

COVID-19 CITY WATCH

Anticiper et surveiller la circulation du virus grâce aux réseaux d'assainissement

« Protéger la santé des citoyens en utilisant les données issues de l'eau usée »



HYDREAUULYS

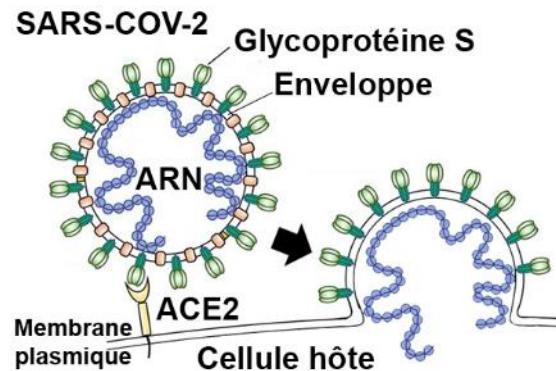
Eau France



L'analyse du virus SARS-CoV-2 dans les eaux usées

SARS-CoV-2 et COVID-19

- COVID-19 est la maladie due à l'infection par le virus SARS-CoV-2. Probable origine animale (chauves-souris)
- SARS-CoV-2 est un virus : réplication dans une cellule hôte (du corps humain). Ne se réplique pas dans l'environnement.
- SARS-CoV-2 est un coronavirus. Chez l'homme : 4 coronavirus saisonniers (rhumes) + SARS-CoV (2002-2003) + MERS-CoV (depuis 2012) + SARS-CoV-2 (depuis 2019)
- Coronavirus = matériel génétique (ARN) + nucléocapside + enveloppe lipidique avec spicules
- Détection/mesure : de l'ARN (par PCR), de protéines virales (par test antigénique) et du virus infectant (par culture)



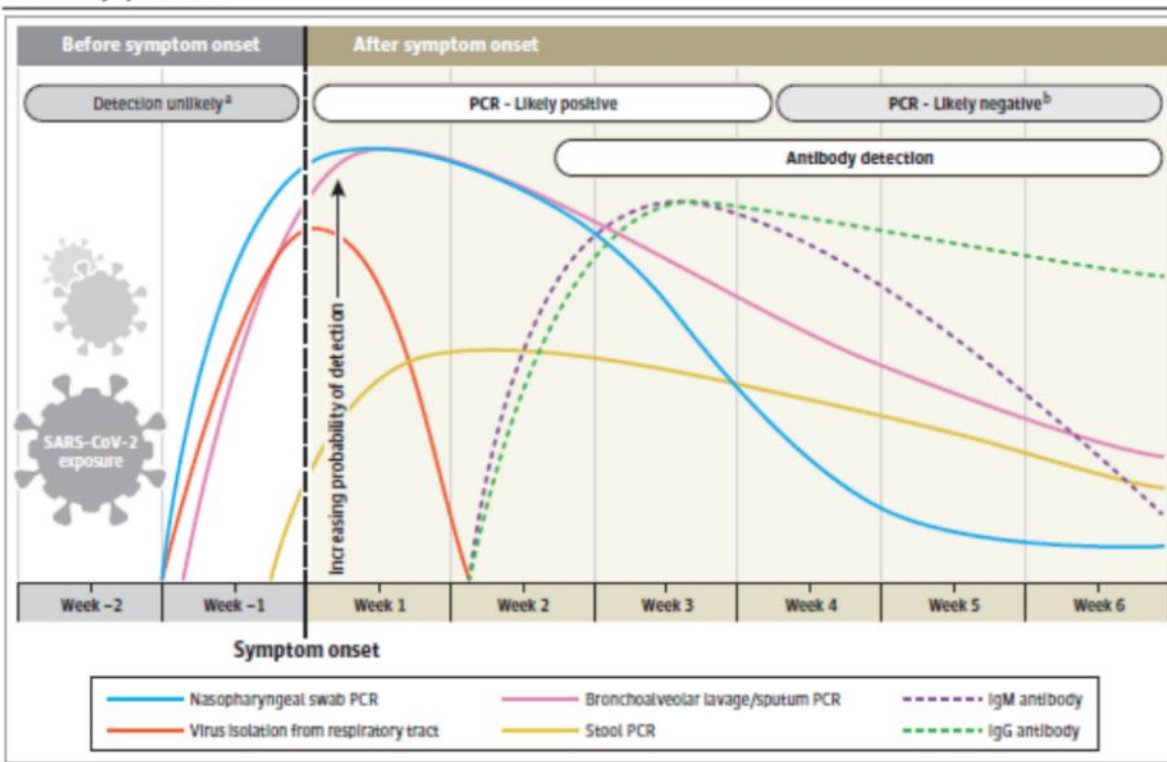
Source : <https://www.afc.asso.fr/l-association/afc-news/0>

Enveloppe = facteur de fragilité

COVID-19 : excrétion virale au cours des différentes phases de la maladie

Contexte & enjeux

Figure. Estimated Variation Over Time in Diagnostic Tests for Detection of SARS-CoV-2 Infection Relative to Symptom Onset



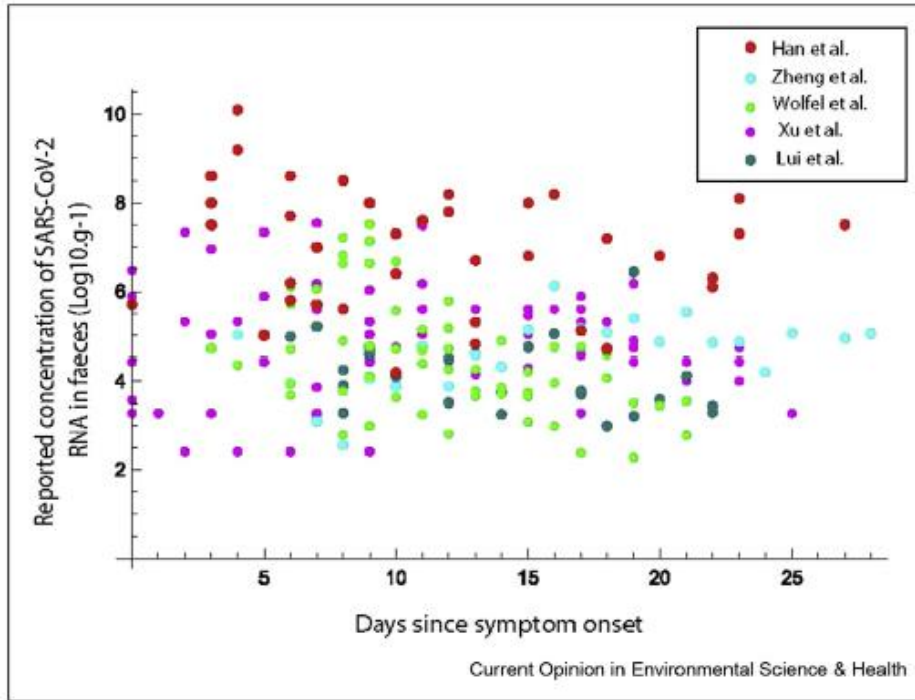
Estimated time intervals and rates of viral detection are based on data from several published reports. Because of variability in values among studies, estimated time intervals should be considered approximations and the probability of detection of SARS-CoV-2 infection is presented qualitatively. SARS-CoV-2 indicates severe acute respiratory syndrome coronavirus 2; PCR, polymerase chain reaction.

^a Detection only occurs if patients are followed up proactively from the time of exposure.

^b More likely to register a negative than a positive result by PCR of a nasopharyngeal swab.

Excrétion urinaire = marginale

Sethuraman et al., JAMA, May 2020



- Environ 50% des prélèvements de selles des malades sont positifs
- 10 à 10^8 cg/g de matières fécales (médiane = $10^{4,52}$ cg/g)

Summary of reported concentrations of SARS-CoV-2 in faecal samples by day (noting data from Xu et al., 2020 is reported in days from hospitalisation).

Medema et al., Curr Opin Environ Health Sci, 2020

SARS-CoV-2 dans les eaux usées : questions pour la recherche

- Quelle charge virale dans les eaux usées ?
- Le virus est-il encore viable dans les eaux usées brutes et traitées, et dans les boues ? Pendant combien de temps ?
- Quel risque pour le personnel ? Pour le voisinage ?
- Quel est l'abattement du SARS-CoV-2 par les procédés d'assainissement ? Faut-il renforcer les traitements ?
- Les rejets d'assainissement contribuent-ils à la dissémination du virus dans l'environnement (zones de baignade, zones conchylicoles, captages d'eau potable, boues d'épandage...) ?
- La surveillance du SARS-CoV-2 dans les eaux usées peut-elle être utilisée pour un suivi épidémiologique ?
- La surveillance du SARS-CoV-2 dans les eaux usées peut-elle être utilisée pour détecter/suivre de nouveaux variants ?

La recherche Suez sur COVID-19

MISE EN PLACE DE PARTENARIATS SCIENTIFIQUES EN MARS 2020

- En France, avec l'Université de Lorraine
 - *Laboratoire de Chimie Physique et Microbiologie de l'Environnement UMR 7564 CNRS*
 - *Laboratoire Lorrain de Chimie Moléculaire*
 - *CHRU de Nancy*



- En Espagne, avec l'Université de Barcelone
 - *Enteric Virus Laboratory*



La recherche Suez sur COVID-19

DEUX PRINCIPAUX DOMAINES D'INVESTIGATION

⇒ SURVEILLANCE DES EAUX USÉES

- Mars 2020 : Développement des méthodes d'analyse de SARS-CoV-2 et démarrage de la surveillance dans les eaux usées (8 stations en France, 8 en Espagne)
- Avril 2020 : Regroupement avec 2 autres initiatives pour constituer un réseau sentinelle national *OBEPINE (OBservatoire EPIdémiologique daNs les Eaux usées)*
- Mai 2020 : Intégration de 3 stations supplémentaires au réseau « European Sewers Sentinels Network »
- Juin 2020 : Lancement de l'offre « City Sentinel » en Espagne
- Sept. 2020 : Lancement de l'offre « City Watch » en France
- Oct. 2020 : Extension du réseau OBEPINE à 150 stations (dont 42 gérées par Suez)



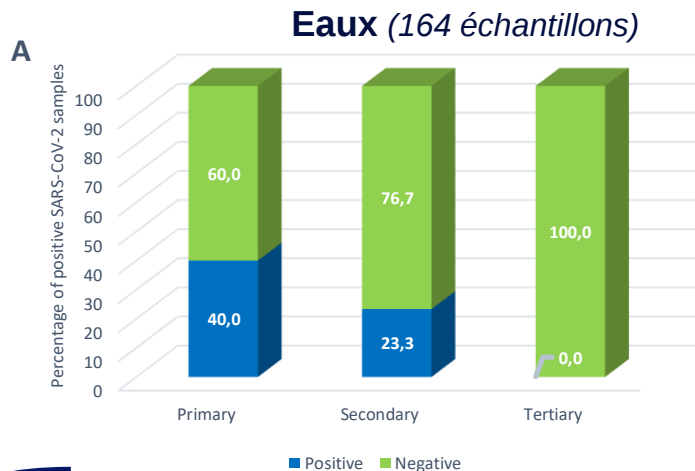
⇒ EVALUATION /GESTION DU RISQUE

- Abattement de SARS-CoV-2 dans le traitement des eaux et des boues
- Survie de SARS-CoV-2 dans l'environnement
- Utilisation d'indicateurs d'abattement de SARS-CoV-2 et autres virus humains

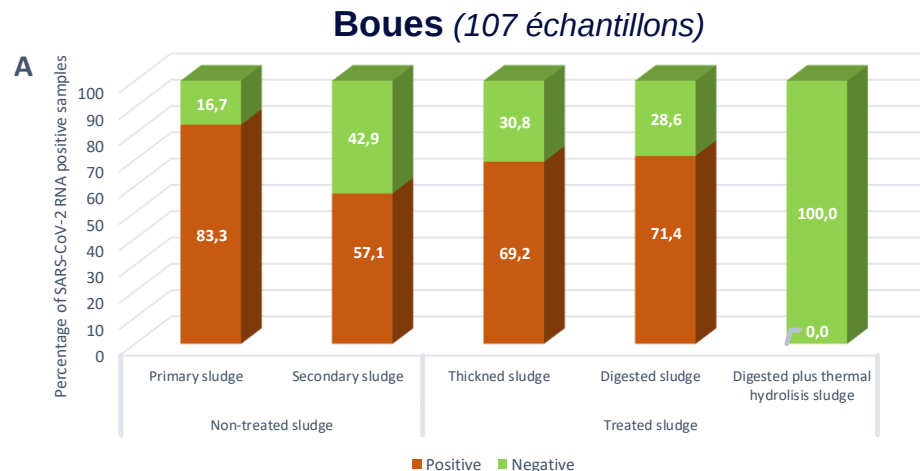
Evaluation / Gestion du risque

⇒ ABATTEMENT DE L'ARN DE SARS-COV-2 DANS LES EAUX ET LES BOUES

— Résultats sur 8 stations françaises et 8 stations espagnoles, mars - mai 2020



- Abattement de 1 à 2 log du génome viral après traitement secondaire
- Aucune détection après traitement par BRM ou chloration

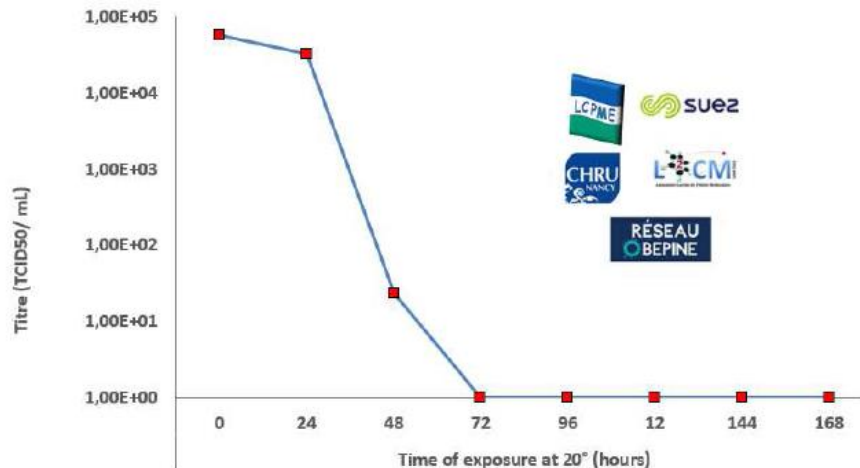


- Concentration du génome viral dans les boues
- Aucune détection après hydrolyse thermique (150 – 160 °C)

Evaluation / Gestion du risque

⇒ SURVIE DE SARS-COV-2 DANS LES EAUX USÉES À 20°C

- Virus issu de patients hospitalisés, amplifié sur cellules Vero E6
- Mis en suspension dans une eau usée filtrée 0,22 µm, diluée au 1/2
- Mesure de la viabilité au cours du temps, par culture sur cellules Vero E6

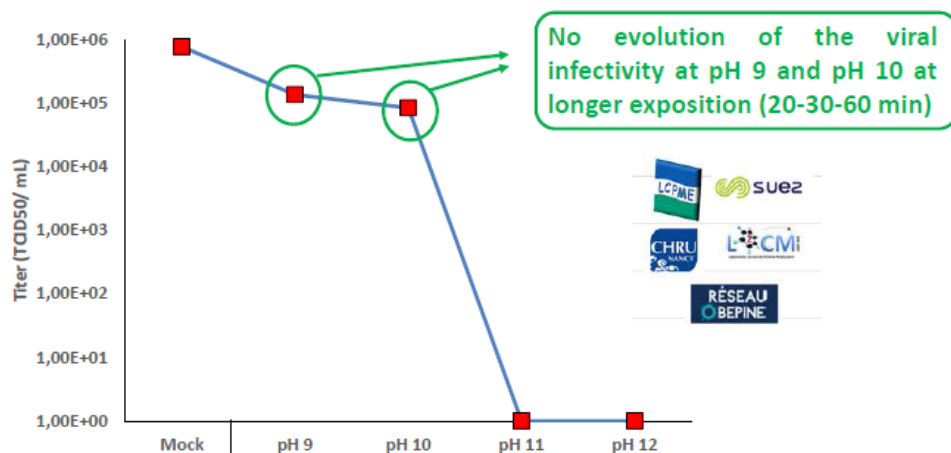
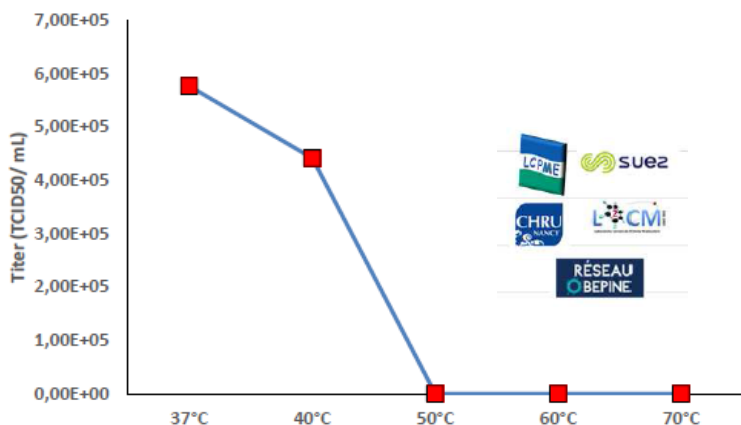


Perte totale de viabilité en 72 heures (ARN intact)

Evaluation / Gestion du risque

⇒ SURVIE DE SARS-COV-2 DANS LES CONDITIONS D'HYGIÉNISATION DES BOUES

- Températures de 40 à 70°C pendant 30 min
- pH de 9 à 12 pendant 10 min



- Perte de viabilité >5 log de SARS-CoV-2 à 50°C / 30 min, ou pH 11 / 10 min
- Abattement du génome viral dans les mêmes conditions < 1 log
- Abattement des coliphages somatiques dans les mêmes conditions < 1 log

La surveillance des eaux usées

⇒ AVANTAGES ATTENDUS

- Sensibilité
 - *Prise en compte des cas asymptomatiques*
 - *Détection d'un cas d'infection à SARS-CoV-2 sur un million de personnes théoriquement possible (Hart & Halden 2020)*
- Rapidité
 - *Quantification du virus en quelques heures par méthode PCR*
 - *Détection de l'émergence d'une épidémie en avance par rapport au système de surveillance sanitaire*
- Coût
 - *L'analyse d'un seul échantillon d'eau usée permet une observation globale à l'échelle d'une population*



APPROCHE PERTINENTE POUR OBSERVER DES TENDANCES À L'ÉCHELLE D'UNE POPULATION

Quantification de l'ARN viral

⇒ MÉTHODES APPLIQUÉES

Extraction d'ARN

(kit d'extraction ou billes magnétiques)



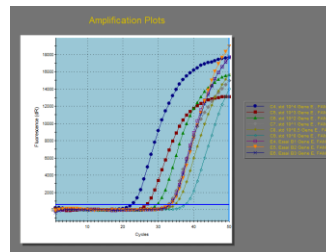
5 ml

LQ ~1000 cg/L



Quantification

RT-qPCR



Quantifications séparées pour :

- **SARS-CoV-2** : gènes E et RdRp-IP4
- **Variant britannique** : délétion del69-70 sur gène S
- **Variants britannique, sud-africain, brésilien** : mutation N501Y sur gène S
- **Bactériophages ARN F-spécifiques**



12 ml

LQ ~1000 cg/L



Ultracentrifugation

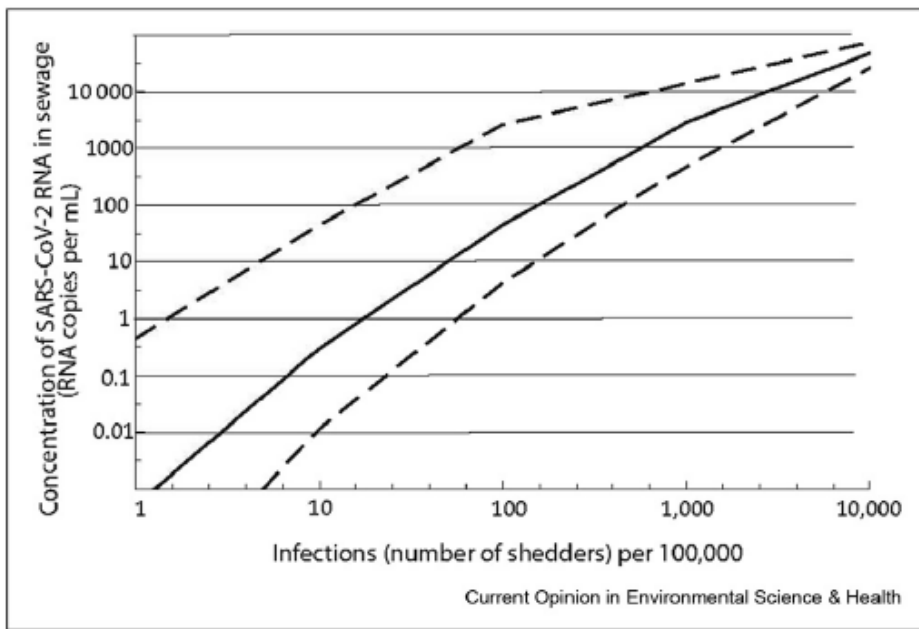


Normalisation des données

De nombreux facteurs de variabilité de la concentration d'ARN dans les eaux usées ...

- Proportion de sujets excréteurs fécaux parmi les patients infectés, symptomatiques ou non
- Variations inter- et intra-individus de l'excrétion fécale de l'ARN viral
- Sources respiratoires et salivaire de contamination des eaux usées
- Stabilité de l'ARN viral dans les eaux usées (adsorption, dégradation)
- Facteurs de dilution de l'ARN viral dans les eaux usées: différentes eaux usées domestiques, eaux usées non domestiques, eaux pluviales, eaux claires parasites, mélange hétérogène, variations temporelles, ...
- Mouvements de population

... responsables d'une grande incertitude dans l'estimation de la prévalence de l'infection



Modelled relationship (Median (solid line), 5th and 95th quantiles) between the number of infected people in the population and concentration of RNA in sewage.

Objectif : optimiser l'interprétation des données en modifiant l'expression des résultats

PRENDRE EN COMPTE L'EFFET DE DILUTION DES EAUX VANNES

- Exprimer les résultats en charge virale (cg/jour),
- Normaliser les résultats de concentration en utilisant un marqueur fécal (indicateur de masse fécale) ou des données de population

EXEMPLES DE MARQUEURS FÉCAUX :

- Bactériophages ARN-F Spécifiques, PMMoV, ...
- Stéroïdes fécaux (coprostanol)

DONNÉES DE POPULATION

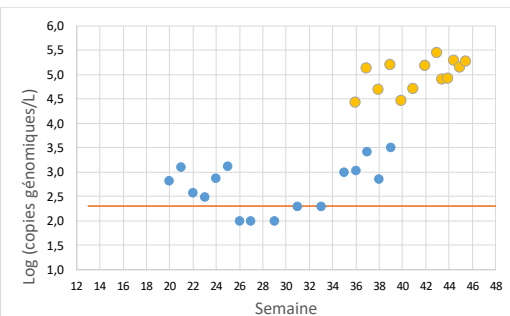
- Nombre d'habitants présents
- Indicateurs : DCO, DBO5, N-NH4, médicaments (carbamazépine, ...), caféine, additifs alimentaires, ...
- Mouvements de population : données des téléphones mobiles, télérelève

Normalisation des résultats

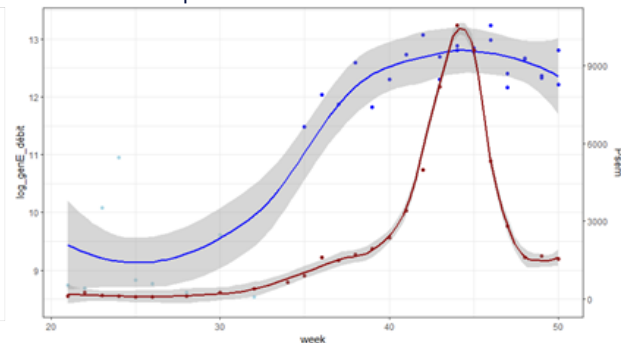
Ex.: Normalisation par le débit et les bactériophages ARN-F spécifiques

Comparaison aux nombres de cas COVID-19 au niveau du département

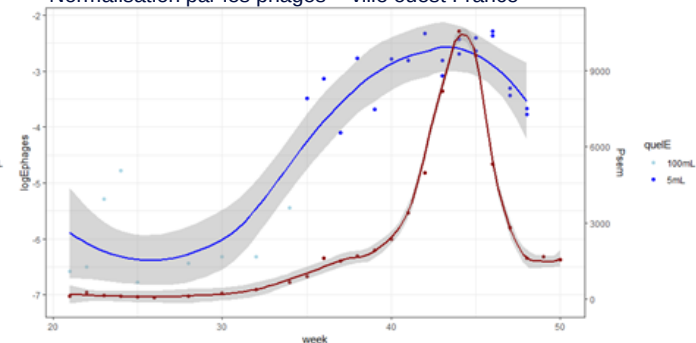
Données brutes – ville ouest France



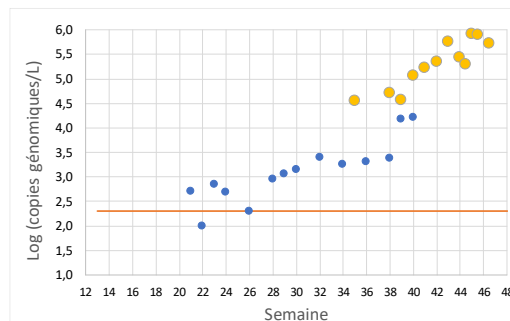
Normalisation par le débit – ville ouest France



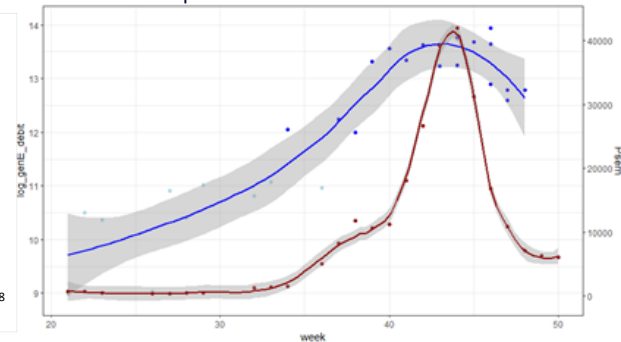
Normalisation par les phages – ville ouest France



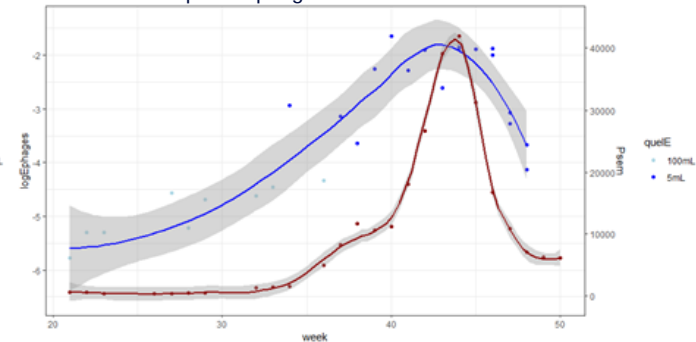
Données brutes – ville nord France



Normalisation par le débit – ville nord France



Normalisation par les phages – ville nord France



Qu'analyse-t-on et comment interpréter les résultats ?

Covid-19 City Watch permet d'analyser la charge virale présente dans les eaux usées.

La concentration brute d'ARN viral est exprimée en cg/L et inclut de potentiels variants anglais, sud-africains et brésiliens.

➡ **Les tendances sont significatives à partir d'une variation de 0,5 log**

Seuils définis pour les concentrations en valeur absolue :

10^4 (ou 4 log) → Alerte

10^5 (ou 5 log) → Circulation active

$> 10^6$ (ou > 6 log) → Circulation intense

Méthodologie Covid-19 City Watch

Une épidémie nouvelle, incertaine et très impactante

Contexte & enjeux

> 90 000

décès dus au COVID-19
à mi mars 2021
en France

25 300

décès dans les établissements type Ehpad ¹

4 millions

cas confirmés de COVID-19 ¹

Mise en tension

du système de soin (forte hospitalisation)

8 et 6 semaines

de confinement au printemps et à l'automne 2020

120 milliards

d'euros de pertes économiques pendant
le confinement ²

¹ A mi mars 2021

² Observatoire français des conjonctures économiques (OFCE)

Comment contrôler l'épidémie ?



UNE ÉPIDÉMIE NOUVELLE ET COMPLEXE

Les moyens permettant de contrôler l'épidémie évoluent avec les connaissances du virus et de sa propagation.

UNE PARTIE DES SOLUTIONS EST LOCALE

Rôle important des collectivités locales pour anticiper les risques sanitaires et prendre les bonnes décisions au bon moment.

Nécessité de données épidémiologiques et sanitaires fiables
pour des décisions adaptées à la situation locale

Les eaux usées : source de données pour lutter contre l'épidémie ?



CHARGE VIRALE DU SARS-COV-2 MESURABLE DANS LES EAUX USÉES

Excrétion du virus SARS-CoV-2 par les personnes infectées (avant qu'elles ne présentent des symptômes), y compris les asymptomatiques.

L'ARN du virus se retrouve dans les fèces puis dans les eaux usées.

UN INDICATEUR PERTINENT DE L'ÉVOLUTION DE L'ÉPIDÉMIE AU SEIN DE LA POPULATION

ALERTE
PRECOCE

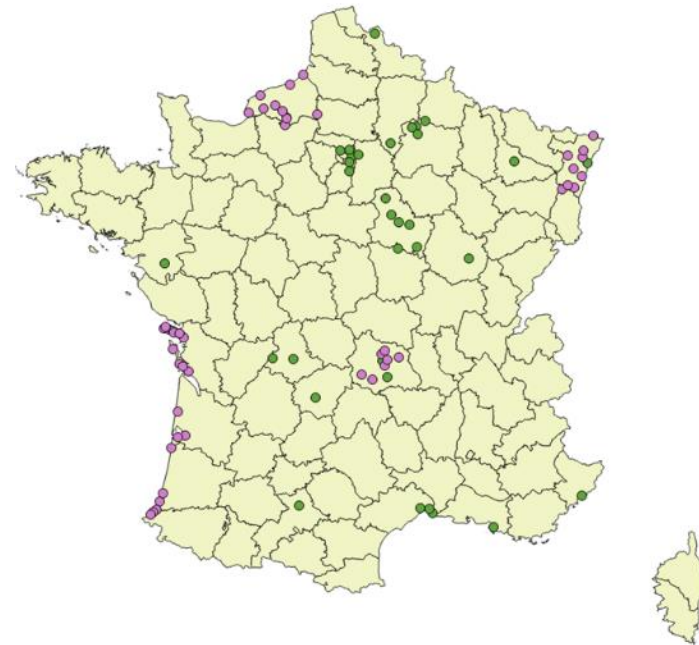
DEPISTAGE LARGE,
ET REGULIER

BAS SEUIL
DE DETECTION

Une offre complète à destination des collectivités locales
pour anticiper la détection de nouveaux foyers de contamination

Projet OBEPINE : OBservatoire EPIdémiologique dans les Eaux usées

- Projet de recherche piloté par U. Sorbonne, Nancy, Eau de Paris, financé par MESRI (3M€)
- Objectif: preuve de concept d'un réseau national sentinelle pour l'épidémie de Covid-19 à partir de mesures dans les eaux usées
- 30 STEP (dont 9 gérées par SUEZ) suivies depuis mai 2020.
- Objectif 150 STEU (dont 41 gérées par SUEZ) en cours de déploiement.
- Développement d'un protocole d'analyse spécifique par Eau de Paris.
- Le CIRSEE, centre de recherche de Suez, fait partie des labos accrédités par OBEPINE.



OBEPINE et Suez Covid-19 CITY WATCH, deux démarches complémentaires

- OBEPINE suit la concentration en charge virale a l'**entrée des STEU**
- COVID-19 City Watch, permet de suivre la circulation du virus plus localement grâce **aux réseaux d'assainissement** et au suivi de **sites sensibles** (écoles, EHPAD..), et en entrée de STEU non suivie par OBEPINE
- Le réseau OBEPINE contribue à une **vision nationale** de l'épidémie
- COVID-19 City Watch fournit des **données locales** permettant d'agir au plus près des foyers épidémiques



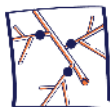
L'offre Covid-19 City Watch



Collecte de données

sur le réseau d'assainissement
pour définir des zones d'influence

1



Sectorisation

du réseau d'assainissement
avec définition de la stratégie
d'échantillonnage

3



Analyse

des échantillons dans
notre laboratoire
(résultats sous 3 j. ouvrés)

5



Aide à la décision
pour les autorités
sanitaires

6 ➡



Identification

des installations ou
bâtiments à risque élevé

2



Échantillonnage

automatique (moyen 24h)
dans le réseau
d'assainissement

4



Transfert et visualisation

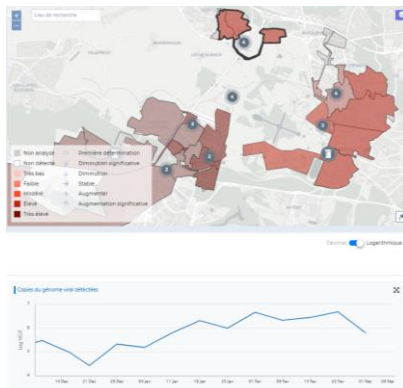
des résultats sur la plateforme
COVID-19 CITY WATCH
Interprétation des données
(expert épidémiologiste)

Exemple de mise en application

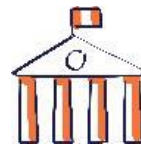
Prélèvements et analyses



Résultats et interprétation



Transmission à la collectivité Discussion avec l'ARS



Mise en place de mesures locales





DEPLOIEMENT DE L'OFFRE EN FRANCE.

+ de 1,8 millions d'habitants

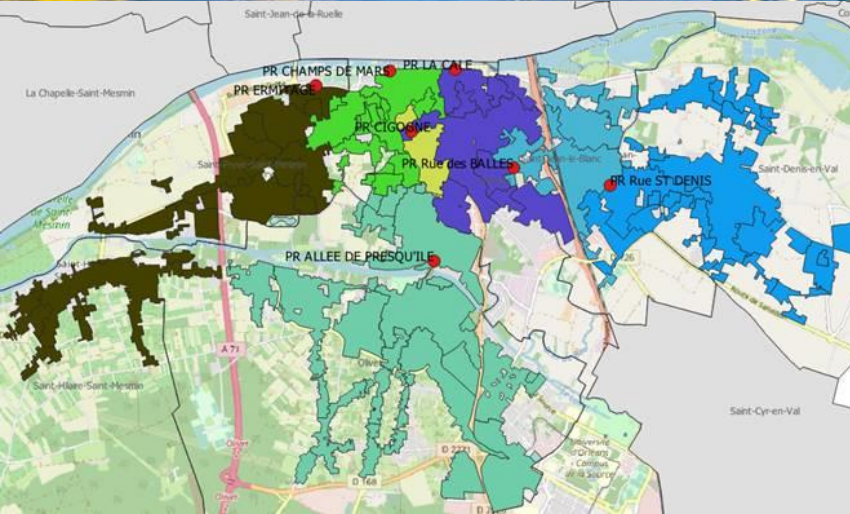


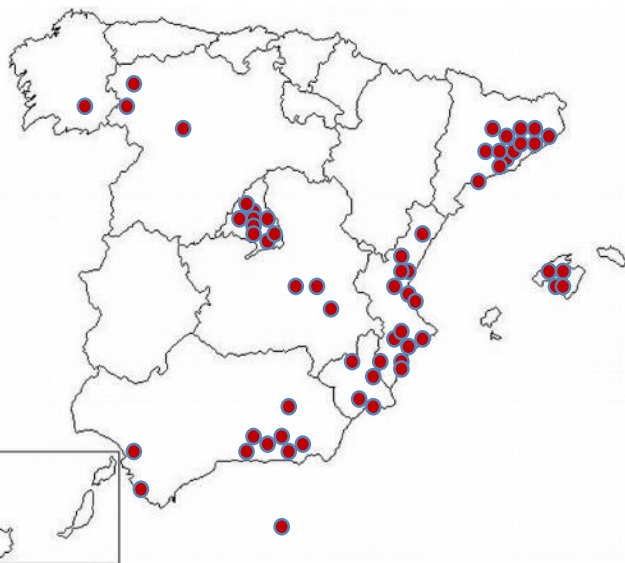
sont surveillés grâce au suivi des marqueurs viraux du SARS- CoV-2 dans les suivi eaux usées.

Quelques établissements scolaires sont également suivis en région parisienne.

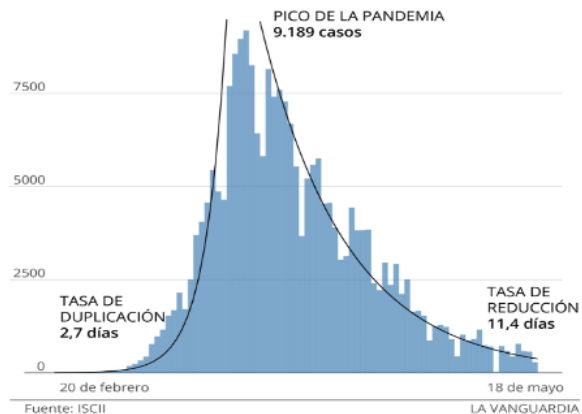


Plusieurs offres sont en cours d'élaboration en France.

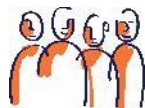




Evolución del número de positivos por la Covid-19 registrados cada día



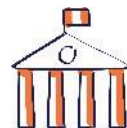
L'OFFRE COVID-19 CITY WATCH A DÉJÀ ÉTÉ DÉPLOYÉE PAR SUEZ EN ESPAGNE.



Actuellement

+ de 12 millions d'habitants

sont surveillés grâce au suivi des marqueurs
viraux du SARS- CoV-2 dans les eaux usées.



Ainsi, le service est

déjà en fonctionnement

en Catalogne, Andalousie et dans la région
de Madrid.



ANTICIPER

- **Alerte** précoce en cas de démarrage d'épisode épidémique
- **Identification des foyers épidémiques**, même avant l'apparition des premiers symptômes.
- **Asymptomatiques** aussi détectés.
- **Large population** testée, **de manière régulière**



INFORMER

- **Données objectives** pour suivre l'évolution de la circulation du virus dans la population



AGIR

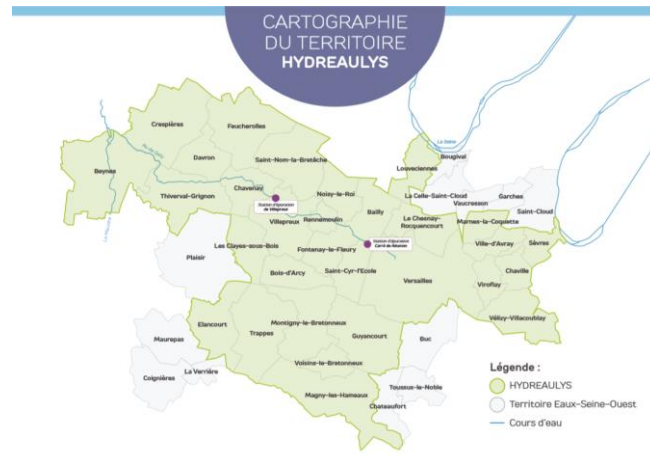
- Aide à la **prise de décisions** quant à la gestion du risque sanitaire
- **Adapter les mesures sanitaires** au contexte local, avec **temps de réactivité court**
- **Limiter l'impact de l'épidémie** sur l'économie et la vie quotidienne des citoyens.

Retour d'expérience : Mise en place du suivi sur Hydreaulys



HYDREAULYS

- En charge de l'aménagement, la restauration , l'entretien et la mise en valeur du Ru de Gally
- Collecte, transport et traitement des eaux usées de 20 communes
- 14 millions de m³/an
- 44 km de réseau



La station d'épuration de Carré de Réunion et son bassin versant

LA STEU DE CARRÉ DE RÉUNION TRAITE LES EAUX USÉES DE 340 000 HABITANTS

- Située sur les communes de Saint Cyr l'Ecole et Bailly
- Plus grande unité de traitement membranaire d'Europe (technologie innovante garantissant une épuration de l'eau poussée, supérieure aux traitements classiques).
- Valorisation énergétique des boues de la station d'épuration sous forme de biogaz via la méthanisation.
- Un bassin d'orage de 16 300 m3 permet la maitrise des flux excédentaires pouvant survenir par temps de pluie
- Une partie de l'eau usée traitée est réutilisée à des fins d'irrigation agricole



Intérêt pour la détection du virus dans les eaux usées

INTÉRÊTS POUR LA DÉTECTION DU VIRUS DANS LES EAUX USÉES :

- Disposer de données locales sur la circulation du virus dans la population
- Dialoguer avec l'Agence Régional de Santé
- Adapter les mesures de gestion de l'épidémie aux territoires en ciblant d'avantage



Mise en place sur le périmètre d'Hydreaulys

5 points d'échantillonnage sur le réseau d'assainissement

Suivi de la circulation du virus par secteurs depuis début décembre 2020.

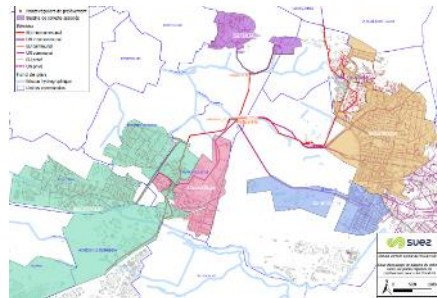
- Collecteur séparatif de Bailly Noisy
- Collecteur séparatif de Saint-Cyr-L'Ecole
- Collecteur unitaire de Versailles Sud
- Collecteur unitaire de Versailles Nord
- Collecteur unitaire de Saint-Cyr (à partir de mi janvier 2021)

18 points d'échantillonnage supplémentaires identifiés et activables pour la remontée sur le réseau

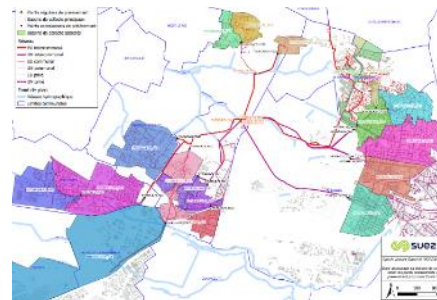
Recherche de foyers infectieux via les réseaux d'assainissement activables si besoin.

Analyses en entrée et sortie de la STEU Carré de Réunion

Quantification de la performance de l'usine



5 SECTEURS ET 18 SOUS SECTEURS



Résultats du suivi Covid-19 City Watch – Données brutes

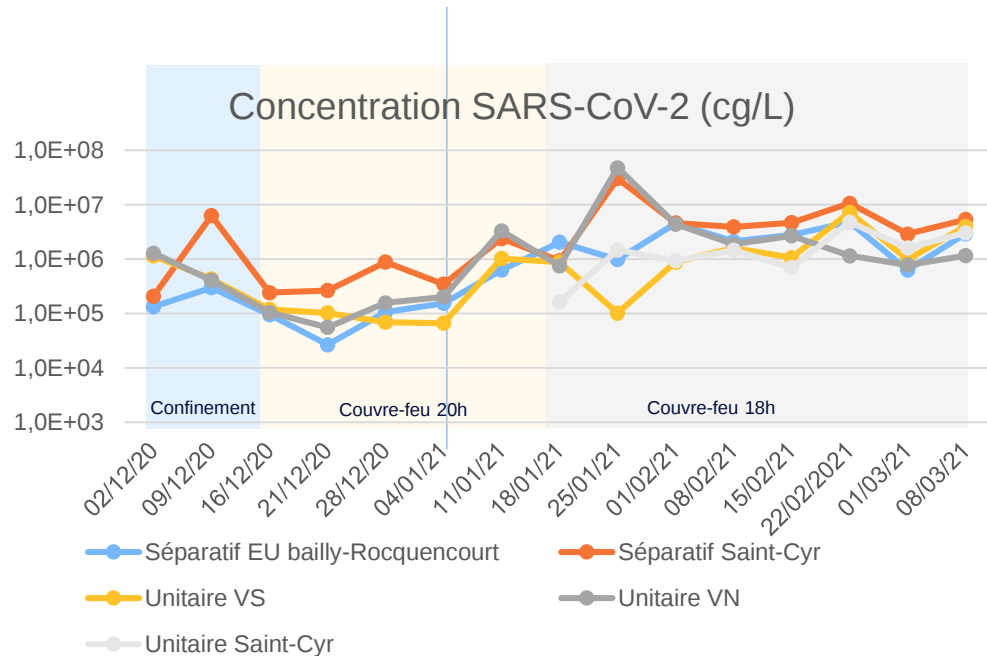
CIRCULATION ACTIVE DU VIRUS EN FIN D'ANNÉE 2020

- Concentrations entre 10^5 et 10^6 cg/L

AUGMENTATION DE LA CONCENTRATION DU VIRUS DEPUIS DÉBUT JANVIER 2021

- Concentrations entre 10^6 et 10^7 cg/L
- Augmentation d'1 log de la concentration en un mois.

EVOLUTION SIMILAIRE DES DIFFÉRENTS QUARTIERS



Résultats du suivi Covid-19 City Watch – Données normalisées

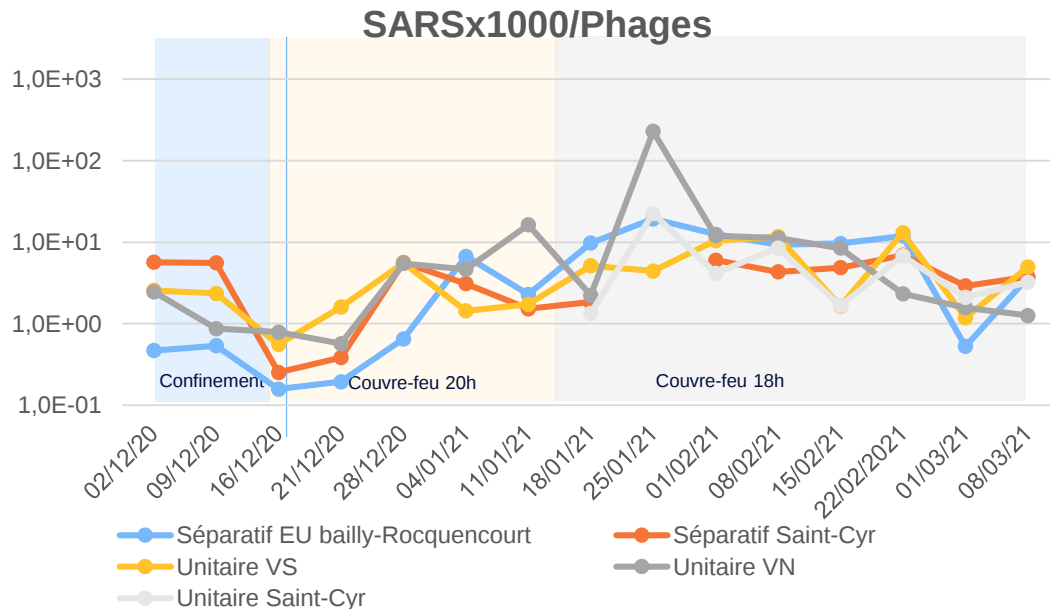
NORMALISATION PAR LES PHAGES

- Réduction de l'impact de la dilution des eaux vannes et des mouvements de populations

INTENSIFICATION DE LA CIRCULATION DU VIRUS À PARTIR DES VACANCES DE NOËL

LÉGÈRE BAISSÉ DÉBUT MARS.

EVOLUTION SIMILAIRE DES DIFFÉRENTS QUARTIERS



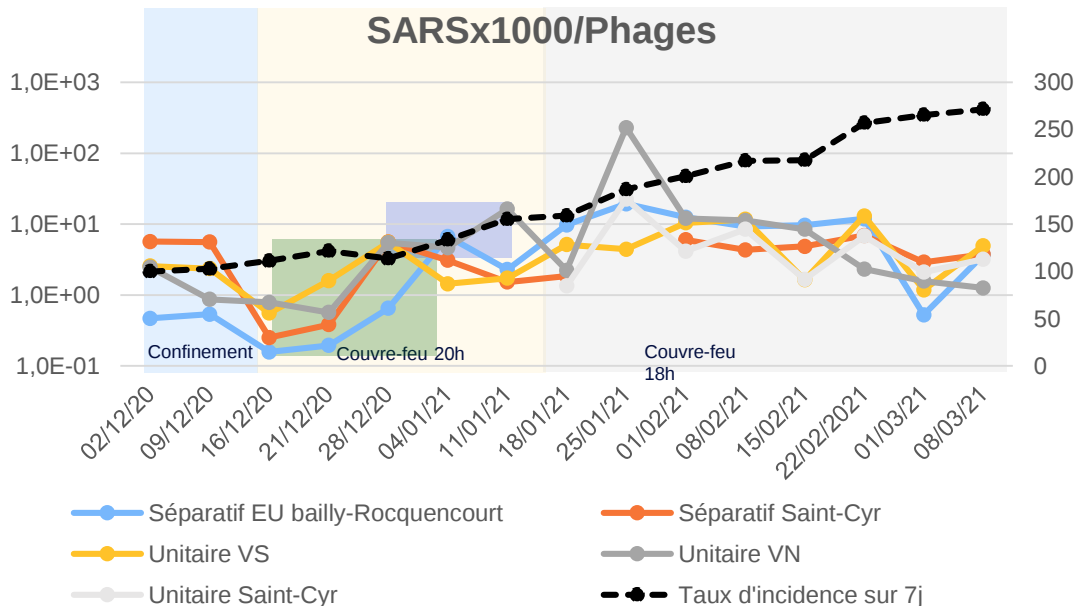
Résultats du suivi Covid-19 City Watch – Données normalisées

MISE EN PARALLÈLE AVEC LES DONNÉES SANITAIRES DE SANTE PUBLIQUE FRANCE POUR LES YVELINES

- Taux d'incidence (nombre de cas positifs) en moyenne glissante sur 7 jours

INTENSIFICATION DE LA CIRCULATION DU VIRUS À PARTIR DES VACANCES DE NOËL

- Augmentation de l'indicateur normalisé par les phages à partir de Noël
- Augmentation du taux d'incidence environ 2 semaines après.



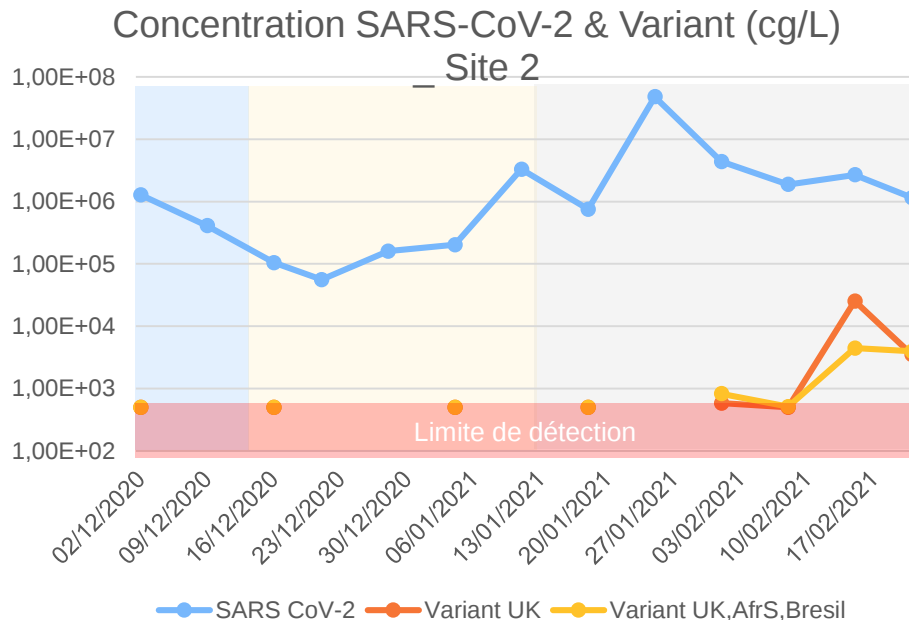
Résultats du suivi Covid-19 City Watch – Analyses des variants

LE SUIVI DES VARIANTS CONSISTE EN :

- Quantification du SARS-CoV-2 dans son ensemble (gène E et IP4)
- Quantification du variant britannique (délétion del69-70)
- Quantification des variants britannique + Sud-Africain + Brésilien (mutation N501Y)

DÉTECTION DES VARIANTS DANS L'EAU USÉE À PARTIR DE DÉBUT FÉVRIER

- Limite de détection (500 cg/l)
- Mutation principale : variant britannique
- Présence minoritaire des variants par rapport à la souche historique

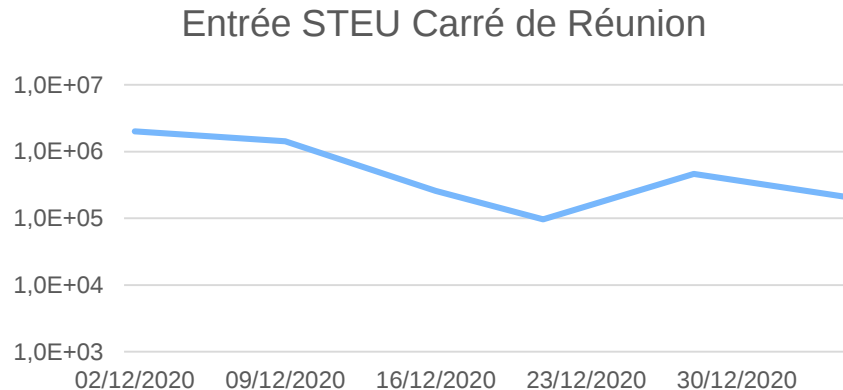


Performances de la station d'épuration

PAS DE TRACE DU VIRUS DANS LES EAUX USÉES TRAITÉES

⇒ BONNE PERFORMANCE DE LA STEU VIS-À-VIS DES VIRUS
⇒ BIORÉACTEUR À MEMBRANES

⇒ PAS DE PROBLÈME POUR LE REUT ⇒ BRM + UV



Le virus dans les boues de STEU

L'analyse du virus est effectuée de manière similaire dans les boues de STEU.

Néanmoins, la survie du virus SARS-CoV-2 dans les eaux usées est de 3 jours maximum. (étude SUEZ)

Le virus SARS-CoV-2 ne supporte pas les pH élevés (>11, chaulage) et les températures au-delà de 50°C.

⇒ LE TEMPS DE SÉJOUR EN DIGESTION MÉSOPHILE (>15 JOURS, MÊME À T<50°C) ASSURE UNE ÉLIMINATION DU VIRUS DANS LES BOUES.

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Contactez-nous pour plus d'informations : citywatch.eaufrance@suez.com

