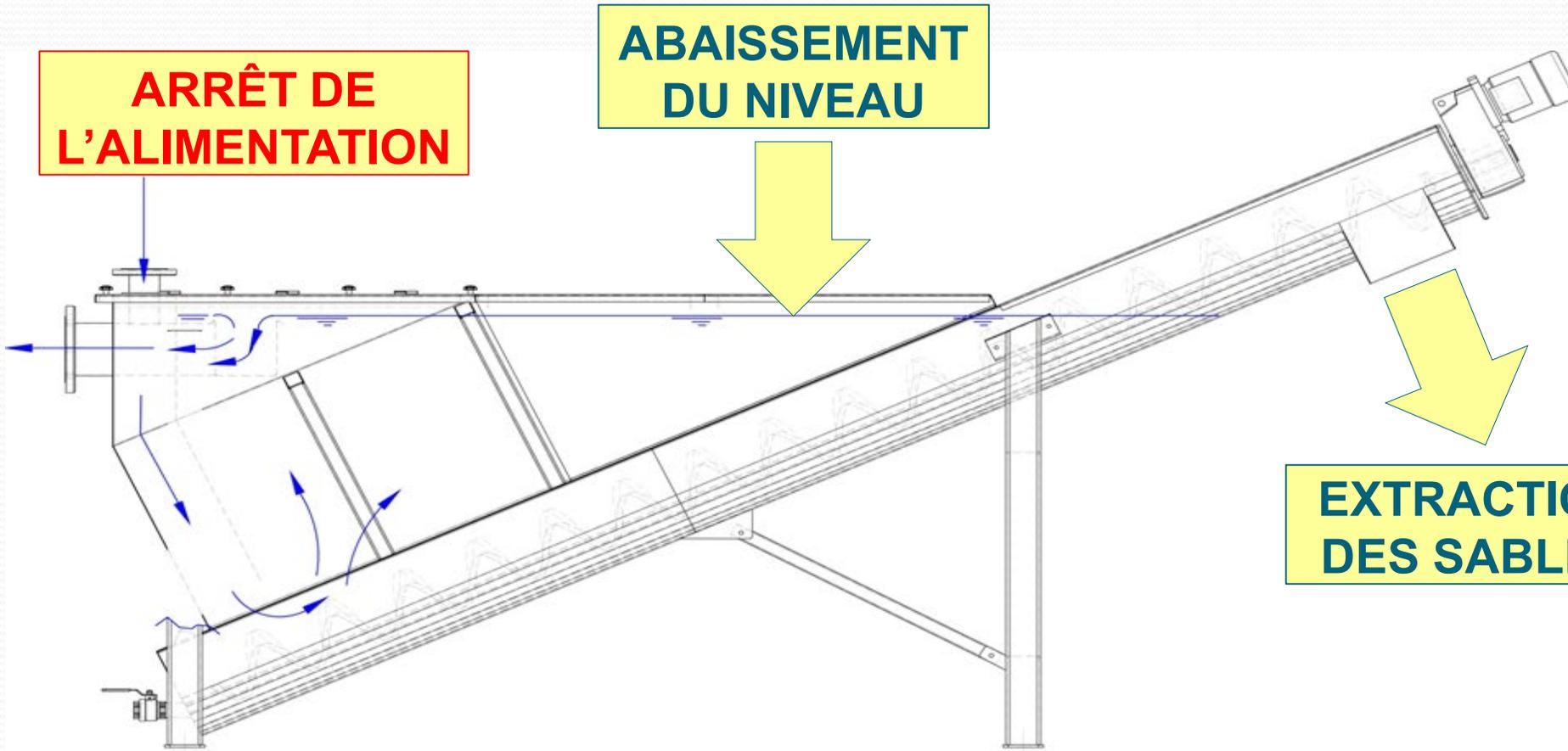
# CLASSIFICATEUR À SABLES FONCTIONNANT EN MODE SÉQUENTIEL

**ARRÊT DE  
L'ALIMENTATION**

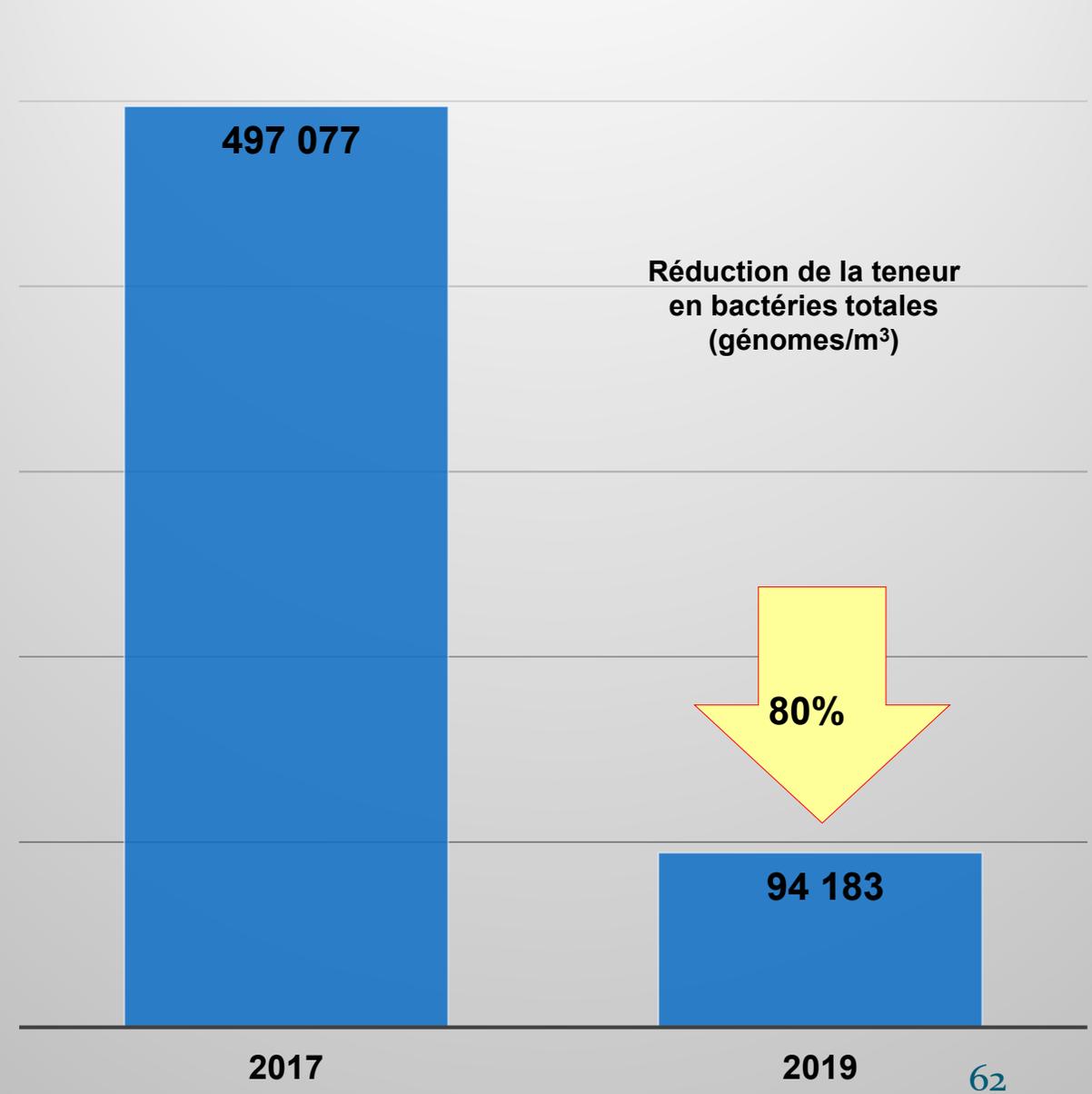
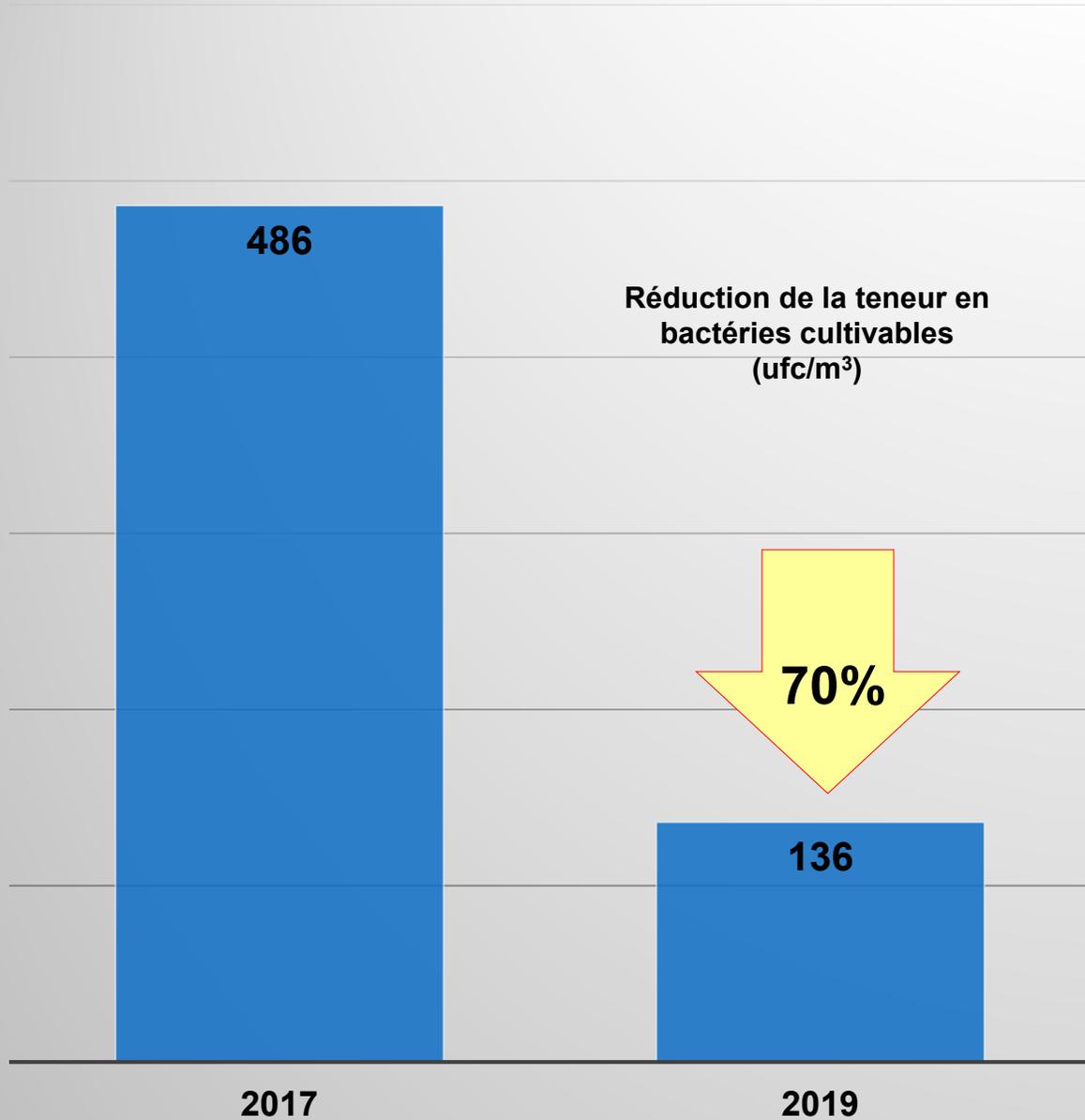
**ABAISSEMENT  
DU NIVEAU**

**EXTRACTION  
DES SABLES**

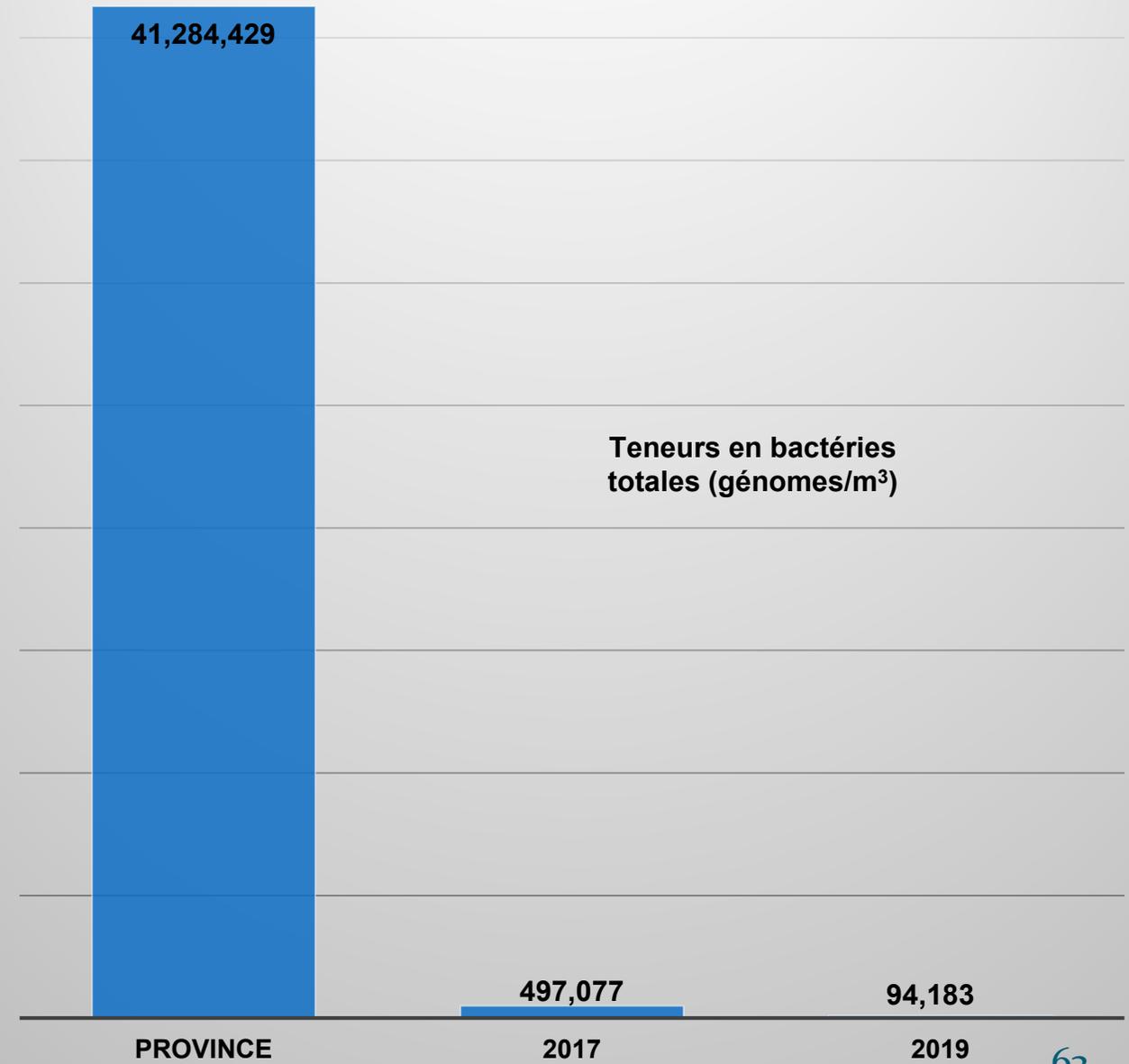
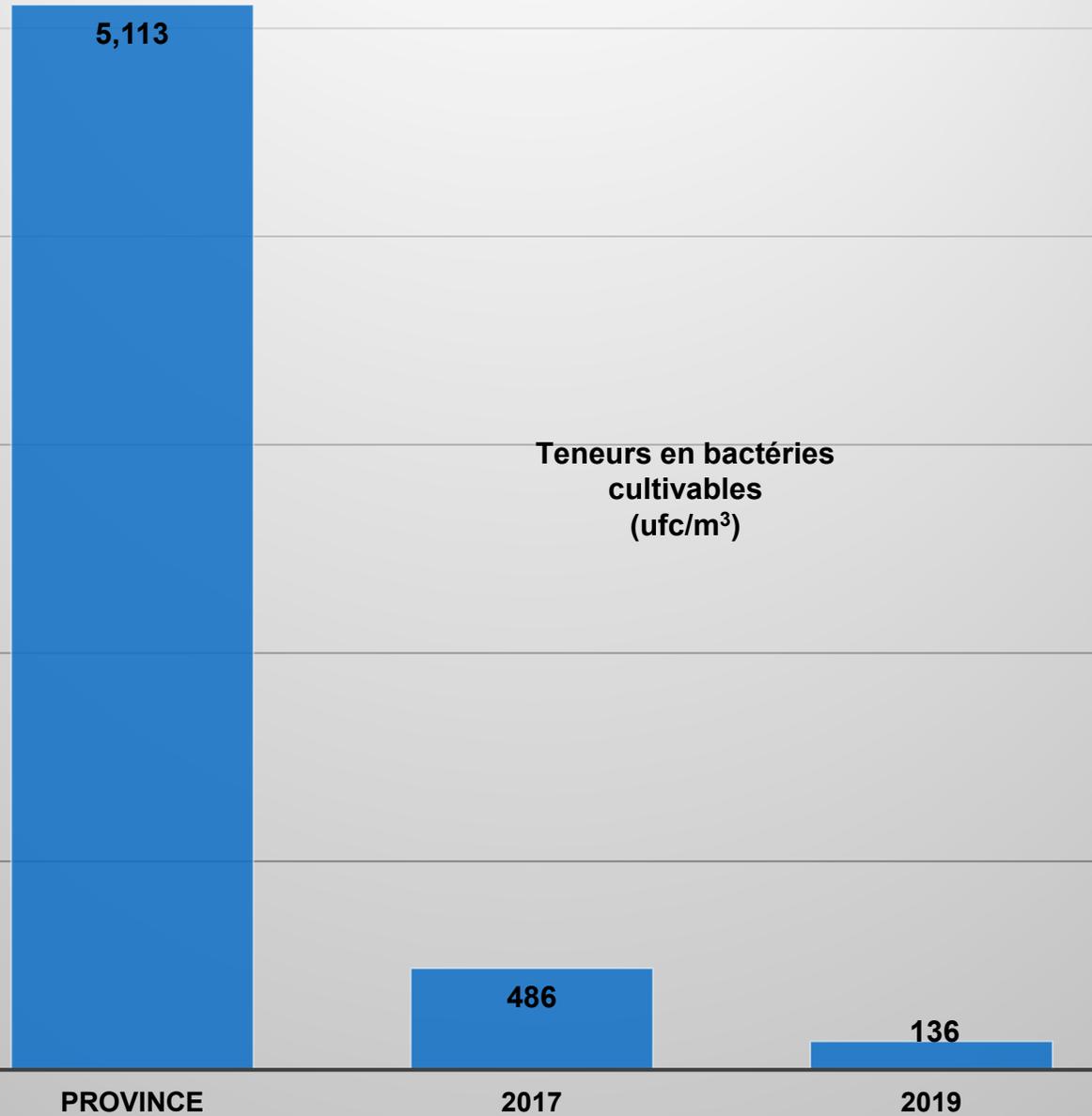
**ENSACHAGE**



# PERFORMANCES OBTENUES SUITE À LA RÉFECTION DES DESSABLEURS



## COMPARAISON AVEC LA MOYENNE DES AUTRES INSTALLATIONS ÉTUDIÉES



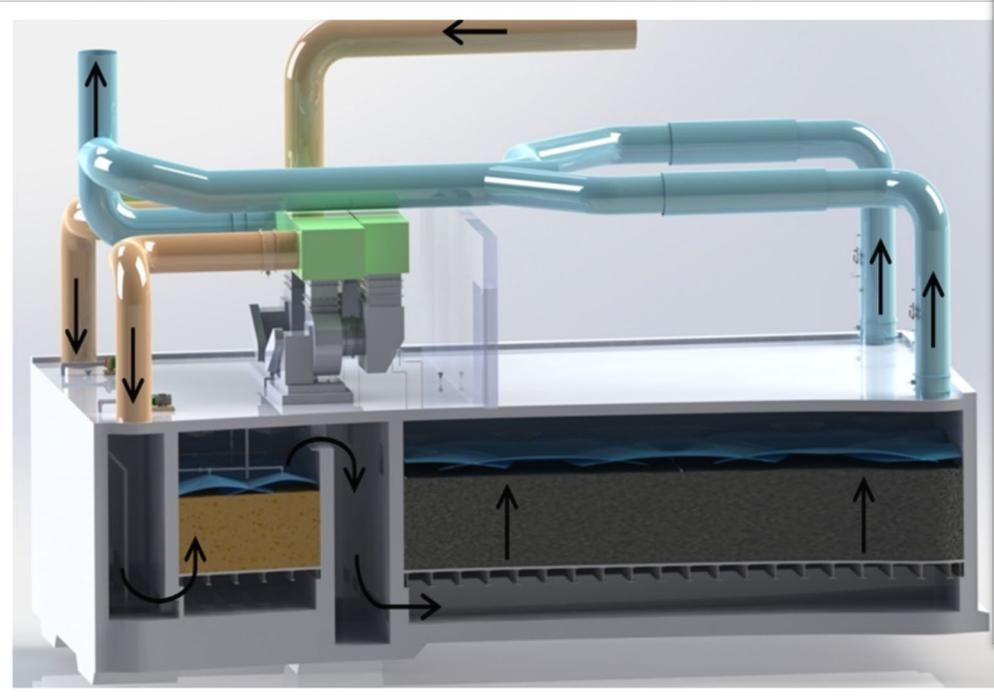
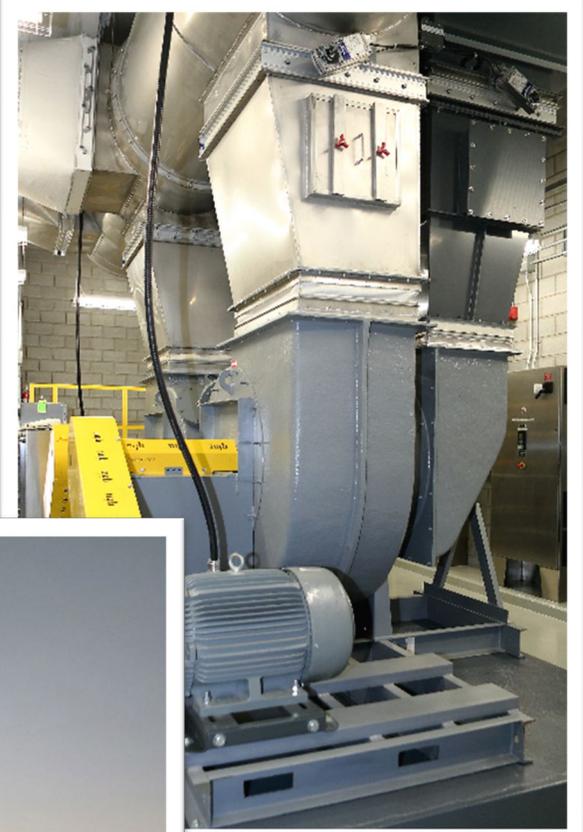
## POUR UNE APPROCHE GLOBALE

- Confiner les différentes étapes de procédé des filières liquides et solides
- Aspirer directement à la source les émanations contaminées
- Assurer la qualité de l'air ambiant par des taux de ventilation suffisants
- Prioriser le balancement aéraulique de l'ensemble des sections de la station
- Entretenir régulièrement les filtres des différents systèmes d'extraction
- Nettoyer fréquemment les surfaces de travail et équipements connexes
- Utiliser une protection respiratoire appropriée lors d'interventions à risques
- Traiter l'air ambiant afin de ne pas contaminer le voisinage de la station



**DES EXEMPLES  
CONCRETS DE  
CONFINEMENT  
À LA SOURCE**





**UNE COLLECTE ET  
UN TRAITEMENT  
DE L'AIR  
EFFICACES**

## BILAN DE LA RÉFÉCTION DES DESSABLEURS

- ★ Réduction moyenne de 70% des bactéries cultivables dans l'air ambiant
- ★ Réduction moyenne de 80% des bactéries totales dans l'air ambiant
- ★ Respect intégral des recommandations en matière de qualité de l'air ambiant
- ★ Amélioration du balancement aéraulique et conséquemment du captage de l'air vicié
- ★ Augmentation de 250% des sables récupérés par le classificateur
- ★ Diminution significative de l'entretien de la mécanique de procédé
- ★ Sécurisation des tâches à effectuer à l'intérieur des dessableurs

# BÉNÉFICES COLLATÉRAUX DE LA RÉFECTION DES DESSABLEURS

- ☆ Diminution significative des odeurs émises dans cette section du procédé
- ☆ Abaissement du niveau sonore perceptible au dessus des dessableurs
- ☆ Diminution de la fréquence d'interventions dans ces espaces clos
- ☆ Réduction de la consommation énergétique globale
- ☆ Diminution de l'ensablement du bassin de transition
- ☆ Simplification de l'entretien sanitaire des lieux
- ☆ Sécurisation des différentes voies d'accès et de manutention des dessableurs



**UN GRAND MERCI À TOUS NOS COLLABORATEURS QUI NOUS ONT PERMIS DE MIEUX CONTRÔLER LA PROBLÉMATIQUE LIÉE AUX BIOAÉROSOLS CONTAMINÉS ET PLUS PARTICULIÈREMENT AU PERSONNEL DU SERVICE DE GESTION DES INFRASTRUCTURES DE LA VILLE DE REPENTIGNY**



# Bioaérosols : risques et contrôles en centres de traitement des eaux usées

Nous vous invitons à partager votre expérience  
sur les médias sociaux avec le mot-clic

**#SalondesTEQ**

Merci pour votre participation!

