

Impact de la gestion des eaux usées

Christophe DAGOT
Resinfit – UMR Inserm 1092

L'inégalité sanitaire



44 % des eaux usées domestiques générées dans le monde ont été rejetées dans l'environnement sans avoir fait l'objet d'un traitement sûr. (WHO 2020).

57 % de la population mondiale (soit 4,6 milliards de personnes) avait accès à des services d'assainissement gérés de manière sûre (2022)



STEU de Limoges



L'inégalité sanitaire

- ➔ La gestion inadéquate des eaux usées et l'absence d'infrastructures sanitaires de base favorisent la propagation de la résistance aux antimicrobiens (RAM).
- ➔ La défécation à l'air libre et le rejet non traité des eaux usées dans l'environnement contribuent à l'émergence et à la diffusion de microbes résistants, avec des conséquences sur la biodiversité et les écosystèmes.
- ➔ L'impact environnemental des EU est souvent plus déterminant que l'utilisation des antimicrobiens elle-même dans certaines régions, accentuant ainsi le besoin urgent d'améliorer l'accès à des installations sanitaires et de traiter correctement les eaux usées pour lutter contre la RAM.

WASH (Water, Sanitation and Hygiene) as infection and prevention control measures

Fournir un accès vital, durable et à long terme à l'eau potable et à l'assainissement, tout en faisant la promotion de bonnes pratiques d'hygiène

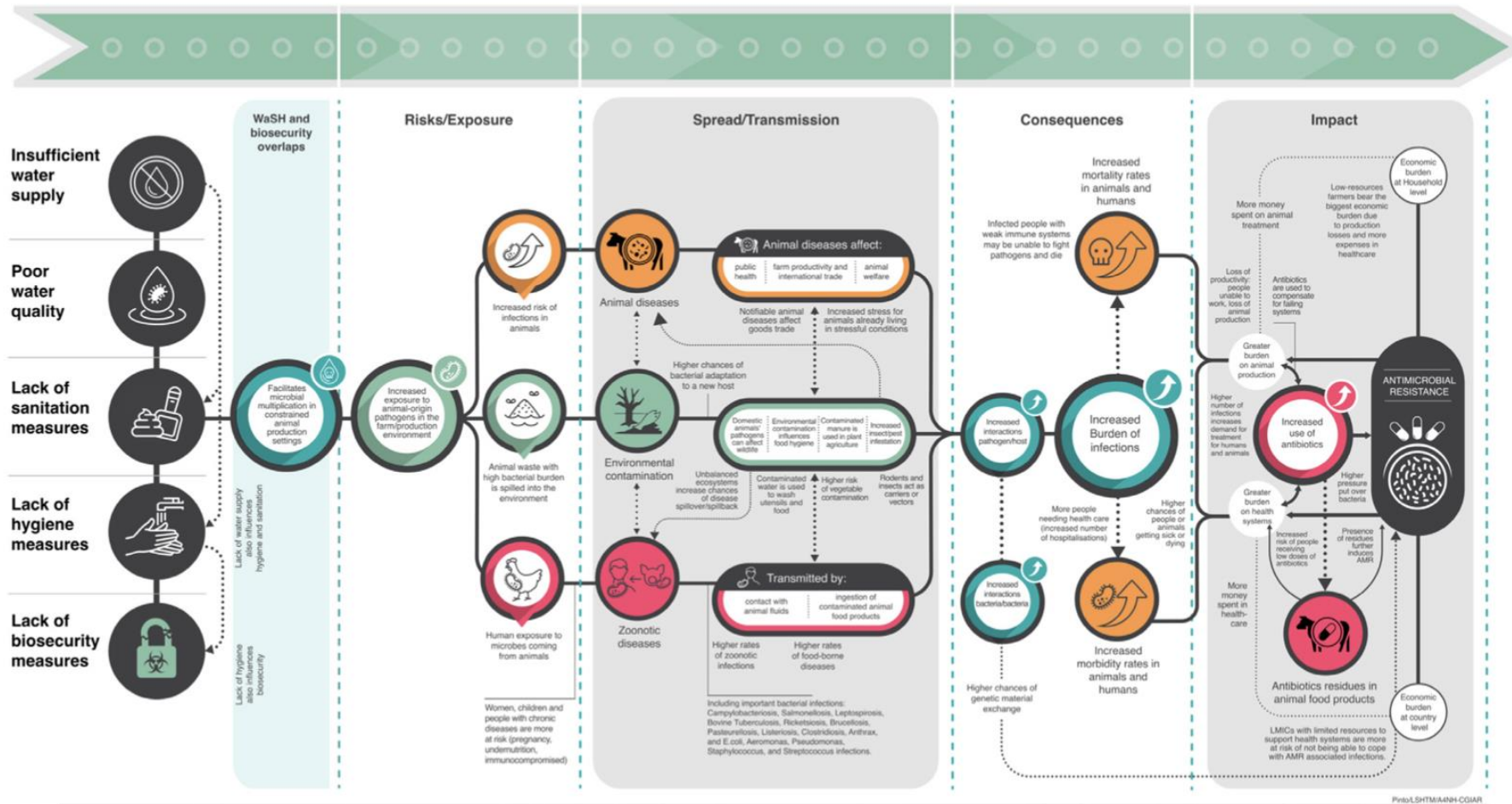


Figure 1 One Health framework to conceptualise how lack of WASH and biosecurity measures could contribute to the development of AMR. AMR, antimicrobial resistance; LMICs, low-and middle-income countries; WASH, water, sanitation and hygiene. Pinto Jimenez CE, et al. BMJ Global Health 2023

Gestion des eaux usées et antimicrobiens : nouvelles approches et conséquences

Compréhension des mécanismes
Surveillance (1)
Sanitaire / Risque
Epidémiologie WBS
Traitements (avancés des eaux)
Réutilisation des eaux usées traitées

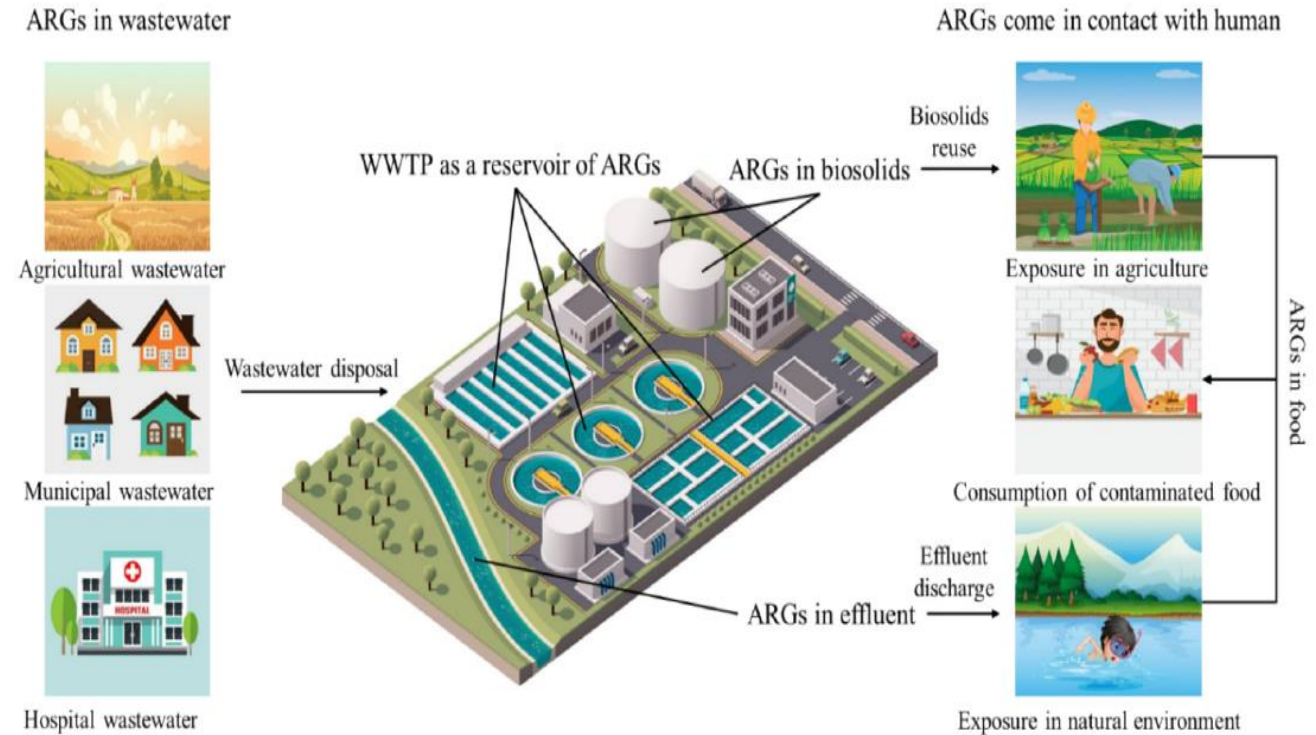


Fig. 3. Impact routes of antibiotic resistance genes (ARGs) on humans.



Traitement des eaux usées et AMR

Procédé biologique

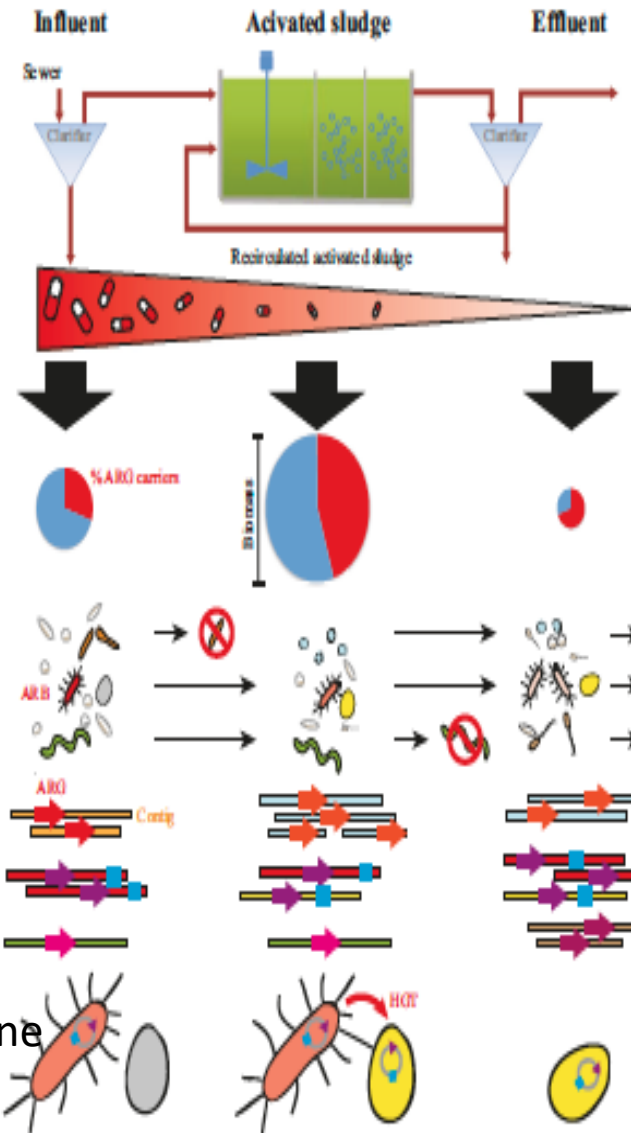
Traitement / cosélection

Traitement / sélection

Evolution microbiome

Evolution résistome

Transfert horizontal de gène



Antibiotics

Antimicrobial agents

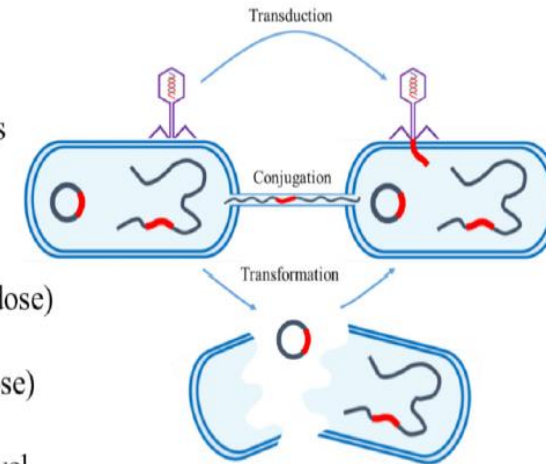
Nanoparticles

Heavy metals (low dose)

Disinfectant (low dose)

Increased oxygen level

Horizontal gene transfer



Disinfectant (high dose)

Biocides (high dose)

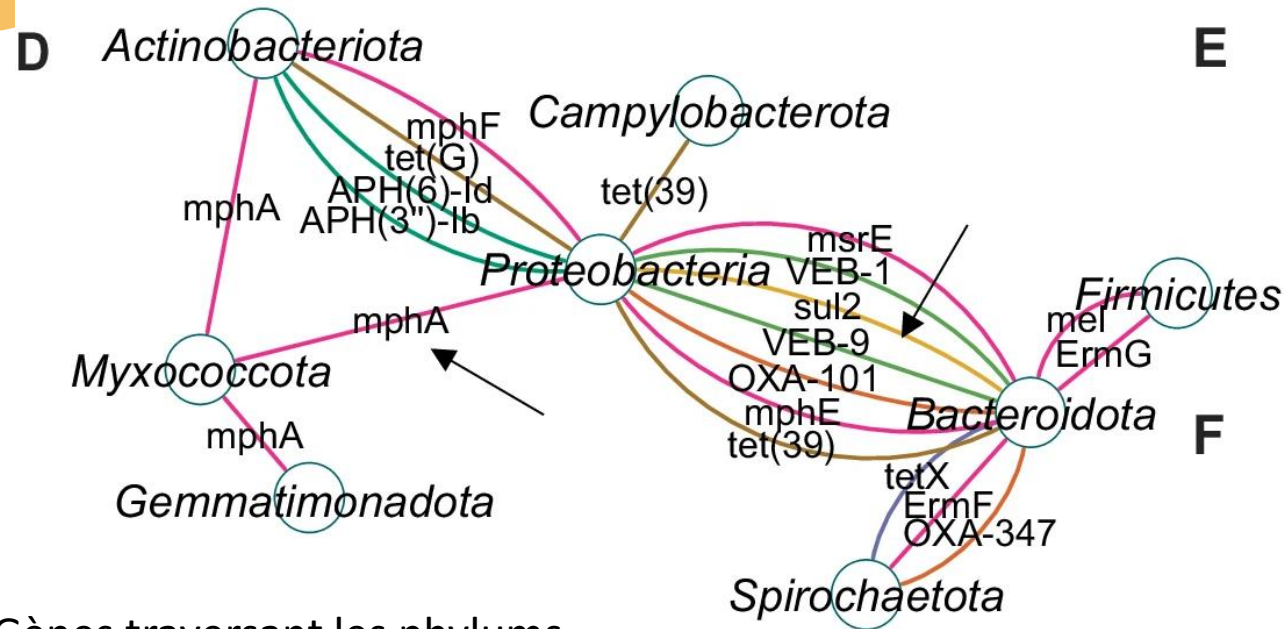
High temperature

Phage therapy

Fig. 5. Conditions that promote/reduce antibiotic resistance genes transfer in wastewater treatment.

Transfert horizontal de gènes ?

Approche métagénomique en microcosme (Amy Pruden)



Gènes traversant les phylums
événements potentiels de transfert
horizontal de gènes

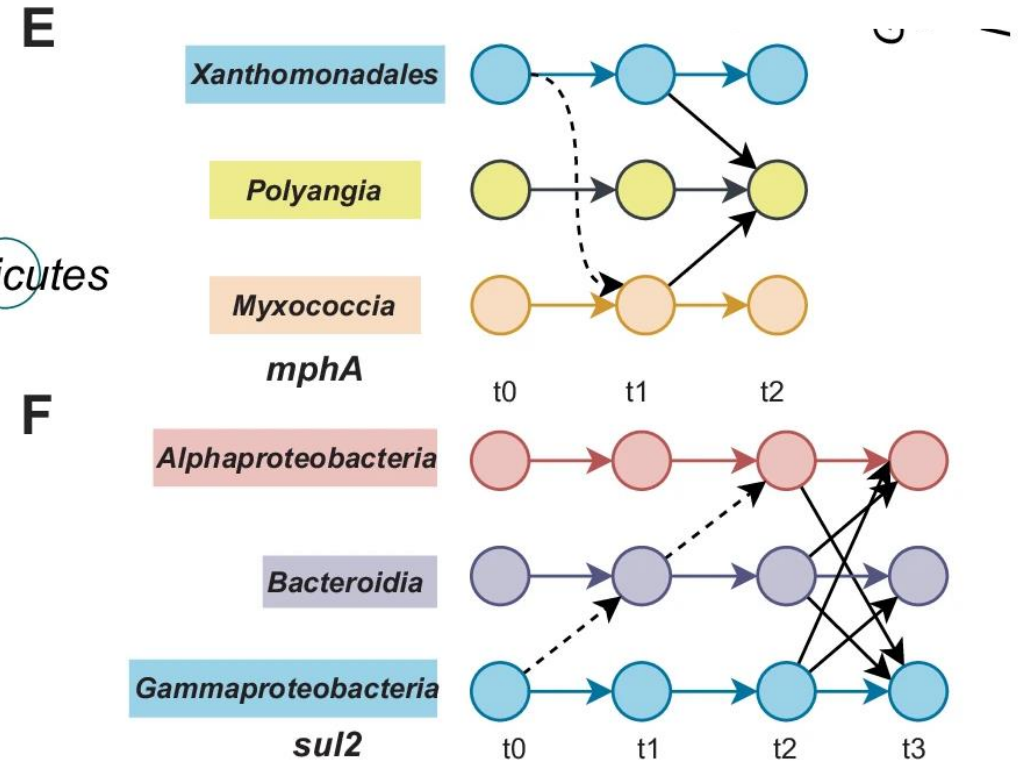


Diagramme de transfert pour **mphA** représentant les voies potentielles entre *Xanthomonadales* et les membres du phylum **Myxococcota** (Myxococcia et Polyangia). F Diagramme de transfert pour **sul2** représentant les voies potentielles entre **Bacteroidota**, **Alphaproteobacteria** et **Gammaproteobacteria**

Brown, C.L., Maile-Moskowitz, A., Lopatkin, A.J. et al.
Selection and horizontal gene transfer underlie microdiversity-level heterogeneity in resistance gene fate during wastewater treatment. Nat Commun 15, 5412 (2024)

Urban wastewater: Council adopts new rules for more efficient treatment



Pour les agglomérations de 100 000 équivalents habitants (e.h.) et plus, les États membres devront s'assurer, d'ici le 1er janvier 2025, que la résistance antimicrobienne soit surveillée au moins deux fois par an aux entrées et sorties des eaux usées urbaines.

Indicateurs
Utilisations/conséquences
Métadonnées
Gestion des données...



Surveillance des eaux usées / environnement

Protocole expérimental de quantification de marqueurs par qPCR

Validation inter-laboratoire de la méthode



Int1

ARN 16S

aacA4

aadB

aadA



Int1

ARN 16S

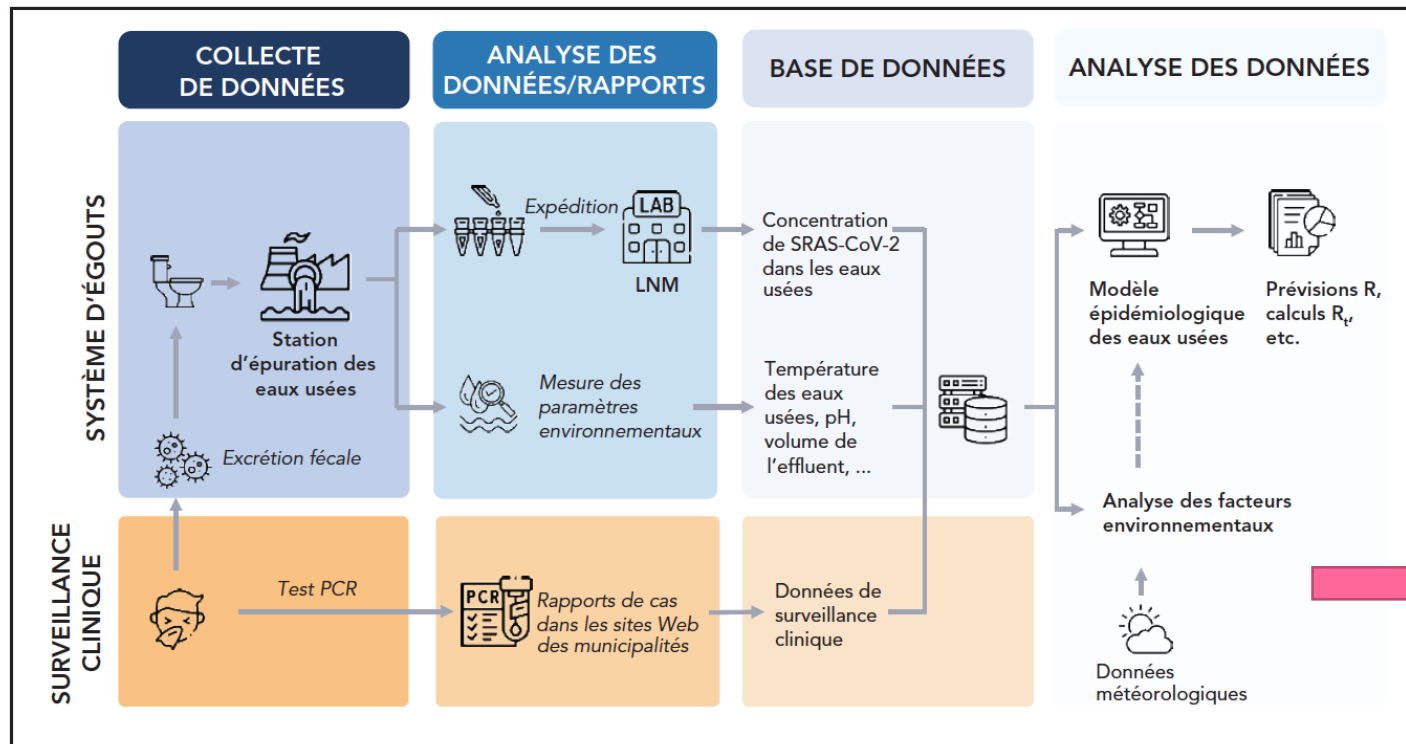
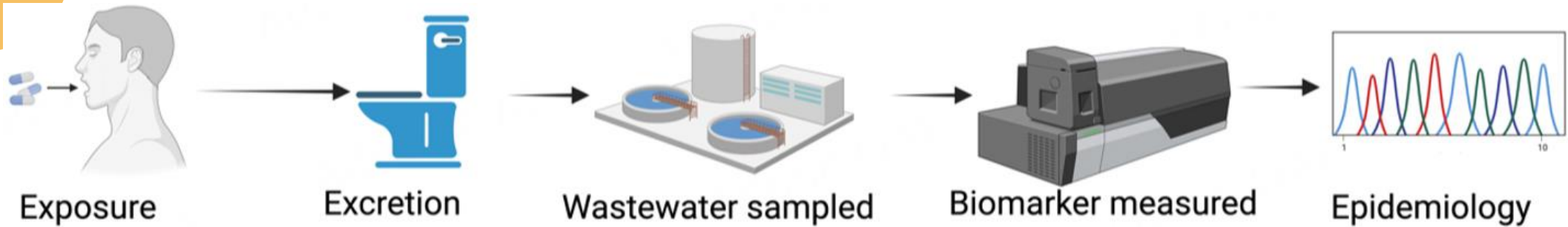
aadA

blaCTX M1

vanA

ermB

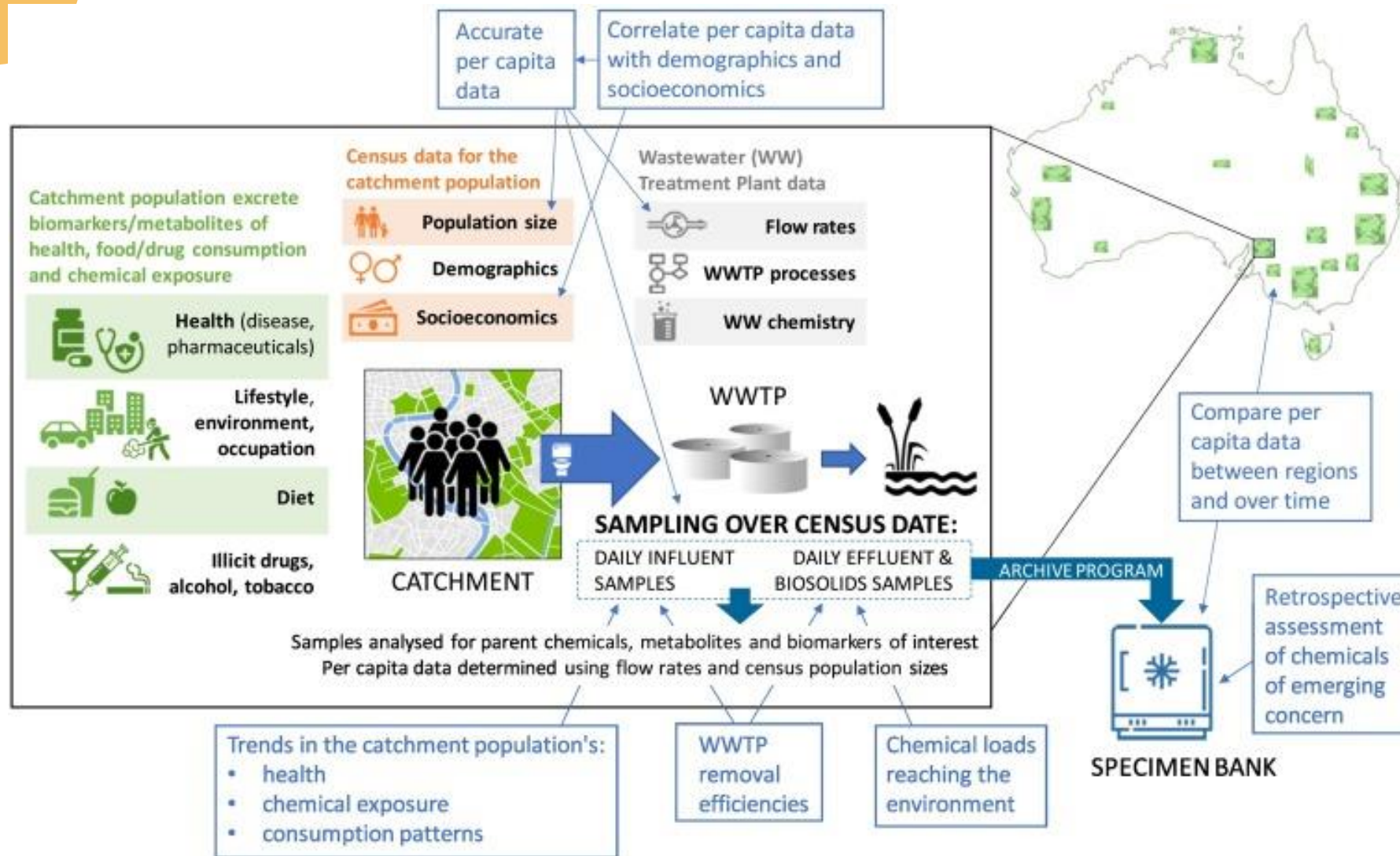
Epidémiologie des eaux usées



Et ?

Abréviations: LNM, Laboratoire national de microbiologie; PCR, réaction en chaîne de la polymérase; SRAS-CoV-2, coronavirus 2 du syndrome respiratoire aigu sévère

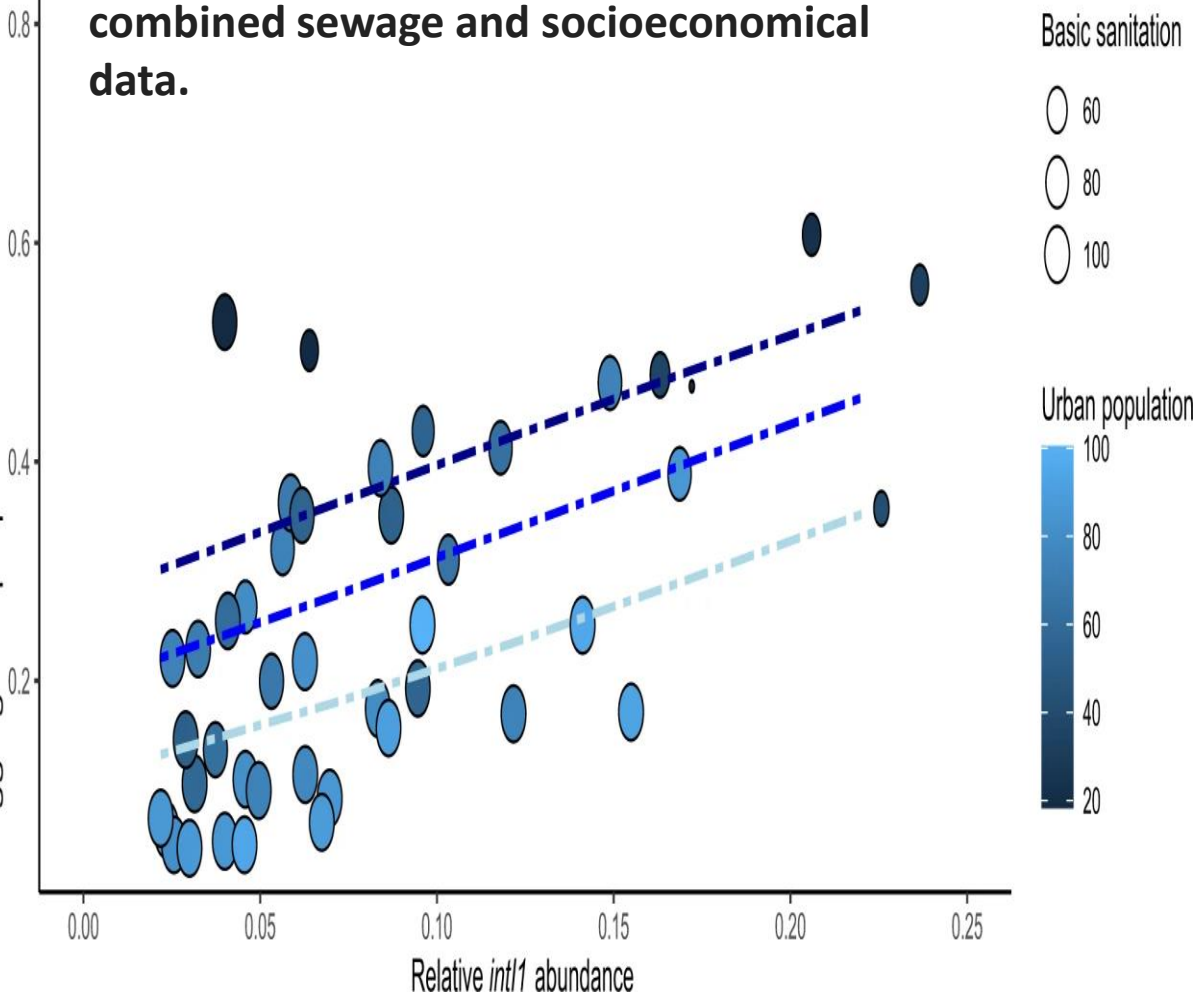
Epidémiologie des eaux usées



Et ?

Surveillance des eaux usées

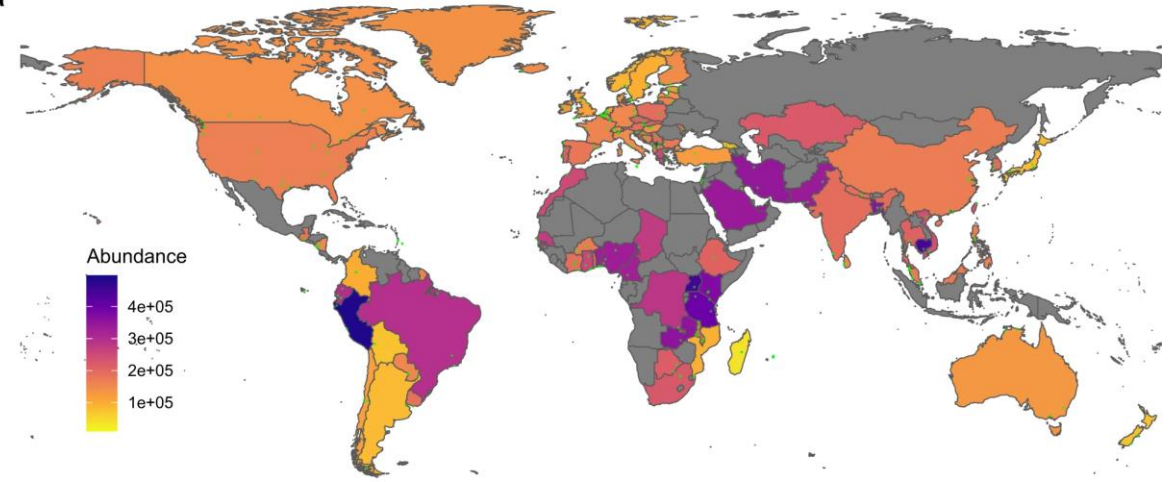
Aggregated resistance model based on combined sewage and socioeconomic data.



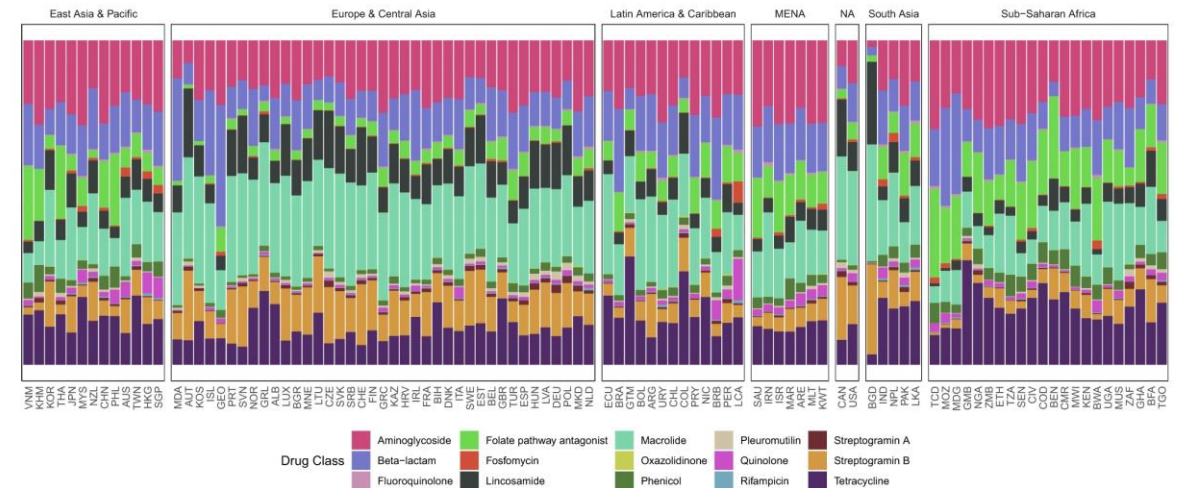
Karkman, A., Berglund, F., Flach, CF. *et al.* Predicting clinical resistance prevalence using sewage metagenomic data. *Commun Biol* **3**, 711 (2020).

J.W. O'Brien *et al.* *Environmental international* **122** (2019) 400-411

a



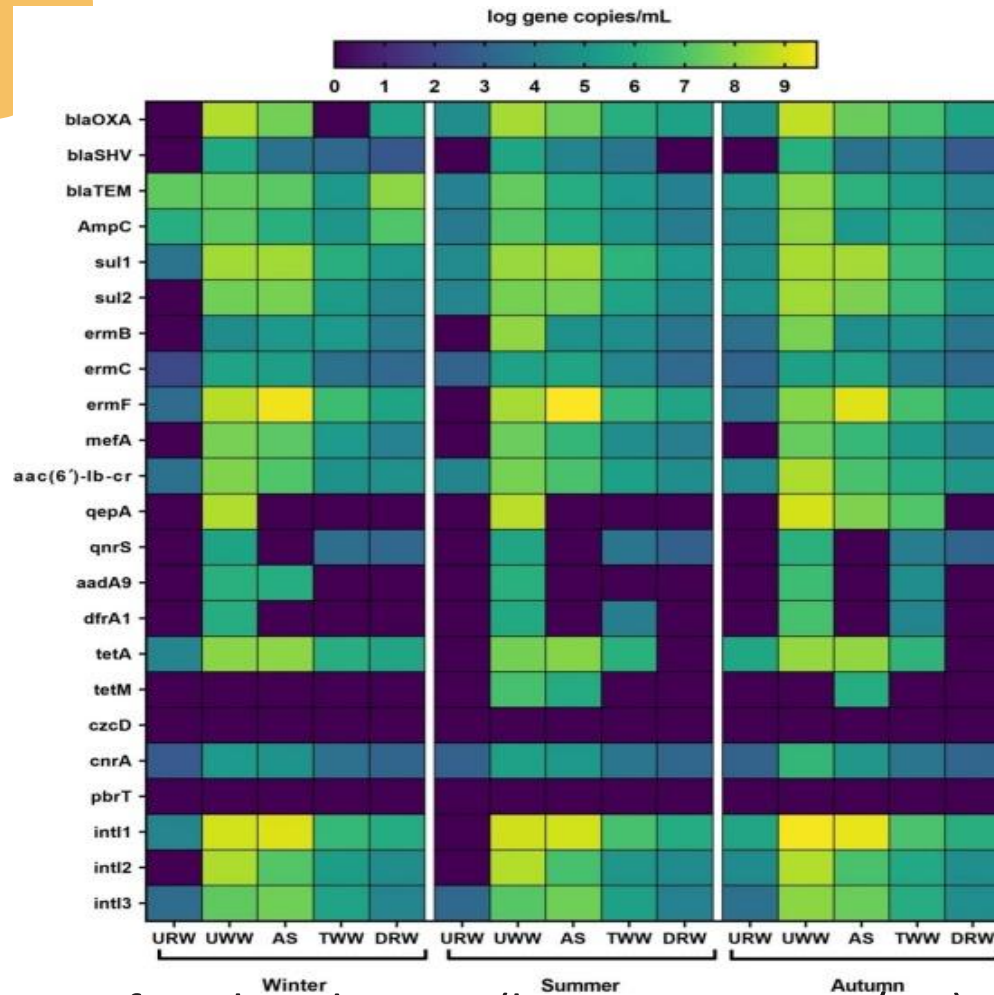
b



The global resistome based on sewage-based monitoring

Munk, P., Brinch, C., Møller, F.D. *et al.* Genomic analysis of sewage from 101 countries reveals global landscape of antimicrobial resistance. *Nat Commun* **13**, 7251 (2022)

Traitement des eaux usées



Efficacité d'un traitement biologique

Charge bactérienne (dont bactéries AMR) **2 logs**

50 % des antibiotiques (?)

50 % de gènes (In / Out)



Hot spot

Heatmap of analysed genes (log genes copies/mL) in wastewater (UWW - Untreated wastewater, AS - Activated sludge, TWW - Treated wastewater) and river water (URW - Upstream river water, DRW - Downstream river water) in three sampling seasons (Winter, Summer, Autumn).



Traitement des eaux usées - REUTE

Arrêté du 28 juillet 2022 relatif au dossier de demande d'autorisation d'utilisation des eaux usées traitées

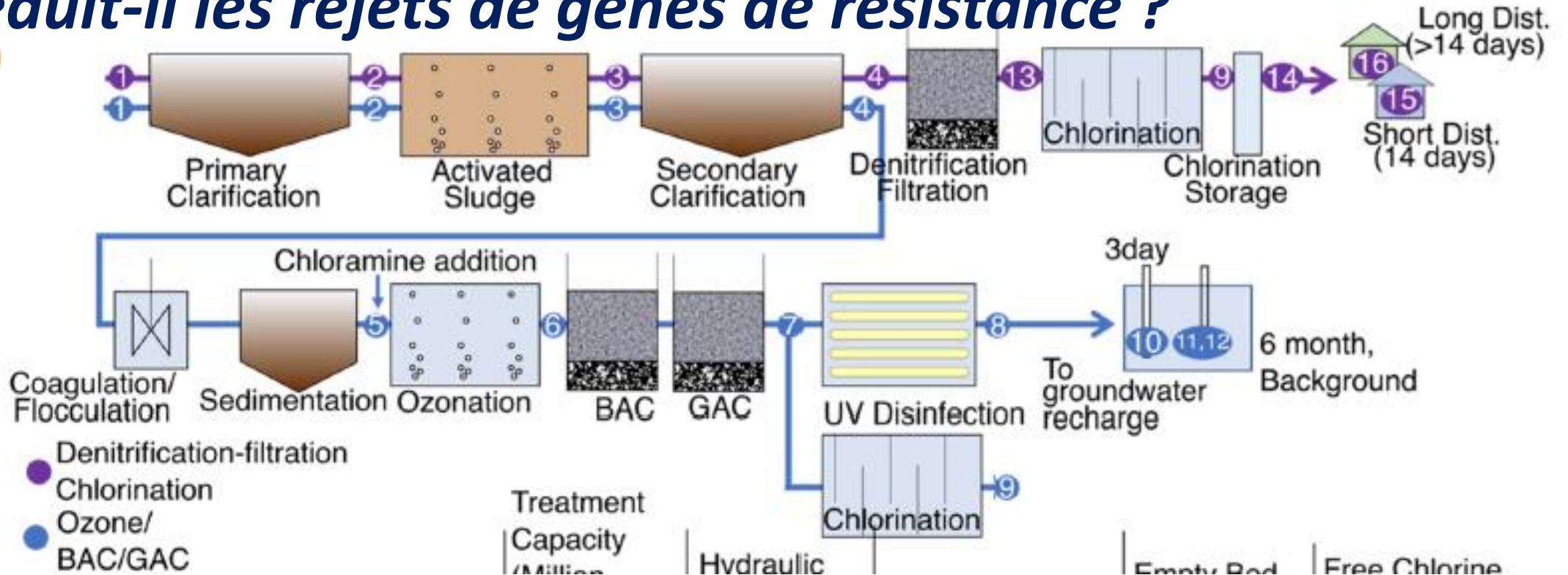
Décret n° 2023-835 du 29 août 2023 relatif aux usages et aux conditions d'utilisation des eaux de pluie et des eaux usées traitées

Arrêté du 14 décembre 2023 relatif aux conditions de production et d'utilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage d'espaces verts

Arrêté du 18 décembre 2023 relatif aux conditions de production et d'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation de cultures

Décret n° 2024-33 du 24 janvier 2024 relatif aux eaux réutilisées dans les entreprises du secteur alimentaire et portant diverses dispositions relatives à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine

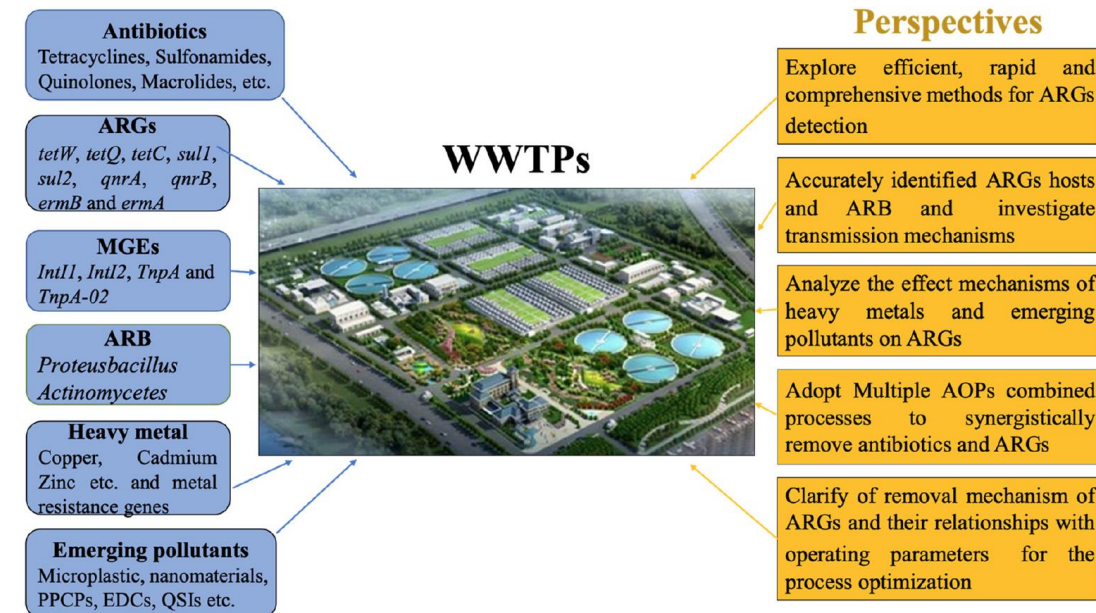
Dans quelle mesure le traitement de réutilisation de l'EUT réduit-il les rejets de gènes de résistance ?



- différentes étapes et technologies de traitement des eaux influencent la distribution des ARGs dans les effluents
- La majorité de l'élimination des ARB et ARGs a lieu lors du traitement par boues activées
- Dans le système ozone/BAC/GAC, l'abondance des ARGs totaux a augmenté entre l'effluent secondaire et l'effluent chloré, avec un pic après l'ozonation.
- L'ozonation a spécifiquement augmenté les ARGs de résistance aux multiresistances, tandis qu'elle a réduit les ARGs associés à la résistance aux peptides et glycopeptides.

Consolider et approfondir les connaissances actuelles -

- Paramètres favorisant la dissémination de l'ABR
 - Quelles concentrations sub-inhibitrices d'ATB ?
 - Quels mécanismes et quelles conditions ?
 - Etudes d'espèces bactériennes sentinelles
- Evaluer les capacités maximales de résilience des écosystèmes contaminés en continu
- Capacités et performances des systèmes d'assainissement†
- Cartographie (nord / sud) et sites pilote
- Données One-health (*Big data* et modélisation)
- ...





Merci de votre attention

