

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 11 mai 2020

**NOTE**  
**d'appui scientifique et technique**  
**de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,**  
**de l'environnement et du travail**

**relative à l'état des connaissances disponibles sur la présence, l'infectiosité et la persistance du virus SARS-CoV-2 dans le milieu aquatique**

Le 23 avril 2020, l'Anses s'est autosaisie pour réaliser l'état des connaissances scientifiques relatives au virus SARS-CoV-2, dans les domaines de compétences de la Direction de l'évaluation des risques (DER). Il pourra s'agir de synthèses bibliographiques ciblées s'appuyant sur de précédents produits d'expertise. Ces états des connaissances peuvent être également issus de veilles scientifiques réalisées en amont de saisines potentielles. La présente note d'AST présente l'état de connaissances disponibles au 21 avril 2020 sur la présence, l'infectiosité et la persistance du virus SARS-CoV-2 dans le milieu aquatique (eaux usées, eaux de surface, eaux souterraines, eaux saumâtres, eaux de mer), en lien avec l'excrétion humaine.

## **1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE**

Le 31 décembre 2019, les autorités chinoises informent l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) de cas groupés de pneumonies dont les cas initialement confirmés avaient un lien avec un marché de fruits de mer et d'animaux vivants dans la ville de Wuhan (région du Hubei), en Chine. Le virus émergent (2019-nCoV), un coronavirus, officiellement désigné par l'OMS par « SARS-CoV-2 » le 11 février 2020, est responsable de la maladie COVID-19 (*coronavirus disease*).

Le 02 mars 2020, l'Anses a été saisie pour une demande urgente sur certains risques liés au COVID-19, à savoir sur le rôle potentiel des animaux domestiques (animaux de rente et de compagnie) dans la propagation du virus SARS-CoV-2, ainsi que sur le rôle potentiel des aliments dans la transmission du virus (Anses 2020a). Cet avis mentionne une présence possible d'ARN viraux du SARS-CoV-2 dans les selles des sujets infectés.

Le 11 mars 2020, au regard de l'ampleur de l'épidémie avec plus de 118 000 cas dans 114 pays et 4291 décès, l'OMS a déclaré que l'épidémie était qualifiée de pandémie<sup>1</sup>. Le 14 mars 2020, la France passe au stade 3 de la gestion épidémique avec une fermeture des lieux recevant du public non indispensables au fonctionnement du pays, la fermeture des établissements d'enseignement le 16 mars, puis avec le confinement national de la population le 17 mars 2020.

<sup>1</sup> Source : OMS <https://www.who.int/fr/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>

L'Anses a été saisie en urgence notamment pour réaliser des appuis scientifiques et techniques portant d'une part, le 20 mars 2020 sur les risques éventuels liés à l'épandage de boues d'épuration urbaines durant l'épidémie de COVID-19, au vue de la possible présence du virus SARS-CoV-2 dans les eaux usées (EU) et d'autre part le 13 avril 2020, sur les risques éventuels liés à l'épandage de boues d'épuration industrielles durant l'épidémie de COVID-19 (Anses 2020b, c).

Au 21 avril 2020, dans le monde 2 431 890 cas confirmés, parmi lesquels 169 859 sont décédés (7,0 %). A la même date, en Europe, 967 598 cas ont été confirmés dont 101 726 (10,5 %) décès ; en France, 117 324 cas confirmés dont 20 796 (17,7 %) décès<sup>2</sup> ont été reportés<sup>3</sup>.

Le 23 avril 2020, l'Anses s'est autosaisie pour réaliser l'état des connaissances scientifiques relatives au virus SARS-CoV-2, dans les domaines de compétences de la Direction de l'évaluation des risques. La présente note d'AST représente l'état de connaissances disponibles au 21 avril 2020 sur la présence, l'infectiosité et la persistance du virus SARS-CoV-2 dans le milieu aquatique (eaux usées, eaux de surface, eaux souterraines, eaux saumâtres, eaux de mer), en lien avec l'excrétion humaine. Ce corpus documentaire a par ailleurs servi notamment de base aux AST mentionnés ci-dessus.

## **2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE**

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'Anses a fait appel à un groupe d'experts.

Les travaux se sont appuyés sur :

- Les informations utilisées lors des expertises conduites dans le cadre des saisines liées 2020-SA-0037, 2020-SA-0043, 2020-SA-0046 et 2020-SA-0056, relatives au virus SARS-CoV-2 ;
- La littérature scientifique (accessible dans les conditions d'une expertise en urgence et dans l'état des connaissances au 21 avril 2020, sans pouvoir faire de revue de la littérature exhaustive) ;
- Des données expérimentales d'analyse d'eaux usées ;
- Les informations relatives à la persistance des virus en milieu marin collectées auprès de l'Ifremer, lors d'une audition tenue le 03 avril 2020 ;
- Un document de synthèse préparé en interne, au sein de la DER.

Sur la base de ces éléments, un projet de note d'appui scientifique et technique a été rédigée par la coordination scientifique en parallèle des travaux d'expertise portant sur l'épandage des boues, puis transmis aux experts pour relecture par voie télématique le 23 avril 2020.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de ces travaux.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'Anses ([www.anses.fr](http://www.anses.fr)).

<sup>2</sup> Total des décès survenus à l'hôpital et des décès survenus dans les établissements sociaux et médico-sociaux

<sup>3</sup> Source : Santé publique France : <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-et-infections-respiratoires/infection-a-coronavirus/articles/infection-au-nouveau-coronavirus-sars-cov-2-covid-19-france-et-monde>

### 3. ANALYSE

#### 3.1. Contexte et méthodologie

##### 3.1.1. Virus SARS-CoV-2 par comparaison aux autres virus

Les coronavirus (CoV), virus de la famille des *Coronaviridae* sont responsables d'infections chez de nombreuses espèces aviaires et mammifères, incluant l'espèce humaine. Les coronavirus humains appartiennent aux genres *Alphacoronavirus* (HCoV-229-E, HCoV-NL63) et *Betacoronavirus* (HKU1, HCoV-OC43, SARS-CoV<sup>4</sup> MERS-CoV<sup>5</sup> et SARS-CoV-2) (Anses 2020a). SARS-CoV-2 est un virus enveloppé, constitué d'une enveloppe lipoprotéique contenant une molécule d'ARN simple brin positif (directement traduit) d'environ 30 kb, associée à la protéine de nucléocapside. Les analyses phylogénétiques indiquent une similarité d'environ 79% avec SARS-CoV et 50% avec MERS-CoV.

Les informations disponibles sur la présence de coronavirus humains dans les EU, les eaux de surface (ESU), les eaux souterraines (ESO) et les eaux marines sont parcellaires. Les travaux se sont donc appuyés sur les connaissances acquises pour les autres virus, tels que les virus entériques humains en prenant en compte leurs similitudes et leurs différences par rapport au SARS-CoV-2. Ainsi, les norovirus et adénovirus sont présents en grande quantité dans le milieu aquatique et sont souvent utilisés comme indicateur du risque viral dans les eaux (Prevost *et al.* 2015, Verani *et al.* 2019). En effet, les adénovirus sont résistants au traitement de désinfection des eaux par rayonnement ultra-violet (Anses 2010). Les rotavirus sont préconisés comme indicateur de contamination virale dans le règlement européen relatif à la réutilisation des EU traitées (Council of the European Union 2019). L'Anses dans son AST de 2018 (Anses 2018) avait indiqué que « *le choix des rotavirus comme virus de référence est discutable. Les norovirus ou adénovirus seraient vraisemblablement plus pertinents car ils sont présents en plus grande quantité dans les eaux usées (Prevost et al. 2015). De plus, les adénovirus sont des virus plus résistants au traitement de désinfection par UV (Anses 2010) ».*

##### 3.1.2. Modèle conceptuel de contamination des milieux aquatiques par les virus entériques humains

La figure 1 présente un modèle conceptuel des mécanismes associés à la transmission des virus entériques humains vers les milieux aquatiques : le point de départ est la population humaine excréant du virus dans ses selles (étape 1). Le virus peut ensuite se retrouver *ipso facto* dans les EU (étape 2). Ces EU sont épurées dans des stations d'épuration d'EU (STEU) (étape 3), puis, une fois épurées, sont rejetées dans le milieu aquatique (étape 4). Dans certaines situations inhabituelles, telles que des conditions hydro-climatiques extrêmes, fortes pluies, dysfonctionnements, raccordements non conformes, accidents, etc. (voir § 3.4), il peut y avoir des rejets d'EU brutes ou peu épurées directement dans les milieux aquatiques (étape 4'). Ainsi, les virus présents dans ces EU peuvent se retrouver dans les eaux douces et marines en aval (étape 5). Ces étapes sont illustrées en figure 1.

<sup>4</sup> SARS-CoV « *Severe acute respiratory syndrome coronavirus* », est l'agent responsable de la maladie SRAS (syndrome respiratoire aigu sévère)

<sup>5</sup> MERS-CoV « *Middle East respiratory syndrome coronavirus* » est l'agent responsable de la maladie MERS (syndrome respiratoire du Moyen-Orient)

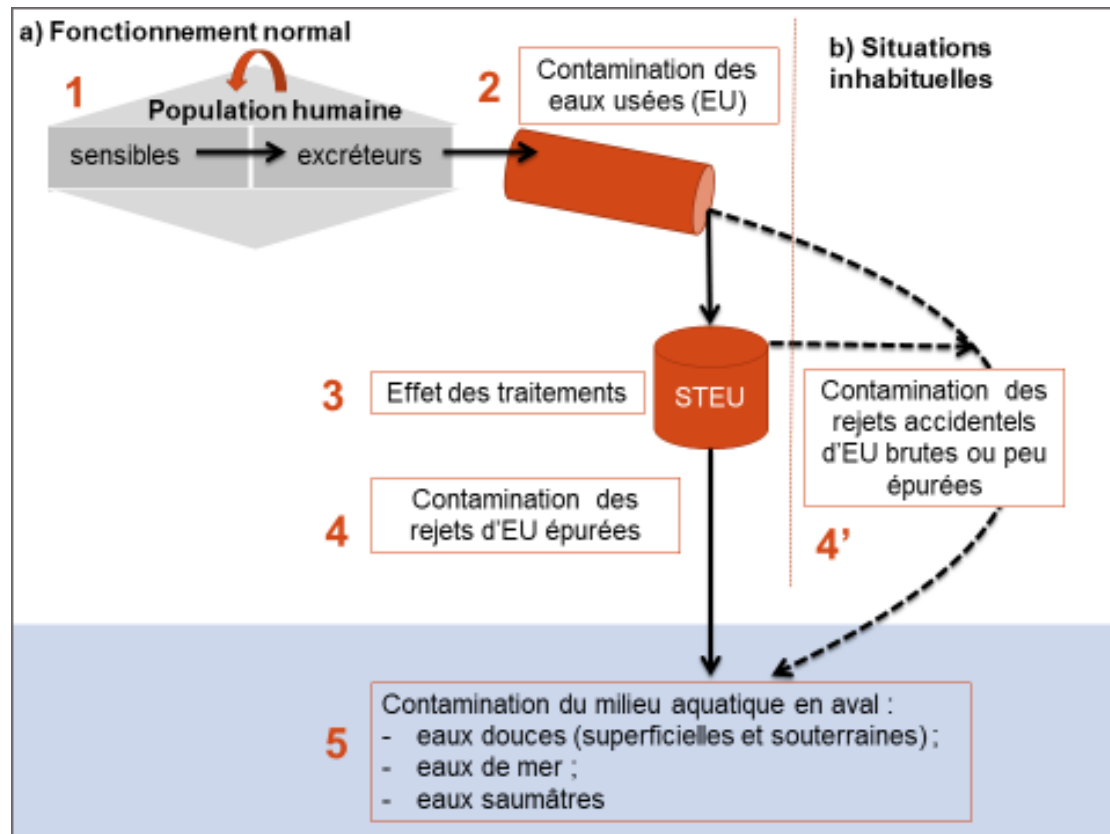


Figure 1 : Modèle conceptuel d'une des voies de transfert des virus entériques humains vers les milieux aquatiques

### 3.2. L'excrétion du SARS-CoV-2 par la population humaine (étape 1)

#### 3.2.1. Symptômes de la maladie et tropisme du virus

La transmission interhumaine du SARS-CoV-2 se fait principalement par voie aérienne, par contact direct (*via* l'inhalation de microgouttelettes infectieuses émises lors d'éternuements ou de toux par la personne infectée) ou indirect (*via* les mains contaminées par les sécrétions respiratoires) (Stoecklin B.S. *et al.* 2020, Guan *et al.* 2020, Anses 2020c). La transmission du virus par aérosol est également évoquée par plusieurs auteurs (National Research Council 2020, van Doremalen *et al.* 2020).

En l'état des connaissances, le virus SARS-CoV-2 est un coronavirus présentant un tropisme respiratoire. Si les patients atteints de COVID-19 présentent dans la majorité des cas des symptômes tels que fièvre, toux et troubles respiratoires, il a été également décrit que certains patients présentaient des symptômes gastro-intestinaux (diarrhées, douleurs abdominales et vomissements) ainsi que des troubles de l'odorat et/ou du goût (Giacomelli *et al.* 2020). De plus, le génome viral a été retrouvé dans les excréta (expectoration, fèces, mucus nasal) (Wang *et al.* 2020). Ainsi, l'existence d'autres sites de multiplication du virus et donc de voie de transmission qui seraient *a priori* secondaires, sont évoqués par différents auteurs.

Concernant l'hypothèse d'un tropisme intestinal du virus SARS-CoV-2, une analyse réalisée par Wong, Lui et Sung (2020), sur différentes cohortes de patients (pédiatriques et adultes) montre des fréquences de diarrhées de 2,0 % à 35,6 % selon les études (144 patients sur

2230 au total recensés dans 12 études), de nausées de 1,0 % à 17,3 % selon les études (5 études, soit 101 patients sur 1616) et de vomissements de 1,0 à 6,4 % selon les études (8 études, soit 92 patients sur 1920 au total). Dans certains cas, ces symptômes gastro-intestinaux ont été constatés plus précocement que les symptômes respiratoires. Certains patients ont également présenté une atteinte du foie, au vu des niveaux élevés d'enzymes (par exemple alanine amino-transférase et aspartate amino-transférase) lors des analyses de sang réalisées pendant le suivi de la maladie. Chez un patient, le génome de SARS-CoV-2 a été détecté dans des cellules épithéliales gastriques, duodénales et rectales (Xiao *et al.* 2020). De ce fait, l'hypothèse d'un tropisme intestinal du SARS-CoV-2, suite notamment à son entrée par voie digestive, est avancée par plusieurs auteurs (Guan *et al.* 2020 ; Gao, Chen et Fang 2020 ; Danchin, Ng et Turinici 2020), restant pour le moment à être confirmée.

### **3.2.2. Excrétion du SARS-CoV-2 chez les patients atteints de COVID-19**

Dans le cas de patients symptomatiques et comme précédemment mentionné dans l'avis de l'Anses (2020a), des génomes du virus SARS-CoV-2 ont pu être retrouvés dans les selles de personnes infectées. L'excrétion n'est pas systématique et la quantité du génome viral varie entre  $5.10^2$  à  $1.10^8$  copies ARN/g de matières fécales. En effet, Wang *et al.* (2020) rapportent que 29 % (44/153) des échantillons issus de matières fécales se sont révélés positifs au SARS-CoV-2 par détection en RT-PCR, à des concentrations estimées inférieures  $2,6.10^4$  copies/mL. Sur 17 autres cas confirmés d'infection par le SARS-CoV-2, les échantillons de selles de neuf d'entre eux (soit 53 %) se sont révélés positifs à l'analyse par RT-PCR, avec des charges virales comprises entre 550 copies par mL et  $1,21.10^5$  copies par mL (Pan *et al.* 2020). Par ailleurs, une étude européenne mentionne que sur 2 des 5 premiers patients d'origine chinoise arrivés en France, des charges virales de  $6,3.10^6$  et  $1,3.10^8$  copies par gramme de selles ont été retrouvées (Lescure *et al.* 2020).

### **3.2.3. Durée d'excrétion du SARS-CoV-2 dans les selles**

Parmi 73 échantillons de selles testés pour la présence de SARS-CoV-2, 39 échantillons (53,4%) ont été détectés positifs pour le génome viral sur une période s'étalant de 1 à 12 jours suivant les individus. Par ailleurs, les échantillons de fèces de 17 de ces patients étaient toujours détectés positifs pour SARS-CoV-2 alors que la présence du virus n'était plus détectée dans les échantillons naso/oro-pharyngés (Xiao *et al.* 2020). D'autres études ont également montré que l'excrétion du génome de SARS-CoV-2 dans les selles de personnes infectées se poursuivait au moins une semaine après sa non détection dans les voies respiratoires supérieures : Chen *et al.* (2020) entre 6 et 10 jours avec une moyenne de 7 jours. Wu *et al.* (2020a) observent une moyenne de 11 jours. Wölfel *et al.* (2020) ont retrouvé du génome viral dans les selles de 8 patients (sur 9 au total), jusqu'à 20 jours après l'apparition des symptômes.

Chez des patients pédiatriques, l'ARN viral a été détecté dans les selles pendant plus de 4 semaines. Chez deux enfants, l'ARN viral du SARS-CoV-2 a été retrouvé dans les selles jusqu'à 8 et 20 jours après que les tests sur leurs prélèvements de gorge aient été négatifs (Xing *et al.* 2020). Un enfant en contact de patients atteints de COVID-19, asymptomatique et avec des prélèvements du tractus respiratoire négatifs au SARS-CoV-2, a eu des selles positives 17 jours après l'exposition au virus, et sur une durée de 9 jours (An *et al.* 2020).

Ainsi, les personnes infectées par SARS-CoV-2 (asymptomatiques et patients COVID-19) peuvent excréter du virus dans les selles. La durée d'excrétion d'une personne infectée (symptomatique ou non) peut non seulement durer plusieurs semaines, mais également continuer alors que la présence du virus n'est plus détectée dans les échantillons prélevés au niveau du tractus respiratoire.

### 3.2.4. Infectiosité du SARS-CoV-2 excrété dans les selles

Il convient de rappeler les limites des méthodes moléculaires, qui ne renseignent pas sur le caractère infectieux des génomes détectés. Pour évaluer l'infectiosité de SARS-CoV-2, il est indispensable de disposer d'un modèle cellulaire permissif pour le virus afin de montrer la réplication *in vitro* des virus isolés d'échantillons cliniques. Les cellules Vero, VeroC1008 (aussi connue sous VeroE6) et VeroE6/TMPRSS2 ont, entre autres, été utilisées afin de montrer la réplication de SARS-CoV-2 isolés d'échantillons issus du tractus respiratoire<sup>6</sup>.

Comme précédemment mentionné dans l'avis de l'Anses (2020a), à la date du 19 mars 2020, l'OMS mentionne qu'une seule étude, par Zhang *et al.* (2020), a permis de cultiver SARS-CoV-2, issu d'un seul échantillon de selles (World Health Organization 2020b). L'étude de Zhang *et al.* (2020) indiquant la visualisation par microscopie électronique<sup>7</sup> d'une seule particule virale dans le surnageant de cellules Véro infectées avec un isolat de selles n'est pas suffisante pour conclure sur l'infectiosité du SARS-CoV-2 détecté dans les selles. Une autre étude précise que des particules virales du SARS-CoV-2 ont été observées en microscopie électronique après la mise en culture du SARS-CoV-2 isolé à partir de quatre échantillons de selles ayant une charge virale élevée, suggérant la possible excrétion de virus infectieux dans les selles (Wang *et al.* 2020). Xiao *et al.* (2020) mentionnent que des virus infectieux auraient été isolés de fèces, confirmant ainsi l'excrétion de virus infectieux par le tractus gastro-intestinal, tout en précisant que ces résultats ne sont pas publiés.

D'autres équipes ont essayé d'étudier l'infectiosité du SARS-CoV-2 présent dans les selles. Une première étude indique que l'isolement par culture cellulaire du SARS-CoV-2 issu de selles de deux patients n'a pas donné de résultats, sans pour autant identifier l'origine de cet échec (milieu de culture non adéquat, ou virus isolés non infectieux) (Kim *et al.* 2020). Une autre étude mentionne également un échec dans la mise en culture du SARS-CoV-2 isolé à partir de treize échantillons de selles provenant de quatre patients, quelle que soit la charge virale inoculée, faisant l'hypothèse que l'environnement intestinal pourrait rendre non infectieux le SARS-CoV-2 (Wölfel *et al.* 2020).

En revanche, une étude réalisée sur le virus SARS-CoV, responsable de l'épidémie Sras en 2003, a montré que ce virus peut rester infectieux pendant 4 jours dans les échantillons à pH 9 de selles de patients présentant des symptômes diarrhéiques (Lai, Cheng et Lim 2005).

En conclusion, l'ARN viral du SARS-CoV-2 a été mis en évidence dans les selles, à des quantités variables pouvant être comparables, bien qu'en moyenne un peu moins élevées, à celles des norovirus. La durée d'excrétion peut également être variable et peut être observée chez des patients pour lesquels les prélèvements respiratoires sont devenus négatifs. Cependant, ces études reposent sur la détection de génomes viraux par RT-PCR. La détection de génomes viraux ne permet pas de témoigner du caractère infectieux d'un virus. L'infectiosité des virus SARS-CoV-2 excrétés dans les selles n'est pas à ce jour démontrée ; la charge virale infectieuse dans les fèces reste également à déterminer.

<sup>6</sup> L'Institut Suisse de Bioinformatique (SIB) liste les lignées cellulaires pouvant ou non cultiver le SARS-CoV-2 : <https://web.expasy.org/cellosaurus/sars-cov-2.html>

<sup>7</sup> La visualisation de virus dans un échantillon biologique par microscopie électronique permet d'observer directement les particules virales, dont les virus difficilement ou non cultivables. Cependant, cette méthode manque de sensibilité (en dessous de 10<sup>6</sup> particules/mL il peut être difficile de détecter le virus), et ne permet pas de renseigner du caractère infectieux des particules virales observées dans un échantillon biologique (Seigneurin 2004).

### 3.3. Contamination des eaux usées brutes et épurées par SARS-CoV-2 (étapes 2 et 3)

Comme indiqué précédemment, même si la présence de particules virales infectieuses du SARS-CoV-2 dans les selles n'a pas été clairement montrée à ce jour, la détection d'ARN viral du SARS-CoV-2 dans les selles de sujets infectés indique que le SARS-CoV-2 pourrait rejoindre les réseaux d'assainissement des EU (Medema *et al.* 2020, Wu *et al.* 2020b).

Les EU constituent un milieu complexe, contenant un grand nombre de composés minéraux et organiques, particulaires et dissous, ainsi qu'une flore microbiologique variée, dont des micro-organismes pathogènes tels que les virus. Ces micro-organismes pathogènes sont le reflet de l'état sanitaire des populations et des périodes épidémiques et donc leur concentration fluctue. Sont retrouvés également des détergents, désinfectants et de nombreux produits industriels. Les publications essentiellement relatives aux virus entériques montrent que ces nombreux composés peuvent influencer de façon positive ou négative la persistance du pouvoir infectieux des virus dans l'environnement (Afsset 2009, Waldman *et al.* 2020). Une courte communication en prépublication montre les niveaux de concentration en virus observable dans les EU brutes et traitées d'Île-de-France (Wurtzer *et al.* 2020).

#### 3.3.1. Traitement des eaux usées

L'assainissement des EU comprend leur collecte, leur transport, leur épuration puis leur évacuation vers le milieu récepteur<sup>8</sup>.

##### - Assainissement non collectif

L'assainissement non collectif (ANC) regroupe tous les systèmes d'assainissement effectuant la collecte, le prétraitement, l'épuration, l'infiltration ou le rejet des EU de maisons individuelles ou d'immeubles non raccordés au réseau public d'assainissement. Les habitations raccordées à une installation d'ANC représentent 15 à 20 % de la population française, principalement dans les zones rurales<sup>9</sup>.

##### - Assainissement collectif

L'assainissement collectif consiste en la collecte et l'acheminement des EU urbaines (domestiques et non domestique) produites par l'activité humaine vers une STEU. Une STEU est constituée d'une filière « eau » aboutissant au rejet d'un effluent aqueux et d'une filière « boue » produisant des boues, principal déchet du traitement des eaux.

Les EU sont principalement d'origine domestique mais peuvent aussi provenir de rejets d'eaux industriels et assimilés (industries, hôpitaux, établissements de transformation des sous-produits animaux etc.) raccordés au réseau.

Le réseau de collecte des EU brutes peut être unitaire ou séparatif. Dans le premier type, les eaux pluviales et les EU transitent dans les mêmes canalisations. Le système séparatif est constitué de deux réseaux de canalisations distincts pour les eaux pluviales et les EU. Le réseau d'assainissement n'est pas inerte vis-à-vis de la qualité des EU transportées, d'une part par les réactions qui s'y déroulent (dégradation de l'urée en ammoniac par exemple), ou

<sup>8</sup> Milieu récepteur : « un écosystème aquatique, ou un aquifère, où sont rejetées les eaux usées, traitées ou non. Un milieu récepteur correspond généralement à une partie de masse d'eau ou une zone d'alimentation de masse d'eau » au sens de l'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO<sub>5</sub> modifié par l'arrêté du 24 août 2017.

<sup>9</sup> Site internet du ministère en charge de l'écologie [www.assainissement-non-collectif.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=archive\\_article&lang=fr](http://www.assainissement-non-collectif.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=archive_article&lang=fr) consulté le 04/04/2020.

par les ouvrages qui permettent le transport de l'eau (postes de relèvement, raccordements etc.)

Le traitement des EU en STEU constitué par l'ensemble des procédés, physiques, physico-chimiques et biologiques, vise à épurer ces eaux avant leur retour dans le milieu naturel. Les filières de traitement sont conçues en fonction de la nature des EU brutes à traiter et de la sensibilité du milieu récepteur. L'arrêté du 21 juillet 2015 modifié<sup>10</sup> prévoit une surveillance et un contrôle des paramètres physico-chimiques (DBO<sub>5</sub>, DCO et MES, azote, phosphore). Toutefois des valeurs plus contraignantes et d'autres paramètres peuvent être prévus localement par le Préfet suivant le contexte.

Le traitement des EU fait appel à plusieurs types d'opérations unitaires :

- prétraitements (dégrillage, dessablage, dégraissage) ;
- traitements primaires (décantation) ;
- traitements secondaires (traitements biologiques à culture libre ou à culture fixée puis séparation liquide solide – clarification) ;
- traitements tertiaires (traitement de l'azote oxydé et du phosphore) ;
- éventuellement désinfection des EU (lampes à rayonnements ultra-violetts (UV), filtration membranaire).

En France, l'étape de désinfection n'est pas fréquente : elle est réalisée essentiellement lorsque la zone de rejet se situe en amont d'une zone sensible (prise d'eau pour la production d'eau potable, baignade, conchyliculture, pêche à pied, pisciculture, activités nautiques, etc.), dans le cadre d'un schéma d'aménagement et de gestion des eaux ou de réutilisation des eaux traitées.

Les EU peuvent également être épurées par lagunage qui est un traitement extensif mettant en jeu des phénomènes d'autoépuration naturelle. Le lagunage peut être également utilisé comme traitement secondaire ou tertiaire.

Les EU épurées par les STEU sont ensuite rejetées dans le milieu naturel récepteur.

D'après les données brutes disponibles sur le site officiel du ministère en charge de l'environnement<sup>11</sup>, en 2018, les filières de traitement des STEU françaises sont pour un tiers des boues activées (cf. figure 2), 20 % du lagunage et 20 % une épuration grâce à des filtres plantés de roseaux et 30 % d'autres traitements (du traitement primaire au tertiaire et rarement une désinfection).

<sup>10</sup> Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO<sub>5</sub> modifié par l'arrêté du 24 août 2017

<sup>11</sup> Site internet <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/services.php> consulté le 07/04/2020



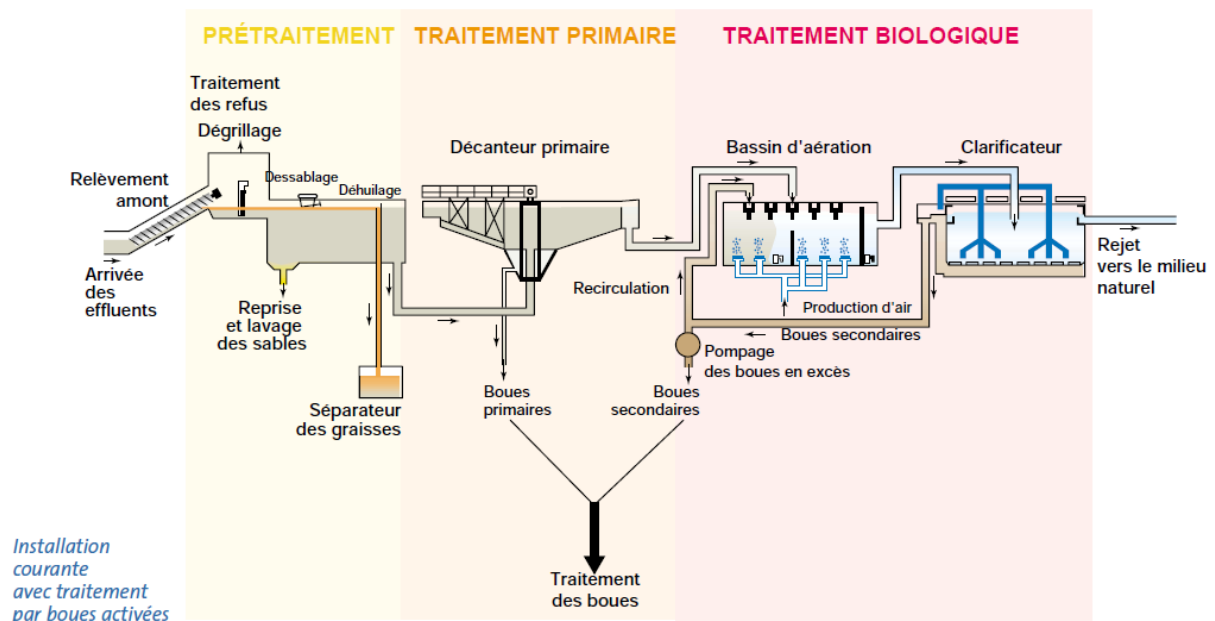


Figure 2 : Schéma de la filière de traitement des eaux usées par boues activées (INRS 2014)

### 3.3.2. Présence du SARS-CoV-2 dans les eaux usées brutes et épurées

Le virus SARS-COV-2 est un virus enveloppé. Généralement, les virus enveloppés persistent moins longtemps dans l'environnement par rapport aux virus nus (par exemple entérovirus et norovirus) (Afsset 2009, World Health Organization 2020a).

Vu qu'il n'existe actuellement pas de donnée publiée sur la présence de particules infectieuses du SARS-CoV-2 dans les EU, les travaux se sont basés sur des données de quantification de virus par la méthode RT-qPCR.

Les données concernant le génome viral sont des indicateurs de présence des virus mais ne permettent pas de renseigner sur le caractère infectieux des virus. Des approches moléculaires alternatives combinant un traitement chimique (e.g. monoazides, dérivés du platine) des échantillons et la détection par RT-qPCR sont possibles et permettent la détection de génomes viraux provenant de particules virales « intactes ». L'absence d'un résultat positif en RT-PCR peut indiquer une absence de risque infectieux pour les échantillons testés compte tenu de la spécificité et sensibilité des méthodes moléculaires. En revanche, l'interprétation d'un résultat positif par PCR ne permet pas de répondre sur le risque viral infectieux d'un échantillon (Afssa 2007). De plus, les méthodes développées pour la détection des virus dans les EU ciblent les virus entériques (virus nus).

Aux Pays-Bas, Medema *et al.* (2020) ont recherché la présence de SARS-CoV-2 par RT-PCR dans les EU brutes de 7 grandes villes, soit une population totale de plus de 3 millions d'habitants et de l'aéroport de Schiphol du 06 février au 17 mars 2020. Le système de santé publique hollandais a identifié le premier cas de Covid-19 le 27 février 2020 et 1413 cas le 15 mars 2020. SARS-CoV-2 a été retrouvé dans les EU brutes à partir du 05 mars, donc au début de la période épidémique aux Pays-Bas. Aux États-Unis, SARS-CoV-2 recherché par RT-PCR dans les EU d'une grande ville du Massachusetts a été détecté entre le 18 et le 25 mars 2020 (25 mars étant la date de confirmation de cas cliniques dans cette ville) ; cette étude estime

que seulement le cinquième des personnes infectées dans cette ville est comptabilisé (Wu *et al.* 2020b).

La surveillance visant la détection d'un virus pathogène *via* les EU constitue un outil de surveillance épidémiologique. Il permet notamment d'estimer le nombre de personnes infectées par un pathogène, de détecter précocement certaines épidémies notamment de poliovirus en Israël et en Egypte grâce la surveillance des EU (Berchenko *et al.* 2017, Blomqvist *et al.* 2012). Le suivi des EU vis-à-vis de leur contamination par le SARS-CoV-2 au cours de cette épidémie serait utile pour disposer de données de contamination des EU, mais aussi pour estimer la prévalence de COVID-19 au sein de la population raccordée (Lodder et de Roda Husman 2020, Mallapaty 2020, Mao, Medema *et al.* 2020, Nemudryi *et al.* 2020, Sims et Kasprzyk-Hordern 2020, Wu *et al.* 2020b, Zhang et Yang 2020).

Le génome viral du SARS-CoV-2 a été recherché par RT-qPCR dans les EU brutes et épurées en février et mars 2020 dans différentes STEU d'agglomérations de plusieurs millions d'habitants en France (24 échantillons) (Wurtzer *et al.* 2020). En moyenne, dans la situation épidémique telle que relevée en France mi-mars 2020,  $10^4$  à  $10^5$  copies génomes de SARS-CoV-2 par litre ont été retrouvés dans les EU brutes, avec un accroissement entre les deux semaines de prélèvements. Sur les EU épurées, environ 1 à 2 log d'abattement est observé après des STEU avec une filière classique de boues activées (dégrillage, dessablage, décantation, traitement biologique par boues activées, clarification, *cf.* Figure 2). Cette réduction est l'abattement classique retrouvé pour les autres virus. Les filières membranaires pourraient avoir un abattement supérieur.

Nemudryi *et al.* 2020 ont recherché des copies génome de SARS-CoV-2 (analysés par RT-PCR) dans les EU prétraitées de la STEU de la ville de Bozeman dans le Montana aux Etats-Unis (48 000 habitants) à partir du 12 mars, pendant 17 jours. Du génome viral a été détecté dans tous les échantillons analysés. Une diminution progressive de la charge virale a été observée lors de la dernière semaine (du 3 au 8 avril 2020, fin de la période publiée).

L'ensemble de ces données montrent la présence de génomes du SARS-CoV-2 dans les EU brutes et épurées sans pouvoir conclure ni sur l'intégrité du virus, ni sur son pouvoir infectieux.

### **3.3.3. Efficacité du traitement de STEU vis-à-vis de SARS-CoV-2**

Il est important de noter que les STEU ont été conçues et optimisées pour réduire la matière organique et non pour éliminer les micro-organismes pathogènes tels que les virus. La persistance du SARS-CoV-2 dans les EU pourrait être plus ou moins affectée par certains des facteurs physico-chimiques et environnementaux (présence de particules, de matière organique, température, etc.).

La persistance du SARS-CoV-2 vis-à-vis de tels milieux et/ou traitements utilisés par les STEU n'a pas été étudiée à ce jour. Chin *et al.* (2020) indique que le SARS-CoV-2 présenterait une plus grande résistance aux pH extrêmes (de 3 à 10), par rapport à ce qui a été observé pour les autres coronavirus

On peut également souligner que la chaleur, la lumière du soleil et les désinfectants usuellement mis en œuvre dans le traitement des eaux destinées à la consommation humaine (comme le chlore) sont considérés comme efficaces sur le SARS-CoV-2, notamment compte tenu des éléments disponibles sur SARS-CoV (Anses 2020b, World Health Organization 2020b).

Pour mesurer la persistance d'un virus soumis aux conditions environnementales ou à des traitements d'inactivation, il est indispensable de disposer de méthodes permettant la quantification des virus infectieux. La persistance du SARS-CoV-2 a été démontrée dans les aérosols et sur différentes surfaces (plastique, carton, etc.) et dans différentes conditions

environnementales à l'aide d'un modèle de culture cellulaire (Chin *et al.* 2020, van Doremalen *et al.* 2020) mais pas à ce jour dans les EU.

### 3.3.4. Présence d'autres virus dans les eaux usées brutes et épurées

Devant le peu de données scientifiques sur la persistance du SARS-CoV-2 dans les STEU, les travaux s'appuient sur les données existantes pour d'autres virus et particulièrement sur SARS-CoV, dont la présence dans les EU brutes et épurées et abattements dans les STEU a déjà été démontrée (Anses 2012a, b).

À l'heure actuelle, les virus les plus recherchés dans les eaux (par méthode moléculaire et/ou culture cellulaire), sont d'une part les virus entériques pathogènes pour l'Homme qui sont transmis par voie féco-orale (principalement entérovirus, norovirus génotypes I et II et rotavirus), mais également les phages qui sont utilisés comme indicateurs de contamination fécale et/ou d'efficacité de traitement. Cependant, les virus entériques sont des virus nus et donc probablement plus résistants vis-à-vis des facteurs environnementaux que les virus enveloppés. Le SARS-CoV-2 est supposé être inactivé beaucoup plus rapidement que les virus entériques humains non enveloppés avec une transmission d'origine hydrique connue (World Health Organization 2020a, b).

Dans les paragraphes suivants, les valeurs de contamination observées dans les différentes publications sont données à titre indicatif, comme ordre de grandeur de quantification des virus habituellement retrouvés dans les EU ; elles sont bien évidemment dépendantes des conditions locales (environnement, traitement, etc.).

#### 3.3.4.1. Virus non enveloppés et indicateurs de contamination virale

Les travaux se sont appuyés sur les revues de la littérature de l'Agence réalisées en 2012 (Anses 2012a,b) ainsi que d'autres publications récentes détaillées ci-dessous.

L'Anses (2012a) a effectué une revue de la littérature en 2011 rapportant des concentrations dans les EU brutes jusqu'à  $10^6$  UFP<sup>12</sup> d'astrovirus/L et jusqu'à  $10^6$  copies génomes d'entérovirus/L. Dans les EU traitées, le niveau de contamination en entérovirus par litre était rapporté de  $10^3$  UFP/L lors d'un traitement par boues activée et de  $10^2$  UFP/L lors d'un traitement tertiaire.

De plus, l'Anses (2012b) rapporte les abattements moyens suivants, se basant sur la revue de Kamizoulis (2008), synthétisant des données de plusieurs virus sans les lister et sans préciser s'il s'agit d'analyse moléculaire ou de culture cellulaire :

- le traitement primaire conduit à un abattement pour les virus de 0 à 1 log ;
- le traitement secondaire (traitement biologique) à un abattement de 0 à 3 log ;
- le traitement tertiaire et/ou de désinfection de 0,5 à 6 log suivant la nature du traitement (le maximum de 6 étant pour les procédés membranaires avec un seuil de coupure adapté - ultrafiltration).

Par ailleurs, l'amplitude de l'élimination de virus humains non enveloppés dépend du type de virus et des procédés de traitements employés dans une STEU considérée. Les entérovirus, adénovirus et réovirus sont peu éliminés lors du traitement primaire des EU avec un abattement inférieur à 1 log. Les entérovirus et adénovirus sont éliminés plus efficacement dans le traitement secondaire, avec un abattement entre 1 et 4 log, mais celui des réovirus reste inférieure à 1 log (Anses 2012b, sans précision s'il s'agit d'analyse moléculaire ou par culture cellulaire).

---

<sup>12</sup> UFP : unité formant plaque

En résumé, l'abattement de la charge virale des STEU classiques est inférieur à 2 log copies génomes pour les virus entériques. Lors du traitement par boues activées, l'abattement en virus est corrélé à leur adsorption sur les solides qui se déposent dans les clarificateurs secondaires (boues). L'étape finale de traitement tertiaire est essentielle pour réduire le nombre de virus infectieux dans les effluents, mais il faut noter que même les effluents désinfectés à l'aide de lampes à rayonnement ultraviolet (UV) peuvent contenir des virus infectieux (par exemple des adénovirus d'après Eischeid, Meyer et Linden (2009)).

Une enquête conduite en Nouvelle-Zélande auprès de dix usines de tailles et de processus de traitement différents a révélé que le traitement des EU (sans désinfection) entraînait une réduction de 0 à 2 log des entérovirus et une réduction de 2 à plus de 3 log des adénovirus, bien que des échantillons d'effluents aient été collectés avant la désinfection (Hewitt *et al.* 2013). Le Guyader *et al.* (2014) rapportent l'abattement en norovirus entre 1 à 3 log dans les STEU à boues activées et supérieure à 3 log dans les STEU utilisant un traitement tertiaire par ultrafiltration.

Prevost *et al.* (2015) ont recherché la présence de 10 virus entériques<sup>13</sup> par RT-PCR dans des échantillons d'eau en sortie de quatre STEU majeures d'Ile-de-France (traitements par boues activées et filtration biologique) pendant un an (2 fois par mois pour un total de 100 échantillons). Adénovirus, norovirus GI et GII et rotavirus (Rv-A) étaient les virus les plus abondamment retrouvés (en moyenne  $10^4$ - $10^5$  copies génomes/L dans les EU épurées). Les concentrations en norovirus GI et GII étaient de l'ordre de  $10^3$ - $10^4$  copies génomes/L, celles pour entérovirus  $10^2$  copies génomes/L. Les virus de l'hépatite A et de l'hépatite E (respectivement VHA et VHE) n'ont été retrouvés dans aucun échantillon. Sur les mêmes STEU, Moulin *et al.* (2010) avaient estimé l'abattement sur les entérovirus à presque 2 log.

Après le traitement des EU, les virus non enveloppés peuvent être retrouvés sous forme de génome et/ou de virus infectieux.

#### 3.3.4.2. Cas des virus enveloppés

Dans son avis du 19 mars 2020, l'OMS a estimé qu'il n'y avait aucune preuve de la persistance du SARS-CoV-2 dans les EU (World Health Organization 2020b). Les virus enveloppés sont généralement considérés comme moins résistants, toutefois, certains virus enveloppés semblent persister dans les EU et les ESU. Les virus sont souvent adsorbés sur la matière organique, ce qui peut accroître leur résistance. Ainsi, des coronavirus humains peuvent rester infectieux pendant plusieurs jours dans les eaux à la fois dans l'environnement et en conditions de laboratoire (Casanova *et al.* 2009, Gundy, Gerba et Pepper 2008).

Une diminution de 90 % du titre infectieux du SARS-CoV est observée 9 jours après son incubation dans du milieu de culture à température ambiante (conditions de laboratoire) (Wigginton, Ye et Ellenberg 2015, Rabenau *et al.* 2005). En comparaison, la diminution de 90% du titre infectieux du coronavirus humain HCoV 229E, traité dans les mêmes conditions de laboratoire, est observée en moins d'un jour. Wang *et al.* (2005) ont pu détecter de l'ARN de SARS-CoV dans les effluents bruts de deux hôpitaux pendant 8 jours bien qu'ils estiment le virus inactivé. Ils retrouvent également l'ARN du virus dans les EU épurées en sortie de la STEU d'un des hôpitaux. Ils estiment que le virus SARS-CoV reste infectieux pendant 2 jours dans les EU brutes.

<sup>13</sup> Adenovirus, Aichivirus, astrovirus, Cosavirus, Entérovirus, VHA, VHE, Norovirus GI et GII, Rotavirus A et Salivirus

Le virus H1N1 a également été détecté dans les selles et l'urine de patients ainsi que dans les EU brutes (Heijnen et Medema 2011, Hu *et al.* 2013, Lee *et al.* 2011, To *et al.* 2010).

En outre, comme rappelé par Anses (2020b), le virus Ebola est rapidement éliminé dans les EU après 24h (Bibby, Fischer *et al.* 2015). Il en est de même pour le phage Phi6, bactériophage enveloppé à ARN double brin segmenté, proposé comme virus « modèle » pour étudier la persistance du virus Ebola lors du traitement des EU (Bibby, Casson *et al.* 2015) puisque leurs diminutions sont linéaires (5 log en 48h ou de 7 log en 72h est observée à 30°C pour Phi6) (Casanova et Weaver 2015).

En conclusion, la présence de génomes du SARS-CoV-2 a été mise en évidence dans des EU brutes et épurées, sans pouvoir statuer sur le risque infectieux associé. La présence de virus infectieux dans les EU brutes et épurées a été décrite pour d'autres virus enveloppés infectieux. Sans données supplémentaires, il n'est pas possible d'exclure la présence du virus SARS-CoV-2 infectieux dans les EU brutes ou épurées.

### 3.4. Contamination des eaux rejetées dans le milieu aquatique (étape 4 et 4')

Si l'infectiosité du SARS-CoV-2 retrouvé dans les selles (et dans les EU) était démontrée ultérieurement et en tenant compte des données cumulatives de persistance des autres virus présentées dans le paragraphe 3.3, il se pourrait que SARS-CoV-2 puisse persister dans des environnements aqueux. Cependant sa durée de persistance dépendra de la filière de traitement des EU, des caractéristiques des eaux (température, pH, charge virale en entrée, etc.), et du temps de séjour dans le système d'assainissement avant rejet.

Le risque de rejet d'EU brutes ou peu épurées dans le milieu aquatique est accru lors de situations inhabituelles :

- l'effet à court terme des fortes pluies ou à moyen terme avec l'augmentation du niveau des nappes phréatiques et des ESU ;
- opérations programmées d'entretien et de maintenance préalablement portées à la connaissance du service en charge du contrôle ;
- circonstances exceptionnelles (telles que catastrophes naturelles, inondations, pannes ou dysfonctionnements non directement liés à un défaut de conception ou d'entretien, rejets accidentels, actes de malveillance).

L'occurrence et la fréquence de ces rejets d'EU brutes ou peu épurées varie selon les caractéristiques du réseau, de la STEU et des conditions climatiques. A titre d'exemple, le Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) du bassin Loire Bretagne, fixe comme objectif un maximum de 20 jours de rejet d'EU non épurées par point de rejet et par an sur les réseaux unitaires et de 2 jours par point de rejet et par an sur les réseaux séparatifs<sup>14</sup>.

**Aussi, pour éviter les contaminations de l'environnement, une bonne gestion des systèmes d'assainissement est primordiale. Par exemple, dans les réseaux unitaires de collecte des EU brutes, la gestion des eaux pluviales en amont est primordiale pour éviter, en période de fortes pluies, un dysfonctionnement de la STEU ou un rejet d'EU non épurées dans le milieu aquatique.**

<sup>14</sup> Site internet [https://sdage-sage.eau-loire-bretagne.fr/files/live/sites/sdage-sage/files/Planification-gestion%20des%20eaux/Sdage/Elaborer%20le%20Sdage/PUBLI\\_Sdage16-21\\_20151104.pdf](https://sdage-sage.eau-loire-bretagne.fr/files/live/sites/sdage-sage/files/Planification-gestion%20des%20eaux/Sdage/Elaborer%20le%20Sdage/PUBLI_Sdage16-21_20151104.pdf) consulté le 08 avril 2020

Participent fortement à la contamination du milieu les déversoirs d'orage<sup>15</sup> sur le réseau, les déversoirs en tête de station<sup>16</sup> et les ouvrages de dérivation (*by-pass*) en cours de traitement<sup>17</sup> qui détournent, en cas de fortes pluies, une partie du flux d'EU brutes ou partiellement épurées directement vers le milieu récepteur. Les rejets d'EU brutes ou épurées peuvent ainsi contaminer, directement et indirectement, aussi bien les eaux douces que les eaux de mer. Les débits des rejets au niveau de ces ouvrages doivent être tracés au titre de l'auto-surveillance de l'exploitant (obligation de l'arrêté du 21 juillet 2015 modifié), ce qui peut permettre d'estimer localement l'impact.

Établi au maximum tous les 10 ans, le diagnostic du système d'assainissement des EU (obligation de l'arrêté du 21 juillet 2015 modifié) permet d'identifier les dysfonctionnements éventuels du système d'assainissement. Par exemple, il localise l'ensemble des points de rejets au milieu récepteur et notamment les déversoirs d'orage et il quantifie la fréquence, la durée annuelle des déversements et les flux polluants déversés dans le milieu naturel. Ce diagnostic peut servir localement à identifier les zones à usage sensible.

### 3.5. Contamination du milieu aquatique (étape 5)

#### 3.5.1. Facteurs impactant l'abondance, la distribution et la persistance des virus

En l'absence de données sur le virus SARS-CoV-2, les travaux se sont appuyés sur les éléments connus susceptibles d'influencer la distribution des virus pathogènes pour l'Homme de manière générale, dans le milieu aquatique contaminé. Les connaissances actuelles montrent que l'abondance et la persistance peuvent être influencées par :

- les types et durées des traitements des EU (cf. § 3.3.1) ;
- le type de réseau de collecte d'assainissement urbain (unitaire ou séparatif) et sa qualité (raccordements non conformes, entretien, temps de séjour, etc.) ;
- les caractéristiques des précipitations ;
- la température de l'eau (par exemple un abattement de  $10^5$  du poliovirus et de l'échovirus en 1 mois en été (température de l'eau 21-26° C) et en un peu plus de 2 mois en hiver (4-16 °C) (Pinon et Vialette 2018) ;
- la salinité de l'eau (une salinité plus élevée induit une inactivation nettement plus rapide du virus de la grippe A H1N1) ;
- les rayonnements UV (les virus persistent mieux dans l'obscurité que lorsqu'ils sont exposés à la lumière du soleil) ;
- le pH de l'eau ;

---

<sup>15</sup> Déversoir d'orage (définition de l'arrêté du 21 juillet 2015 modifié) : « Tout ouvrage équipant un système de collecte en tout ou partie unitaire et permettant, en cas de fortes pluies, le rejet direct vers le milieu récepteur d'une partie des eaux usées circulant dans le système de collecte. Un trop-plein de poste de pompage situé à l'aval d'un secteur desservi en tout ou partie par un réseau de collecte unitaire est considéré comme un déversoir d'orage aux fins » de l'arrêté du 21 juillet 2015 modifié.

<sup>16</sup> Déversoir en tête de station (définition de l'arrêté du 21 juillet 2015 modifié) = « Ouvrage de la STEU permettant la surverse de tout ou partie des eaux usées vers le milieu récepteur avant leur entrée dans la filière de traitement. ».

<sup>17</sup> Ouvrage de dérivation (*by-pass*) en cours de traitement (définition de l'arrêté du 21 juillet 2015 modifié) : « tout ouvrage, au sein de la STEU, permettant de dériver vers le milieu récepteur des eaux usées qui n'ont suivi qu'une partie de la filière de traitement ».

- l'hydrodynamique côtière ;
- le débit des rivières ;
- le passage par un estuaire sédimenté (par exemple, plus de 99 % des poliovirus, des coxsackievirus, des échovirus de type 7 et des rotavirus, ajoutés avec ou sans matière organique soluble, peuvent être adsorbés par des sédiments (LaBelle et Gerba 1979) ;
- la quantité et la nature de la matière organique.

Ainsi, suivant ces paramètres, la persistance des virus peut être très variable.

Les virus apportés par les rejets d'EU peuvent rester en suspension ou s'associer à des matières organiques et inorganiques. Un virus adsorbé sur de la matière organique peut accroître sa résistance.

La présence de pathogènes d'origine humaine dans l'environnement dépend de la densité des populations urbaines du bassin versant, de la prévalence de personnes excrétrices parmi la population, du bon dimensionnement et du bon fonctionnement des STEU, du taux de raccordement au système d'assainissement collectif, des traitements avant rejet des EU, de la proximité du rejet et des capacités de résistance de chaque pathogène.

### 3.5.2. Présence et persistance du SARS-CoV-2 dans les eaux douces et les eaux de mer

A la connaissance des experts consultés, il n'y a actuellement pas de donnée publiée dans la littérature scientifique relative à la présence et/ou la persistance du virus SARS-CoV-2 ni dans les ESU, ESO et les eaux de mer.

Toutefois, des données expérimentales ont été rapportées. À Paris, le lavage des voiries s'effectue avec de l'eau non potable provenant de la Seine et du canal de l'Ourcq et subissant uniquement un dégrillage avant son acheminement à travers un réseau dédié. 1 000 copies génome de SARS-CoV-2 par litre d'eau (RT-QPCR) ont été retrouvés dans quatre prélèvements sur vingt-sept effectués début avril (Azzaro 2020 et communication personnelle du laboratoire Recherche et Développement d'Eau de Paris). Ainsi, des traces de SARS-CoV-2 pourraient être retrouvés dans les ESU en aval de rejets d'EU épurées. Par ailleurs, cela n'indique pas si l'ARN viral détecté correspond à la présence de particules virales infectieuses. Ces informations nécessitent d'être confirmées de manière robuste.

Compte tenu du peu de données scientifiques sur la persistance du SARS-CoV-2 dans les eaux douces et les eaux de mer, les travaux s'appuient sur les données existantes pour d'autres virus.

#### 3.5.2.1. Présence d'autres virus dans les eaux douces

##### ► Eaux de surface

Les travaux se sont appuyés sur une revue de la littérature de l'Agence réalisées en 2007 (Afssa 2007) ainsi que d'autres publications récentes détaillées ci-dessous.

L'Afssa (2007) a effectué une revue de la littérature rapportant des concentrations virales dans les ESU. Les concentrations retrouvées sont très variables et dépendent des conditions locales. On peut noter des concentrations jusqu'à  $10^5$  copies génomes norovirus /L.

Prevost *et al.* (2015) ont mené une étude sur la contamination de la Seine et ses affluents en amont et en aval de la ville de Paris pendant un an (2 fois par mois, 175 échantillons). Les concentrations étaient en moyenne de l'ordre de  $10^2$  à  $10^3$  copies génomes/L pour adénovirus,

entérovirus, norovirus GI et GII et rotavirus (Rv-A). Aucun échantillon n'était contaminé par VHA et VHE.

Les concentrations retrouvées dans des eaux douces récréatives à Singapour sont de l'ordre de  $10^2$  copies génomes/ L pour norovirus GI et adénovirus humains et de  $10^3$  copies génomes/ L pour orovirus GII (Vergara, Rose, et Gin 2016).

En France, Sedji *et al.* (2018) ont mesuré la contamination d'une rivière en aval de rejets de STEU urbaine (environ 250 000 habitants) pendant 6 mois (soit 15 échantillons) pour adénovirus type 41 (concentrations entre  $10^2$  et  $9.10^3$  copies génomes/L) et norovirus GI et GII (moyennes respectives de  $6,1.10^2$  copies génomes/L et de 37 copies génomes/L). Tous les échantillons ont été testés positifs (Tableau 2) pour ces 3 virus. Du virus infectieux a également été retrouvé pour adénovirus type 41.

Au Royaume-Uni, Farkas *et al.* (2018) ont étudié les concentrations de plusieurs virus dans les EU de 4 STEU, ESU (rivière Conwy) et eaux de mer. La concentration virale dans les ESU était comprise entre  $10^3$  et  $10^4$  copies génomes/L pour adénovirus, entre 0 à 100 pour norovirus GI et GII. Les concentrations dans les ESU sont de 1 à 4 log inférieures à celles retrouvées dans les EU. L'infectiosité et la dégradation virales ont été estimées à l'aide d'un test d'intégrité de la capsid NoV (utilisation de mucus gastrique porcine conjugué à des billes magnétiques) : l'intégrité des capsides de norovirus chute de 83 %-100 % dans les EU brutes à 0-25 % dans les ESU.

La méta-analyse récente de Boehm *et al.* (2019) présente des abattements moyens de la charge virale dans les ESU compris entre 0,07 à 0,9 log par jour (virus de mammifères vivant dans l'eau et coliphages). Les abattements les plus élevés sont obtenus dans les expériences menées à des températures plus élevées (jusqu'à 29°C) et à la lumière du soleil.

### ► Eaux souterraines

Waldman (2019) indique que les ESO sont généralement peu contaminées en virus entériques dans les pays industrialisés en zones tempérées.

Le transfert des virus dans les ESO dépend des caractéristiques du sol et de la roche, de la saturation du sol, du pH, ainsi que des propriétés intrinsèques des virus (Gerba 1984, Yates, Gerba, et Kelley 1985). Le sol agit ainsi comme un filtre naturel et les ESO sont en principe moins contaminées que les ESU.

La méta-analyse de Fout *et al.* (2017) rapporte que des virus entériques humains ont été détectés (par culture cellulaire ou RT-PCR) dans 27 % de 2273 échantillons d'ESO de 5 pays industrialisés (Etats-Unis, Canada, Italie, Japon et Corée du Sud). Les concentrations moyennes de virus étaient de 16 copies génomes/L et 0,4 unités infectieuses /L (parmi les échantillons positifs).

En 2017, parmi 364 échantillons d'ESO issus de 182 puits italiens utilisés pour l'irrigation, 27 puits (soit 7,4 %) ont été positifs vis-à-vis des norovirus, rotavirus et/ou entérovirus. VHA n'a été détecté dans aucun échantillon (De Giglio *et al.*, 2017).

#### 3.5.2.2. Présence d'autres virus dans les eaux de mer

La méta-analyse de Boehm *et al.* (2019), présentée ci-dessus (cf. § 3.5.2.1), montre que les abattements des charges virales de virus des mammifères dans les eaux de mer ne sont pas distincts de ceux obtenus dans les eaux douces. Les eaux estuariennes sont peu étudiées, il semblerait néanmoins que les abattements soient plus élevés dans ces eaux que dans les eaux douces.



Le Guyader *et al.* (2014) indiquent que des norovirus ont été détectés jusqu'à  $10^8$  copies génome/L dans des eaux côtières et VHA a été retrouvé entre  $10^1$  à  $10^4$  copies génome/L.

Flannery *et al.* (2013) ont montré l'importance du rayonnement solaire sur l'abattement du bactériophage GA dans l'eau de mer : 1 log d'abattement en 4 h après une exposition à une lumière simulant des conditions hivernales à 10°C et en 15 min après une exposition à une lumière simulant des conditions estivales à 17°C.

La persistance des virus infectieux, de façon générale dans l'eau de mer, est très variable suivant le type de virus, l'agrégation ou non à de la matière organique et la température. VHA et poliovirus peuvent garder leur caractère infectieux entre 1 à 5 jours alors que d'autres entérovirus pendant quelques mois dans les sédiments (Griffin *et al.* 2003).

Des virus enveloppés peuvent *a priori* persister en milieu marin comme des virus pathogènes pour la faune marine, par exemple le virus OsHV-1 de l'huître qui peut survivre plusieurs jours dans l'eau de mer, en fonction de la température (mis en évidence par RT-PCR) (Vigneron *et al.* 2004). Des *Gammacoronavirus* pathogènes de mammifères marins ont aussi été mis en évidence (Woo *et al.*, 2014). Mihai *et al.* (2011) observent un abattement de 4 log copies génomes/L de H5N1 en eaux de rivière, lac et eau de mer en 5 semaines à 6 °C et en 3 semaines à 22 ou 35 °C.

## CONCLUSIONS DE L'AGENCE

Les éléments rassemblés constituent une synthèse des connaissances à la date du 21 avril 2020. Des mises à jour sont susceptibles d'intervenir en lien avec l'évolution du corpus documentaire disponible. A cette fin, une veille technique et scientifique va être poursuivie. Les données scientifiques présentées, étape par étape, sont soit celles actuellement disponibles sur le virus SARS-CoV-2 soit, à défaut, celles d'autres virus choisis à titre de comparaison.

Le génome du virus SARS-CoV-2 peut être excrété dans les selles, à des quantités variables et à des concentrations un peu plus faibles que des virus tels que les norovirus et VHA. La durée d'excrétion de personnes infectées (symptomatique ou non) peut durer plusieurs semaines et également continuer alors que la présence du virus n'est plus détectée dans les échantillons pris au niveau du tractus respiratoire. Cependant, au vu des données existantes, l'infectiosité des virus présents dans les selles n'est ni établie, ni infirmée, et doit être étudiée. Des incertitudes demeurent sur l'existence de tropismes secondaires du virus SARS-CoV-2 (en particulier la possibilité d'une infection virale *via* la voie digestive).

Des génomes du SARS-CoV-2 ont été détectés dans des eaux usées et des eaux de surface. Cependant, la détection de génome viral ne renseigne pas sur son caractère infectieux.

Les données de l'impact des traitements des eaux usées sur l'inactivation du SARS-CoV-2 sont manquantes. Aucune donnée ne permet aujourd'hui d'estimer la présence et la quantification de particules virales infectieuses du SARS-CoV-2 dans le milieu aquatique.

L'Agence souligne à cet égard le nombre limité d'études et données disponibles à ce sujet concernant le virus SARS-CoV-2. L'acquisition de données expérimentales et/ou des informations complémentaires sur la quantification, l'infectiosité et la persistance du virus SARS-CoV-2 dans les différents milieux évoqués (eaux usées brutes et épurées, eaux de surface, eaux marines), ainsi que chez l'Homme (tropisme digestif, excrétion de virus infectieux dans les selles) pourrait permettre de lever un grand nombre d'incertitudes. L'Anses

souligne que le récent avis<sup>18</sup> de l'académie des technologies du 24 avril 2020 recommande également que des travaux soient menés sur ces sujets.

L'Anses restera attentive aux études et informations à venir susceptibles de faire évoluer cet état des connaissances.

Dr Roger GENET

---

<sup>18</sup> <https://www.academie-technologies.fr/blog/categories/publications-de-l-academie/posts/avis-de-l-academie-des-technologies-relatif-a-la-presence-et-a-l-activite-du-coronavirus-sars-cov-2-dans-les-eaux-usees>

**MOTS-CLES**

SARS-CoV-2, COVID-19, coronavirus, excrétion humaine, eaux usées, station d'épuration, eau

*SARS-CoV-2, COVID-19, coronavirus, human excretion, sewage, wastewater, sewage treatment plant, water*

**BIBLIOGRAPHIE**

- Afssa. 2007. "Bilan des connaissances relatives aux virus transmissibles à l'homme par voie orale."
- Afsset. 2009. "Rapport d'expertise collective "Virus Influenza pandémique A (H1N1) 2009 : évaluation du risque sanitaire pour les travailleurs de l'assainissement des eaux usées."
- Anses. 2010. "Evaluation de l'innocuité des réacteurs équipés de lampes à rayonnements ultraviolets et de l'efficacité de ces procédés pour la désinfection des eaux destinées à la consommation humaine ." Rapport scientifique.
- Anses. 2012a. "Note de l'Anses relative à la détermination de valeurs guides pour les paramètres microbiologiques dans les rejets des systèmes d'assainissement collectifs et non collectifs à l'amont d'usages sensibles. 16p." .
- Anses. 2012b. "Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts par aspersion et le lavage des voiries. 2009-SA-0329. 137 p." <http://www.anses.fr/sites/default/files/files/Eaux2009sa0329Ra.pdf>
- Anses. 2018. "Note d'appui scientifique et technique rportant sur le projet de règlement relatif à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation agricole adopté par la Commission européenne le 28 mai 2018 » 2018-SA-0198."
- Anses. 2020a. "Avis relatif à une demande urgente sur certains risques liés au COVID-19 - saisine 2020-SA-0037."
- Anses. 2020b. "Avis relatif à une demande en urgence d'appui scientifique et technique sur les risques éventuels liés à l'épandage de boues d'épuration urbaines durant l'épidémie de COVID-19 - saisine 2020-SA-0043."
- Anses. 2020c. "Avis de l'Anses relatif à une demande en urgence d'appui scientifique et technique sur les risques éventuels liés à l'épandage de boues d'épuration industrielles durant l'épidémie de COVID-19. Saisine n° 2020-SA-0056."
- Azzaro, C. 2020. "Agence France Presse, 19 avril 2020. Des traces de Covid-19 dans l'eau non potable de Paris ".
- Berchenko, Y., Y. Manor, L. S. Freedman, E. Kaliner, I. Grotto, E. Mendelson, et A. Huppert. 2017. "Estimation of polio infection prevalence from environmental surveillance data." *Sci Transl Med* 9 (383). doi: 10.1126/scitranslmed.aaf6786.
- Boehm, Alexandria B., Andrea I. Silverman, Alexander Schriewer, et Kelly Goodwin. 2019. "Systematic review and meta-analysis of decay rates of waterborne mammalian viruses and coliphages in surface waters." *Water Research* 164:114898. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114898>.
- Bibby, K., L. W. Casson, E. Stachler et C. N. Haas. 2015. "Ebola virus persistence in the environment: State of the knowledge and research needs." *Environmental Science and Technology Letters* 2 (1):2-6. doi: 10.1021/ez5003715.
- Bibby, K., R. J. Fischer, L. W. Casson, E. Stachler, C. N. Haas et V. J. Munster. 2015. "Persistence of Ebola Virus in Sterilized Wastewater." *Environmental Science and Technology Letters* 2 (9):245-249. doi: 10.1021/acs.estlett.5b00193.

- Blomqvist, S., B. El Bassioni, E. M. E. M. Nasr, A. Paananen, S. Kaijalainen, H. Asghar, E. de Gourville, et M. Roivainen. 2012. "Detection of imported wild polioviruses and of vaccine-derived polioviruses by environmental surveillance in Egypt." *Applied and Environmental Microbiology* 78 (15):5406-5409. doi: 10.1128/AEM.00491-12.
- Casanova, L. M. et S. R. Weaver. 2015. "Inactivation of an enveloped surrogate virus in human sewage." *Environmental Science and Technology Letters* 2 (3):76-78. doi: 10.1021/acs.estlett.5b00029.
- Casanova, L., W. A. Rutala, D. J. Weber et M. D. Sobsey. 2009. "Survival of surrogate coronaviruses in water." *Water Research* 43 (7):1893-1898. doi: 10.1016/j.watres.2009.02.002.
- Chen, Y., L. Chen, Q. Deng, G. Zhang, K. Wu, L. Ni, Y. Yang, B. Liu, W. Wang, C. Wei, J. Yang, G. Ye et Z. Cheng. 2020. "The Presence of SARS-CoV-2 RNA in Feces of COVID-19 Patients." *J Med Virol*. doi: 10.1002/jmv.25825.
- Chin, Alex W. H., Julie T. S. Chu, Mahen R. A. Perera, Kenrie P. Y. Hui, Hui-Ling Yen, Michael C. W. Chan, Malik Peiris, et Leo L. M. Poon. 2020. "Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions." *The Lancet Microbe*. doi: 10.1016/s2666-5247(20)30003-3.
- Council of the European Union. 2019. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse - Analysis of the final compromise text with a view to agreement. 18 dec. 2019.
- Croci, Luciana, Dario De Medici, Simona Di Pasquale et Laura Toti. 2005. "Resistance of hepatitis A virus in mussels subjected to different domestic cookings." *International Journal of Food Microbiology* 105 (2):139-144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.04.008>.
- Danchin, A., Ng T.W .P. et Turinici G. 2020. "A new transmission route for the propagation of the SARS-CoV-2 coronavirus." *Preprint medRxiv*. doi: 10.1101/2020.02.14.20022939.
- De Giglio, O., G. Caggiano, F. Bagordo, G. Barbuti, S. Brigida, F. Lugoli, T. Grassi, G. La Rosa, L. Lucentini, F.V. Uricchio, A. De Donno, et T.M. Montagna. 2017. "Enteric Viruses and Fecal Bacteria Indicators to Assess Groundwater Quality and Suitability for Irrigation." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14 (6). doi: 10.3390/ijerph14060558.
- Eischeid, A. C., J. N. Meyer et K. G. Linden. 2009. "UV disinfection of adenoviruses: Molecular indications of DNA damage efficiency." *Applied and Environmental Microbiology* 75 (1):23-28. doi: 10.1128/AEM.02199-08.
- Farkas, Kata, David M. Cooper, James E. McDonald, Shelagh K. Malham, Alexis de Rougemont, et Davey L. Jones. 2018. "Seasonal and spatial dynamics of enteric viruses in wastewater and in riverine and estuarine receiving waters." *Science of The Total Environment* 634:1174-1183. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.038>.
- Flannery, J., P. Rajko-Nenow, S. Keaveney, V. O'Flaherty et W. Doré. 2013. "Simulated sunlight inactivation of norovirus and FRNA bacteriophage in seawater." *Journal of applied microbiology* 115 (3):915-922. doi: 10.1111/jam.12279.
- Fout, G. Shay, Mark A. Borchardt, Burney A. Kieke, et Mohammad R. Karim. 2017. "Human virus and microbial indicator occurrence in public-supply groundwater systems: meta-analysis of 12 international studies." *Hydrogeology Journal* 25 (4):903-919. doi: 10.1007/s10040-017-1581-5.
- Gao, Q. Y., Y. X. Chen et J. Y. Fang. 2020. "2019 novel coronavirus infection and gastrointestinal tract." *Journal of Digestive Diseases*. doi: 10.1111/1751-2980.12851.
- Gerba, C. P. 1984. Applied and Theoretical Aspects of Virus Adsorption to Surfaces. Dans *Advances in Applied Microbiology*.

- Giacomelli, A., L. Pezzati, F. Conti, D. Bernacchia, M. Siano, L. Oreni, S. Rusconi, C. Gervasoni, A. L. Ridolfo, G. Rizzardini, S. Antinori et M. Galli. 2020. "Self-reported olfactory and taste disorders in SARS-CoV-2 patients: a cross-sectional study." *Clin Infect Dis*. doi: 10.1093/cid/ciaa330.
- Griffin, Dale W., Kim A. Donaldson, John H. Paul, et Joan B. Rose. 2003. "Pathogenic human viruses in coastal waters." *Clinical microbiology reviews* 16 (1):129-143. doi: 10.1128/cmr.16.1.129-143.2003.
- Guan, W. J., Z. Y. Ni, Y. Hu, W. H. Liang, C. Q. Ou, J. X. He, L. Liu, H. Shan, C. L. Lei, D. S. C. Hui, B. Du, L. J. Li, G. Zeng, K. Y. Yuen, R. C. Chen, C. L. Tang, T. Wang, P. Y. Chen, J. Xiang, S. Y. Li, J. L. Wang, Z. J. Liang, Y. X. Peng, L. Wei, Y. Liu, Y. H. Hu, P. Peng, J. M. Wang, J. Y. Liu, Z. Chen, G. Li, Z. J. Zheng, S. Q. Qiu, J. Luo, C. J. Ye, S. Y. Zhu et N. S. Zhong. 2020. "Clinical Characteristics of coronavirus Disease 2019 in China." *N Engl J Med*. doi: 10.1056/NEJMoa2002032.
- Gundy, P.M., Gerba, C.P. et Pepper I.I. 2008. "Survival of coronaviruses in Water and Wastewater." *Food and Environmental Virology* 1 (1):10. doi: 10.1007/s12560-008-9001-6.
- Heijnen, L. et Medema, G. 2011. "Surveillance of Influenza A and the pandemic influenza A (H1N1) 2009 in sewage and surface water in the Netherlands." *Journal of Water and Health* 9 (3):434-442. doi: 10.2166/wh.2011.019.
- Hewitt, J., G. E. Greening, M. Leonard et G. D. Lewis. 2013. "Evaluation of human adenovirus and human polyomavirus as indicators of human sewage contamination in the aquatic environment." *Water Research* 47 (17):6750-6761. doi: 10.1016/j.watres.2013.09.001.
- Hu, Y., Shuihua Lu, Zhigang Song, Wei Wang, Pei Hao, Jianhua Li, Xiaonan Zhang, Hui-Ling Yen, Bisheng Shi, Tao Li, Wencai Guan, Lei Xu, Yi Liu, Sen Wang, Xiaoling Zhang, Di Tian, Zhaoqin Zhu, Jing He, Kai Huang, Huijie Chen, Lulu Zheng, Xuan Li, Jie Ping, Bin Kang, Xiuhong Xi, Lijun Zha, Yixue Li, Zhiyong Zhang, Malik Peiris et Zhenghong Yuan. 2013. "Association between adverse clinical outcome in human disease caused by novel influenza A H7N9 virus and sustained viral shedding and emergence of antiviral resistance." *The Lancet* 381 (9885):2273-2279. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61125-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61125-3).
- INRS. 2014. "Le point des connaissances sur le traitement des eaux usées. Fiche ED 5026."
- Kamizoulis, George. 2008. "Setting health based targets for water reuse (in agriculture)." *Desalination* 218 (1):154-163. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.08.026>.
- Kim, J.Y, Jae-Hoon Ko, Yeonjae Kim, Yae-Jean Kim, Jeong-Min Kim, Yoon-Seok Chung, Heui Man Kim, Myung-Guk Han, So Yeon Kim et Bum Sik Chin. 2020. "Viral Load Kinetics of SARS-CoV-2 Infection in First Two Patients in Korea." *J Korean Med Sci* 35 (7).
- LaBelle, R L et C P Gerba. 1979. "Influence of pH, salinity, and organic matter on the adsorption of enteric viruses to estuarine sediment." *Applied and Environmental Microbiology* 38 (1):93-101.
- Le Guyader, F. S., J. Ollivier, J. C. Le Saux et P. Garry. 2014. "Human enteric viruses and environmental waters." *Revue Francophone des Laboratoires* 2014 (459):41-49. doi: 10.1016/S1773-035X(14)72363-9.
- Lee, N., P. K. Chan, C. K. Wong, K. T. Wong, K. W. Choi, G. M. Joynt, P. Lam, M. C. Chan, B. C. Wong, G. C. Lui, W. W. Sin, R. Y. Wong, W. Y. Lam, A. C. Yeung, T. F. Leung, H. Y. So, A. W. Yu, J. J. Sung et D. S. Hui. 2011. "Viral clearance and inflammatory response patterns in adults hospitalized for pandemic 2009 influenza A(H1N1) virus pneumonia." *Antivir Ther* 16 (2):237-47. doi: 10.3851/imp1722.
- Lescure, F.X., Lila Bouadma, Duc Nguyen, Marion Parisey, Paul-Henri Wicky, Sylvie Behillil, Alexandre Gaymard, Maude Bouscambert-Duchamp, Flora Donati, Quentin Le Hingrat, Vincent Enouf, Nadhira Houhou-Fidouh, Martine Valette, Alexandra Mailles, Jean-Christophe Lucet, France Mentre, Xavier Duval, Diane Descamps, Denis Malvy, Jean-François Timsit, Bruno Lina, Sylvie van-der-Werf et Yazdan Yazdanpanah. 2020.

- "Clinical and virological data of the first cases of COVID-19 in Europe: a case series." *The Lancet Infectious Diseases*. doi: 10.1016/s1473-3099(20)30200-0.
- Li, J. Y., Z. You, Q. Wang, Z. J. Zhou, Y. Qiu, R. Luo et X. Y. Ge. 2020. "The epidemic of 2019-novel-coronavirus (2019-nCoV) pneumonia and insights for emerging infectious diseases in the future." *Microbes Infect.* doi: 10.1016/j.micinf.2020.02.002.
- Lodder, Willemijn et Ana Maria de Roda Husman. 2020. "SARS-CoV-2 in wastewater: potential health risk, but also data source." *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*. doi: [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30087-X](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30087-X).
- Mallapaty, S. 2020. "How sewage could reveal true scale of coronavirus outbreak. Wastewater testing could also be used as an early-warning sign if the virus returns. 03/04/2020." *nature.com*.
- Mao, K., H. Zhang et Z. Yang. 2020. "Can a Paper-Based Device Trace COVID-19 Sources with Wastewater-Based Epidemiology?" *Environ Sci Technol.* doi: 10.1021/acs.est.0c01174.
- Medema, G., Leo Heijnen, Goffe Elsinga, Ronald Italiaander et Anke Brouwer. 2020. "Presence of SARS-coronavirus-2 in sewage." *medRxiv*:2020.03.29.20045880. doi: 10.1101/2020.03.29.20045880.
- Mihai, M.E., C Tecu, Alina Elena Ivanciuc, Gheorghe Necula, Emilia Lupulescu et A Onu. 2011. "Survival of H5N1 influenza virus in water and its inactivation by chemical methods." *Roum Arch Microbiol Immunol* 70:78-84.
- Moulin, L., F. Richard, S. Stefania, M. Goulet, S. Gosselin, A. Gonçalves, V. Rocher, C. Paffoni, et A. Dumètre. 2010. "Contribution of treated wastewater to the microbiological quality of Seine River in Paris." *Water Research* 44 (18):5222-5231. doi: 10.1016/j.watres.2010.06.037.
- National Research Council. 2020. "Rapid Expert Consultation on the Possibility of Bioaerosol Spread of SARS-CoV-2 for the COVID-19 Pandemic (April 1, 2020)". Washington, DC: The National Academies Press.
- Nemudryi, Artem, Anna Nemudraia, Kevin Surya, Tanner Wiegand, Murat Buyukyoruk, Royce Wilkinson, et Blake Wiedenheft. 2020. "Temporal detection and phylogenetic assessment of SARS-CoV-2 in municipal wastewater." *medRxiv*:2020.04.15.20066746. doi: 10.1101/2020.04.15.20066746.
- Pan, Yang, Daitao Zhang, Peng Yang, Leo L. M. Poon et Quanyi Wang. 2020. "Viral load of SARS-CoV-2 in clinical samples." *The Lancet Infectious Diseases*. doi: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30113-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30113-4).
- Pinon, A. et M. Vialette. 2018. "Survival of Viruses in Water." *Intervirology* 61 (5):214-222. doi: 10.1159/000484899.
- Prevost, B., F. S. Lucas, A. Goncalves, F. Richard, L. Moulin, et S. Wurtzer. 2015. "Large scale survey of enteric viruses in river and waste water underlines the health status of the local population." *Environment International* 79:42-50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.03.004>.
- Rabenau, HF, J Cinatl, B Morgenstern, G Bauer, W Preiser et HW Doerr. 2005. "Stability and inactivation of SARS coronavirus." *Medical microbiology and immunology* 194 (1-2):1-6.
- Seigneurin, J. M. 2004. "La microscopie électronique en virologie médicale." *Virologie* 8 (5):337-339.
- Sedji, Maryse Iris, Mihayl Varbanov, Marie Meo, Marius Colin, Laurence Mathieu, et Isabelle Bertrand. 2018. "Quantification of human adenovirus and norovirus in river water in the north-east of France." *Environmental Science and Pollution Research* 25 (30):30497-30507. doi: 10.1007/s11356-018-3045-4.
- Sims, Natalie, et Barbara Kasprzyk-Hordern. 2020. "Future perspectives of wastewater-based epidemiology: Monitoring infectious disease spread and resistance to the community

- level." *Environment International* 139:105689. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105689>.
- Stoecklin S.B., Rolland P., Silue Y., Mailles A., Campese C., Simondon S., Mechain M., Meurice L., Nguyen M., Bassi C., Yamani E., Behillil S., Ismael S., Nguyen D., Malvy D., Lescure F.X., Georges S., Lazarus C., Tabaï A., Stempfelet M., Enouf V., Coignard B., Levy-Bruhl D. et Team Investigation. 2020. "First cases of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in France: surveillance, investigations and control measures, January 2020." *Euro Surveill* 25 (6):2000094. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.6.2000094.
- To, K.W., Kwok-Hung Chan, Iris W. S. Li, Tak-Yin Tsang, Herman Tse, Jasper F. W. Chan, Ivan F. N. Hung, Sik-To Lai, Chi-Wai Leung, Yat-Wah Kwan, Yu-Lung Lau, Tak-Keung Ng, Vincent C. C. Cheng, Joseph S. M. Peiris et Kwok-Yung Yuen. 2010. "Viral load in patients infected with pandemic H1N1 2009 influenza A virus." *Journal of Medical Virology* 82 (1):1-7. doi: 10.1002/jmv.21664.
- van Doremalen, Neeltje, Trenton Bushmaker, Dylan H. Morris, Myndi G. Holbrook, Amandine Gamble, Brandi N. Williamson, Azaibi Tamin, Jennifer L. Harcourt, Natalie J. Thornburg, Susan I. Gerber, James O. Lloyd-Smith, Emmie de Wit et Vincent J. Munster. 2020. "Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1." *New England Journal of Medicine*. doi: 10.1056/NEJMc2004973.
- Verani, M., Federigi, I ;, Donzelli, D., Cioni L. et Carducci, A ;. 2019. "Human adenoviruses as waterborne index pathogens and their use for Quantitative Microbial Risk Assessment." *Science of The Total Environment* 651:1469-1475. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.295>.
- Vergara, G. G. R. V., J. B. Rose, et K. Y. H. Gin. 2016. "Risk assessment of noroviruses and human adenoviruses in recreational surface waters." *Water Research* 103:276-282. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.07.048>.
- Vigneron, V., G. Sollicie, H. Montanie, et T. Renault. 2004. "Detection of Ostreid Herpesvirus 1 (OsHV-1) DNA in seawater by PCR: influence of water parameters in bioassays." *Dis Aquat Organ* 62 (1-2):35-44. doi: 10.3354/dao062035.
- Waldman, P. 2019. "Conséquences des interactions entre les virus entériques humains et la matière organique sur la persistance virale, l'efficacité de traitements de désinfection et l'évolution des populations virales. Thèse de doctorat."
- Waldman, P., F. S. Lucas, G. Varrault, L. Moulin et S. Wurtzer. 2020. "Hydrophobic Organic Matter Promotes Coxsackievirus B5 Stabilization and Protection from Heat." *Food and Environmental Virology*. doi: 10.1007/s12560-019-09418-9.
- Wang, X. W., J. Li, T. Guo, B. Zhen, Q. Kong, B. Yi, Z. Li, N. Song, M. Jin, W. Xiao, X. Zhu, C. Gu, J. Yin, W. Wei, W. Yao, C. Liu, J. Li, G. Ou, M. Wang, T. Fang, G. Wang, Y. Qiu, H. Wu, F. Chao et J. Li. 2005. Concentration and detection of SARS coronavirus in sewage from Xiao Tang Shan hospital and the 309th Hospital of the Chinese People's Liberation Army. Dans *Water Science and Technology*.
- Wang, W., Y. Xu, R. Gao, R. Lu, K. Han, G. Wu et W. Tan. 2020. "Detection of SARS-CoV-2 in Different Types of Clinical Specimens." *JAMA*. doi: 10.1001/jama.2020.3786.
- Wigginton, K. R., Y. Ye et R. M. Ellenberg. 2015. "Emerging investigators series: The source and fate of pandemic viruses in the urban water cycle." *Environmental Science: Water Research and Technology* 1 (6):735-746. doi: 10.1039/c5ew00125k.
- Wölfel, R., V. M. Corman, W. Guggemos, M. Seilmaier, S. Zange, M. A. Muller, D. Niemeyer, T. C. Jones, P. Vollmar, C. Rothe, M. Hoelscher, T. Bleicker, S. Brunink, J. Schneider, R. Ehmann, K. Zwirgmaier, C. Drosten et C. Wendtner. 2020. "Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019." *Nature*. doi: 10.1038/s41586-020-2196-x.
- Wong, S. H., R. N. Lui et J. J. Sung. 2020. "Covid-19 and the Digestive System." *J Gastroenterol Hepatol*. doi: 10.1111/jgh.15047.
- Woo, P. C., S. K. Lau, C. S. Lam, A. K. Tsang, S. W. Hui, R. Y. Fan, P. Martelli, et K. Y. Yuen. 2014. "Discovery of a novel bottlenose dolphin coronavirus reveals a distinct species of

- marine mammal coronavirus in Gammacoronavirus." *J Virol* 88 (2):1318-31. doi: 10.1128/JVI.02351-13.
- World Health Organization. 2008. "Viruses in food: scientific advice to support risk management activities: meeting report."
- World Health Organization. 2020a. "Water, sanitation, hygiene and waste management for the COVID-19 virus, 3 march 2020."
- World Health Organization. 2020b. "Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus: interim guidance, 19 March 2020." Geneva: World Health Organization; Contract No.: WHO/2019-nCoV/IPC\_WASH/2020.2.
- Wu, Y., Guo, C., Tang, L., Hong, Jianhui Zhou, Xin Dong, Huan Yin, Qiang Xiao, Yanping Tang, Xiujuan Qu, Liangjian Kuang, Xiaomin Fang, Nischay Mishra, Jiahai Lu, Hong Shan, Guanmin Jiang et Xi Huang. 2020a. "Prolonged presence of SARS-CoV-2 viral RNA in faecal samples." *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*. doi: 10.1016/s2468-1253(20)30083-2.
- Wu, F., Amy Xiao, Jianbo Zhang, Xiaoqiong Gu, Wei Lin Lee, Kathryn Kauffman, William Hanage, Mariana Matus, Newsha Ghaeli, Noriko Endo, Claire Duvall, Katya Moniz, Timothy Erickson, Peter Chai, Janelle Thompson et Eric Alm. 2020b. "SARS-CoV-2 titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases." medRxiv:2020.04.05.20051540. doi: 10.1101/2020.04.05.20051540.
- Wurtzer, S., Marechal V., Mouchel J.M. et Moulin, L. 2020. "Time course quantitative detection of SARS-CoV-2 in Parisian wastewaters correlates with COVID-19 confirmed cases." medRxiv:2020.04.12.20062679. doi: 10.1101/2020.04.12.20062679.
- Xiao, F., M. Tang, X. Zheng, Y. Liu, X. Li et H. Shan. 2020. "Evidence for gastrointestinal infection of SARS-CoV-2." *Gastroenterology*. doi: 10.1053/j.gastro.2020.02.055.
- Xing, Y., Wei Ni, Qin Wu, Wenjie Li, Guoju Li, Jianning Tong, Xiufeng Song et Quansheng Xing. 2020. "Prolonged presence of SARS-CoV-2 in feces of pediatric patients during the convalescent phase " medRxiv. doi: 10.1101/2020.03.11.20033159.
- Yates, M. V., C. P. Gerba, et L. M. Kelley. 1985. "Virus persistence in groundwater." *Applied and Environmental Microbiology* 49 (4):778-781.
- Zhang, Y., Cao Chen, Shuangli Zhu, Chang Shu, Dongyan Wang, Jingdong Song, Yang Song, Wei Zhen, Zijian Feng, Guizhen Wu, Jun Xu et Wenbo Xu. 2020. "Isolation of 2019-nCoV from a Stool Specimen of a Laboratory-Confirmed Case of the coronavirus Disease 2019 (COVID-19)." 2 (8):123-124.



## ANNEXE 1 : PRESENTATION DES INTERVENANTS

**PÉAMBULE :** Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae* et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

### EXPERTS RAPPORTEURS

---

Mme COCHENNEC Nathalie – Responsable du Laboratoire Environnement Ressources du Morbihan Pays de Loire – IFREMER, Lorient – Milieu marin, Eau de mer, méthode d'analyses, pathologie, immunologie des mollusques marins.

M. DAGOT Christophe – Directeur adjoint/Professeur – ENSIL, Limoges – Eaux usées, procédés de traitement, Antibiorésistance, environnement, utilisation de ressources en eau alternatives.

M. GARRY Pascal – Responsable de laboratoire national de référence microbiologie des coquillages, IFREMER, Nantes – Milieu marin, Microbiologie Eau de mer, méthode d'analyses, hygiène.

M. LE GOUIL Meriadeg – Assistant Hospitalier Universitaire, CHU de Caen-Virologie - Université de Normandie (Rouen), CHU de Normandie, Caen – Recherche en Virologie, écologie & Evolution des microorganismes *coronavirus*, SARS-CoV.

Mme MARTIN-LATIL Sandra – Chargée de projets scientifiques – Anses, Laboratoire de sécurité des aliments – virologie alimentaire, culture cellulaire, outils de diagnostic et de détection, hygiène des aliments.

M. MOULIN Laurent – Responsable du département recherche et développement – Eau de Paris – Microbiologie, virologie, traitements de désinfection, amibes, microbiome, méthodes d'analyse.

Mme PAVIO Nicole – Directrice de recherche – Anses, Laboratoire de santé animale – Virologie alimentaire, culture cellulaire, outils de diagnostic et de détection, hygiène des aliments.

M. PIQUET Jean-Côme – Ingénieur de Recherche – IFREMER, Nantes – Milieu marin, surveillance microbiologique, eau de mer.

Mme RUVOEN Nathalie – Enseignant-chercheur – Oniris Nantes – Maladies contagieuses, relations humain-virus (dont norovirus), caractérisation des récepteurs, voies de transmission.

### PARTICIPATION ANSES

---

#### Coordination scientifique

Mme Estelle CHAIX – Coordinatrice scientifique – Unité Evaluation des risques liés aux aliments (UERALIM) – Direction de l'Evaluation des Risques

Mme Estelle WESTERBERG – Chef de projets scientifiques – Unité Evaluation des risques liés à l'eau (UERE) – Direction de l'Evaluation des Risques

#### Contribution scientifique

Mme Nathalie ARNICH – Adjointe au Chef de l'unité Evaluation des risques liés aux aliment – UERALIM – Direction de l'Evaluation des Risques

M. Nicolas ETERRADOSSI - Directeur du Laboratoire de Ploufragan-Plouzané (Anses).  
Laboratoire spécialisé dans la santé des volailles, du lapin, des porcs, des ruminants et des poissons d'élevage.

Mme Pascale PANETIER – Cheffe de l'unité Evaluation des risques liés à l'eau – UERE – Anses

M. Moez SANAA – Chef de l'unité Evaluation des risques liés aux aliments – UERALIM – Direction de l'Évaluation des Risques

Mme Anne THEBAULT – Chef de projets scientifiques – Unité Méthodologie et Etude (UME) – Direction de l'Évaluation des Risques

#### **AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES**

---

Mme Soizick LE GUYADER – Cheffe du Laboratoire Santé, Environnement et Microbiologie – IFREMER, Nantes – le 03 avril 2020

**ANNEXE 2 TABLE DES MATIERES**

1.	Contexte et objet de la saisine .....	1
2.	Organisation de l'expertise .....	2
3.	Analyse.....	3
3.1.	Contexte et méthodologie.....	3
3.1.1.	Virus SARS-CoV-2 par comparaison aux autres virus.....	3
3.1.2.	Modèle conceptuel de contamination des milieux aquatiques par les virus entériques humains.....	3
3.2.	L'excrétion du SARS-CoV-2 par la population humaine (étape 1).....	4
3.2.1.	Symptômes de la maladie et tropisme du virus.....	4
3.2.2.	Excrétion du SARS-CoV-2 chez les patients atteints de COVID-19 .....	5
3.2.3.	Durée d'excrétion du SARS-CoV-2 dans les selles .....	5
3.2.4.	Infectiosité du SARS-CoV-2 excrété dans les selles.....	6
3.3.	Contamination des eaux usées brutes et épurées par SARS-CoV-2 (étapes 2 et 3) 7	
3.3.1.	Traitement des eaux usées.....	7
3.3.2.	Présence du SARS-CoV-2 dans les eaux usées brutes et épurées .....	9
3.3.3.	Efficacité du traitement de STEU vis-à-vis de SARS-CoV-2.....	10
3.3.4.	Présence d'autres virus dans les eaux usées brutes et épurées .....	11
3.3.4.1.	Virus non enveloppés et indicateurs de contamination virale .....	11
3.3.4.2.	Cas des virus enveloppés .....	12
3.4.	Contamination des eaux rejetées dans le milieu aquatique (étape 4 et 4')..	13
3.5.	Contamination du milieu aquatique (étape 5) .....	14
3.5.1.	Facteurs impactant l'abondance, la distribution et la persistance des virus	14
3.5.2.	Présence et persistance du SARS-CoV-2 dans les eaux douces et les eaux de mer .....	15
3.5.2.1.	Présence d'autres virus dans les eaux douces .....	15
3.5.2.2.	Présence d'autres virus dans les eaux de mer.....	16
	Conclusions de l'Agence .....	17
	Mots-clés .....	19
	Bibliographie.....	19
	Annexe 1 : Présentation des intervenants .....	25
	Annexe 2 Table des matières .....	27