

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE  
Sciences et ingénierie de l'environnement

PROJET DE MASTER

---

Évaluation de l'impact  
environnemental du dépistage dans le  
contrôle de la pandémie de Covid-19

---

Sarah COURDIER

Professeur  
Superviseur Unisanté

Florian BREIDER  
David VERNEZ

**EPFL**

**unisanté**  
Centre universitaire de médecine générale  
et santé publique • Lausanne

5 août 2022

## Remerciements

Ma gratitude va à David Vernez pour m'avoir permis de rejoindre ce projet et encadrée au fil de ce travail mais aussi pour sa disponibilité, ses réflexions et ses conseils. Plus généralement, je remercie le département santé, travail et environnement (DSTE) d'Unisanté, pour leur accueil chaleureux et leur accompagnement.

Ma reconnaissance va aussi aux autres membres de l'équipe en charge de ce projet, composée de Valérie D'Acremont et Maxime Karlen d'Unisanté TropiVac, ainsi que de Julien Boucher et Alexandre Bouchet d'Environnemental Action pour leur collaboration. La multidisciplinarité de ce groupe a permis de mener à des discussions instructives et constructives pour cette étude. Un merci particulier à Alexandre pour son suivi soutenu et ses précieux conseils dans la réalisation de ce projet.

Je tiens à remercier le professeur Florian Breider pour son approbation de représenter l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et son accompagnement dans ce projet de master.

J'adresse également mes remerciements aux personnes avec qui j'ai pris contact durant ce projet, ainsi que les différentes entités citées dans ce rapport pour l'utilisation de leurs données.

Finalement, un merci particulier à ma famille et mes ami.e.s pour leur soutien indéfectible et inestimable dans la vie en général et tout particulièrement lors de mes études au sein de l'EPFL.

## Résumé

**Introduction** La pandémie de Covid-19, qui a secoué le monde pendant plus de deux ans, a eu des impacts majeurs sur la santé et l'économie globale. La période de crise touchant désormais à sa fin, il nous est aujourd'hui permis de poser un regard critique sur les mesures mises en oeuvre afin de limiter la propagation du virus. C'est ainsi que la question de l'impact environnemental émerge. En effet, si dans l'urgence cette considération n'était pas apparue comme primordiale, elle ne peut dorénavant plus être ignorée. Partant de ce constat, cette étude vise à quantifier l'impact environnemental des systèmes de dépistage du Covid-19 que sont les autotests, tests antigénique rapide et tests PCR. L'objectif est de proposer des alternatives limitant l'impact desdits tests mais également de proposer un outil pour l'évaluation des coûts environnementaux par rapport aux bénéfices sanitaires.

**Méthodologie** L'approche ACV sera choisie pour cette évaluation, du fait de sa méthode multicritère et multi-étape prenant en compte l'entièreté du cycle de vie du produit. Les unités fonctionnelles dont l'impact tentera d'être défini sont les suivantes :

1. *Réalisation d'un test de dépistage du Covid-19 dans le Canton de Vaud lors d'un contexte de pic épidémique*
2. *Réalisation d'un test de dépistage du Covid-19 dans le Canton de Vaud lors d'un contexte de creux épidémique*

Cette distinction de contexte épidémique a été introduite, car l'allocation des équipements de protection des soignants, des courses pour le transport des PCR jusqu'au laboratoire, et le remplissage des cassettes de tests diffère selon le nombre de tests effectués.

Une analyse de sensibilité précise que la part d'impact imputable aux équipement de protection individuelle du testeur varie de 17 à 30 [%] et nécessite de présenter plusieurs scénarios pour rendre compte de la réalité. Concernant les courses, elles seront traitées à part, avec la possibilité de les ajouter à l'impact du test PCR seul.

L'impact environnemental sera quant à lui quantifié en terme de *Potentiel de Réchauffement Global (PRG)* [kg CO<sub>2</sub>eq].

Tenant compte du fait que ces dispositifs ne présentent pas la même fiabilité, les impacts seront corrigés pour la détection d'un vrai cas positif, grâce à la sensibilité respective de chaque test.

Dans un dernier temps, le coût environnemental pour la détection d'un vrai cas positif sera défini dans deux contextes épidémiques extrêmes, issus de la situation dans le canton de Vaud.

**Résultats** L'impact d'un autotest varie de 0.096 à 0.162 [kg CO<sub>2</sub>eq] selon le fabricant considéré. L'impact d'un test antigénique rapide, réalisé par un professionnel est compris entre 0.206 et 0.268 [kg CO<sub>2</sub>eq] en cas de pic pandémique, valeur pouvant grimper jusqu'à [0.267-0.329] [kg CO<sub>2</sub>eq] en cas de diminution du nombre de tests quotidiens. Le test PCR sans coursier présente un impact de 0.248 à 0.373 [kg CO<sub>2</sub>eq] si la demande en test est importante, voir même jusqu'à 0.434 [kg CO<sub>2</sub>eq] si la demande diminue. Considérant un scénario de course moyenne pour la géographie du canton de Vaud, l'impact du test PCR varie entre 0.607 et 0.732 [kg CO<sub>2</sub>eq]. L'intégration de l'efficacité augmente pour sa part l'impact des autotests de 28 [%], des TAR de 17 [%] et des PCR de 3 [%]. Finalement, pour la détection d'un vrai positif selon deux contextes opposés, l'impact est multiplié par plus de 2000 entre le meilleur et le pire scénario.

**Discussion** Conformément aux attentes, l'autotest est le dispositif le plus favorable, suivi du test antigénique et du PCR. Si l'impact du PCR demeure raisonnable sans coursier, l'ajout de ce processus le rend nettement moins avantageux. La suite de la discussion s'articulera autour de pistes visant à limiter les impacts et de l'application de la loi des rendements décroissants au testing du Covid-19 en Suisse.

**Conclusion** Enfin, ce rapport sera conclu par une présentation synthétique du travail effectué, suivie d'une discussion sur les limites de l'analyse ainsi que sur les perspectives de recherches futures.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>8</b>
1.1	Contexte . . . . .	8
1.2	Objectifs et questions de recherche . . . . .	9
1.3	Organisation du rapport . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Coronavirus 2019 : du virus à l'impact environnemental</b>	<b>11</b>
2.1	De la découverte du virus à la pandémie . . . . .	11
2.2	Les mesures d'endiguement en Suisse . . . . .	11
2.3	Des mesures sanitaires à l'impact environnemental . . . . .	12
2.4	Le COVID-19 en quelques chiffres . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Méthodologie</b>	<b>14</b>
3.1	Approche . . . . .	14
3.2	Unité fonctionnelle . . . . .	14
3.3	Collecte de données . . . . .	15
3.4	Inventaire de cycle de vie . . . . .	15
3.5	Système de produit . . . . .	16
3.6	Hypothèses et modélisations . . . . .	18
3.6.1	Fabrication . . . . .	18
3.6.2	Transport . . . . .	19
3.6.3	Utilisation . . . . .	20
3.6.4	Fin de vie . . . . .	22
3.7	Analyse de sensibilité . . . . .	22
3.7.1	EPI . . . . .	22
3.7.2	Coursiers . . . . .	23
3.7.3	Remplissage des cassettes de tests . . . . .	23
3.8	Paramétrisation . . . . .	24
3.8.1	EPI . . . . .	24
3.8.2	Coursiers . . . . .	24
3.9	Évaluation de l'impact environnemental . . . . .	24
3.10	Impact environnemental de la détection d'un vrai positif . . . . .	25
3.11	Coût environnemental de la détection d'un vrai positif selon le contexte épidémique . . . . .	26
3.12	Résumé des dispositifs et scénarios . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Typologie des tests de dépistage du COVID-19</b>	<b>28</b>
4.1	Test PCR . . . . .	28
4.1.1	Test PCR rapide . . . . .	28
4.1.2	Test PCR standard . . . . .	29
4.2	Tests antigéniques rapides . . . . .	29
<b>5</b>	<b>Résultats</b>	<b>31</b>
5.1	Impact environnemental selon le contexte épidémiologique . . . . .	31
5.1.1	Autotest . . . . .	31
5.1.2	Test antigénique rapide . . . . .	32
5.1.3	Test PCR . . . . .	34
5.1.4	Comparaison . . . . .	35
5.2	Impact environnemental de la détection d'un vrai cas positif . . . . .	36
5.3	Coût environnemental de la détection d'un vrai cas positif selon le contexte épidémique . . . . .	37
<b>6</b>	<b>Discussion</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>42</b>

<b>Appendices</b>	<b>47</b>
<b>A Contenu d'un test antigénique</b>	<b>47</b>
<b>B Inventaire</b>	<b>48</b>
B.1 Autotest . . . . .	48
B.2 Tests antigénique rapide . . . . .	50
B.3 Test PCR . . . . .	53
<b>C Transport</b>	<b>56</b>
<b>D Coursiers</b>	<b>57</b>
<b>E Fin de vie</b>	<b>58</b>
E.1 Autoclavage . . . . .	58
E.2 Incinération . . . . .	59
E.3 Recyclage du papier . . . . .	60

## Table des figures

3.1	Représentation schématique des différentes étapes d'une ACV [30] . . . . .	14
3.2	Représentation schématique du système de produit pour la réalisation d'un autotest .	16
3.3	Représentation schématique du système de produit pour la réalisation d'un test antigénique rapide . . . . .	17
3.4	Représentation schématique du système de produit pour la réalisation d'un test PCR .	17
3.5	Schématisme des résultats possibles à l'issue d'un test de dépistage. . . . .	25
4.1	Illustration schématique d'un test antigénique rapide. Source : Hsiao et al., 2021 [22] .	29
5.1	Empreinte carbone totale en PRG [kgCO <sub>2</sub> eq/UF] pour différents autotests, détaillée selon les étapes du cycle de vie . . . . .	31
5.2	Contribution des éléments constitutifs à l'impact des différents autotests, en PRG [kgCO <sub>2</sub> eq/UF] . . . . .	32
5.3	Empreinte carbone totale en PRG [kgCO <sub>2</sub> eq/UF] pour différents autotests détaillée selon les étapes du cycle de vie. . . . .	33
5.4	Contribution des éléments constitutifs à l'impact des différents tests antigénique rapide, en PRG [kgCO <sub>2</sub> eq/UF] . . . . .	33
5.5	Empreinte carbone totale en PRG [kgCO <sub>2</sub> eq/UF] pour différents PCR détaillée selon les étapes du cycle de vie. . . . .	34
5.6	Contribution des éléments constitutifs à l'impact des différents tests PCR rapide, en PRG [kgCO <sub>2</sub> eq/UF] . . . . .	35
5.7	Comparaison de l'impact des différents systèmes de dépistage en PRG [kgCO <sub>2</sub> eq/UF] .	36
5.8	Comparaison de l'impact des différents systèmes de dépistage en [kgCO <sub>2</sub> eq/UF], en incluant l'efficacité . . . . .	37
A.1	Illustration du contenu d'une boîte de test antigénique, ici de la marque Roche . . . .	47
D.1	Impact environnemental du transport de l'échantillon en fonction du nombre d'échantillons et de la distance en [kg CO <sub>2</sub> eq] . . . . .	57
E.1	Fiche de données techniques pour l'autoclave Vakulab PL 14914-GR du CHUV . . . .	58

## Liste des tableaux

1	Identification des éléments d'un test . . . . .	18
2	Identification des consommables d'une analyse PCR . . . . .	21
3	Analyse de sensibilité des EPI . . . . .	23
4	Analyse de sensibilité du transport de l'échantillon pour l'analyse PCR . . . . .	23
5	Analyse de sensibilité du remplissage des cassettes . . . . .	24
6	Nombre de cas et des tests pour deux scénarios extrêmes relevés dans le canton de Vaud. Source : OFSP [46] . . . . .	26
7	Paramétrisation pour l'évaluation de l'impact d'un test positif selon le contexte épidémique	26
8	Résumé des dispositifs de dépistage et des scénarios . . . . .	27
9	Résumé des types de courses modélisées . . . . .	27
10	Empreinte carbone en PRG [kgCO <sub>2</sub> eq/UF] pour différents autotests . . . . .	32
11	Empreinte carbone en PRG [kgCO <sub>2</sub> eq/UF] pour différents autotests en fonction de la situation épidémique locale. . . . .	34
12	Empreinte carbone en PRG [kgCO <sub>2</sub> eq/UF] pour différents tests PCR en fonction de la situation épidémique locale. . . . .	35
13	Comparaison de l'impact des différents systèmes de dépistage en PRG [kgCO <sub>2</sub> eq/UF] .	36
14	Sensibilité et nombre de tests nécessaires à la détection d'un vrai cas positif . . . . .	37
15	Impact de la détection d'un vrai positif en [kgCO <sub>2</sub> eq] selon deux scénarios extrêmes .	38
16	ICV de l'autotest de la marque Roche pour une unité fonctionnelle . . . . .	48
17	ICV de l'autotest de la marque Alltest pour une unité fonctionnelle . . . . .	49
18	ICV de l'autotest de la marque Beright pour une unité fonctionnelle . . . . .	50
19	ICV du test antigénique rapide de la marque Roche pour une unité fonctionnelle . . .	51

20	ICV du test antigénique rapide de la marque Abbott pour une unité fonctionnelle . . .	52
21	ICV du test PCR individuel pour une unité fonctionnelle . . . . .	53
22	ICV du test PCR 8 puits pour une unité fonctionnelle . . . . .	54
23	ICV du test PCR 96 puits pour une unité fonctionnelle . . . . .	55
24	Itinéraires pour l'expédition des tests étudiés du lieu de production au Canton de Vaud	56
25	Flux de la base de données ecoinvent pour la modélisation des différents mode des transports . . . . .	56
26	Modélisation de l'impact de l'autoclavage . . . . .	59
27	Pouvoir calorifique des différents matériaux considérés . . . . .	59
28	Activités impliquées dans le recyclage du papier . . . . .	60

## Liste des abréviations

ABS	Acrylonitrile butadiène styrène
ACV	Analyse de Cycle de Vie ( <i>LCA - Life Cycle Assessment</i> )
AT	Autotest
CHUV	Centre hospitalier universitaire vaudois
COVID-19	Coronavirus disease 2019 ( <i>Maladie à coronavirus 2019</i> )
EPI	Équipement de protection individuelle
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ( <i>IPCC</i> )
ICV	Inventaire de cycle de vie
ODD	Objectifs de développement durable ( <i>SDGs - Sustainable Development Goals</i> )
PELD	Polyéthylène basse densité
PET	Polytéréphtalate d'éthylène
PP	Polypropylène
PS	Polystyrène
PRG	Potentiel de réchauffement global ( <i>GWP - Global Warming Potential</i> )
PVC	Polychlorure de vinyle
PUR	Polyuréthane
RT-PCR	Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction ( <i>Réaction en chaîne par polymérase de transcription inverse</i> )
SARS-CoV-2	Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 ( <i>Coronavirus 2 du syndrome respiratoire aigu sévère</i> )
TAR	Test Antigénique Rapide
UF	Unité fonctionnelle



# 1 Introduction

S'il ne fait pas de doute que la pandémie actuelle de COVID-19 a menacé la santé et l'économie mondiale [42], elle a aussi eu un impact sur le plan environnemental. Si ce dernier a pu sembler secondaire aux premières heures de la crise sanitaire, le coût environnemental apparaît dorénavant comme une vraie problématique et un aspect non négligeable de la pandémie.

## 1.1 Contexte

La pandémie de Covid-19 qui a secoué le monde pendant plus de 2 ans a fait émerger bon nombre de mesures de protection visant à endiguer la diffusion du virus. En effet, aux prémices de la pandémie, tant le virus que la maladie étaient mal connus. La stratégie a alors été de choisir de sauver chaque vie qu'il était possible de sauver en plaçant la vie et la santé humaine au dessus de toute autre considération, notamment environnementale.

Cependant, ces mesures de prévention de la propagation du virus, comme tout bien et service, ont un impact sur notre environnement.

Si certaines, comme la distanciation physique et la limitation des déplacements, ont pu avoir un impact bénéfique en diminuant les émissions de dioxyde de carbone par exemple [35], d'autres, telles que les équipements de protection individuelle, campagne de dépistage ou de vaccination ont mobilisées des ressources et fait exploser la demande pour ces biens [31]. La balance entre ces deux aspects tend à rester positive car la réduction des émissions de dioxyde de carbone pendant la pandémie est temporaire et non durable, du fait du caractère provisoire des restrictions [55]. Si la consommation de ces biens est inévitable elle peut cependant être raisonnée, le but étant de trouver le meilleur équilibre entre coût et bénéfice.

Ce projet se propose de faire une analyse de l'impact environnemental des tests de dépistage du Covid-19 par une approche d'analyse de cycle de vie. Ainsi, il sera possible de proposer un outil pour l'évaluation du coût environnemental dans la prise décision de santé publique.

Le but est donc ici de quantifier cet impact afin de pouvoir le mettre en parallèle avec l'efficacité constatée des mesures qui ont été prise. Car si le bénéfice sanitaire apparaît comme immédiat et sans conséquence apparente, le coût environnemental existe et pèse également sur notre santé. En effet, les émissions de dioxyde de carbone participent au réchauffement globale qui entraîne l'acidification des océans ou la fonte du pergélisol par exemple et impacte des écosystèmes entiers. De plus, chaque 4.434 tonnes supplémentaires de CO<sub>2</sub> émise dans l'atmosphère cause un décès [11]. Selon l'OMS, 4.2 millions de morts prématurées par an seraient imputables à la pollution de l'air, donc en partie au émissions de dioxyde de carbone [49].

Nos habitudes de consommation tant quotidiennes que médicales mettent sous pressions nos ressources et notre environnement. En Suisse par exemple, ce ne sont pas de moins de 6,7 [%] des émissions de dioxyde de carbone qui sont directement attribuables au système de santé, ce qui en fait l'un des pays les plus pollueurs au monde, loin au dessus de la moyenne mondiale de 4,4 [%]. Ce score la place dans la catégorie des "*top emitters*" aux côtés des Etats-unis, du Canada et de l'Australie, soit les pays où les émissions liées au système de soins sont supérieures à une tonne par personne [27].

Ce sujet apparaît particulièrement pertinent suite à l'abondance de rapports alarmants sur le changement climatique et ses effets de plus en plus imminents. On peut citer par exemple le troisième rapport partiel du GIEC datant d'avril 2022. Il énonce entre autre qu'en l'absence de renforcement des mesures de protection du climat, les émissions de gaz à effet de serre continueront d'augmenter et le réchauffement global pourrait atteindre +3.2°C d'ici 2100 [24].

De plus, par certains aspects, ce projet s'inscrit directement dans les Objectifs de Développement Durable (ODD) promus par les Nations Unis qui sont des objectifs cibles à remplir d'ici 2030. Parmi eux, nous retrouvons notamment des objectifs de bonne santé mais également des mesures relatives

à la lutte contre le changement climatique ou encore aux productions et consommations responsables [64].

## 1.2 Objectifs et questions de recherche

Comme précédemment évoqué, cette étude a pour but de comparer l'impact des différents tests de dépistage du Covid-19. L'intention étant ensuite de pouvoir proposer un outil de comparaison pour aider à la prise de décisions de santé publique en y intégrant une dimension environnementale.

Les principaux objectifs de ce travail de Master sont les suivants :

- Déterminer les besoins énergétiques et en matériaux des tests de dépistage
- Analyser l'impact des autotests, tests antigéniques rapides et tests PCR selon différents scénarios
- Ajuster l'impact en fonction de la sensibilité du dispositif afin de pouvoir comparer la quantité mais également la qualité
- Comparer le coût de détection d'un cas positif selon différents contextes épidémiologiques

Les objectifs secondaires concerneront l'aide à la limitation de cet impact. En identifiant les points chauds, cette étude permet de cibler les éléments les plus contributeurs et ainsi de concentrer les efforts de réduction d'impact sur les points d'action les plus pertinents. Cette réduction peut s'opérer, à la lumière des résultats obtenus, soit en ouvrant la piste de l'écoconception soit en améliorant les pratiques existantes. Ensuite, la discussion s'intéressera à la pertinence de l'intégration d'indicateurs environnementaux dans les mesures de contrôle de la pandémie de COVID 19. Enfin, il sera intéressant de développer si ces stratégies de contrôle de la pandémie ont significativement augmenté l'impact environnemental du système de santé suisse, notamment au regard des limites planétaires.

Le cadre de l'étude sera dans un premier temps le canton de Vaud, pour être ensuite extrapolé à la situation en Suisse.

Les questions de recherches suivantes ont été formulées à partir des objectifs susmentionnés.

Il est proposé de les classer en deux groupes : les questions prioritaires et les questions secondaires qui ne seront pas traitées dans le cadre de cette étude.

- Quelles sont les ressources nécessaires à la réalisation d'un autotest, d'un test antigénique ou d'un test PCR standard ou rapide ?
- Comment définir le champs, ce qui appartient à cette étude et ce qui n'entre pas en ligne de compte ?
- Quel est l'impact environnemental des différents systèmes de dépistage mis en place lors de la pandémie ?
- Quelle métrique utilisée pour avoir un résultat représentatif de la situation du Canton de Vaud, mais généralisables à d'autres géographies et décisions de santé publique ?
- Quels sont les paramètres les plus significatifs dans l'impact environnemental des tests (points chauds) ?
- Quels (eco) conception ou conseils de conception pourraient être proposés sur la base de cette étude pour limiter l'impact des tests ? Quels protocoles pourraient être améliorés pour limiter l'impact de la phase d'utilisation ?

Les questions de recherche suivantes seront laissées en suspens :

- Comment mesurer le bénéfice sanitaire ?
- Quel est le rapport coût environnemental versus bénéfice sanitaire des différentes mesures prises au travers de la pandémie ?
- Quelles sont les mesures présentant le meilleur compromis entre les deux paramètres susmentionnés ?

## 1.3 Organisation du rapport

Ce rapport s'articule en cinq sections en plus de cette première partie d'introduction. La prochaine

section situe le contexte de l'étude qu'est la pandémie de Covid-19 et les mesures de santé publique visant à juguler sa progression en Suisse. La troisième partie présentera la méthodologie utilisée où tous les détails de l'étude seront explicités, tels que l'approche choisie, la collection de données, les hypothèses et modélisations. Après quoi, la section quatre se concentrera sur une présentation succincte des différents dispositifs de dépistage du Covid-19. La suite et fin de cette étude se présentera classiquement avec une partie de mise en évidence factuelle des résultats et enfin une discussion où les résultats seront plus amplement détaillés.

## 2 Coronavirus 2019 : du virus à l'impact environnemental

### 2.1 De la découverte du virus à la pandémie

Le SARS-CoV-2, acronyme anglais de *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2* est le virus responsable de la maladie à coronavirus 2019, communément abrégée en Covid-19, acronyme anglais de *coronavirus disease 2019*. Cette maladie infectieuse de type zoonose virale se manifeste par des symptômes variables. Les plus communs sont la fièvre [26], la toux [41], les maux de tête [25], la fatigue, des difficultés respiratoires et la perte du goût [59] et de l'odorat [60]. Les formes les plus graves d'infections peuvent entraîner la mort des suites d'un syndrome de détresse respiratoire aiguë.

Il n'existe à ce jour pas de consensus scientifique sur l'émergence du SARS-CoV-2 [9].

Les premiers cas de pneumonie d'origine inconnue sont détectés aux Urgences de l'Hôpital Central de Wuhan, en République Populaire de Chine, à partir du 16 décembre 2019 [39]. Leur existence est rendue publique le 31 décembre de la même année par les autorités sanitaires de Wuhan [51].

Rapidement, le virus SARS-CoV 2 se diffuse dans le monde. Le 24 janvier, soit un mois après la découverte du virus, les premiers cas européens sont détectés en France. Le 25 février 2020, le premier cas de Covid-19 est confirmé en Suisse dans le canton du Tessin. Enfin, le canton de Vaud sera frappé dès le début du mois de mars 2020 [34] [44] [58].

Le 11 mars 2020, face à la propagation de ce nouveau virus, l'OMS confirme que l'épidémie de maladie à coronavirus 2019 se mue en pandémie [51].

### 2.2 Les mesures d'endiguement en Suisse

Face à la flambée épidémique sur son territoire, le Conseil Fédéral Suisse réagit en prenant des mesures visant à limiter la propagation du virus. En mettant en place les premiers confinements, la Suisse ne fait pas office de précurseur. En effet, des régions telles que Wuhan, épice de la pandémie, expérimentent déjà un confinement strict depuis le 23 janvier 2020 ou une partie de l'Italie du Nord, premier foyer européen, depuis le 21 février de la même année [17] [52].

Les confinements en vigueur désignent l'ensemble des mesures d'hygiène et de distanciation physique au niveau national en réponse à la propagation de la pandémie de Covid-19.

Ci-dessous est présentée la chronologie des principales mesures ayant trait à la limitation de la propagation du SARS-Cov-2 [58] :

#### Année 2020

28 février	Interdiction des rassemblements de plus de 1000 personnes. L'OFSP recommande une distanciation physique et une bonne hygiène des mains.
13 mars	Interdiction des rassemblements de plus de 100 personnes. Fermeture des écoles et universités.
16 mars	Déclaration de l'état d'urgence sanitaire et fermeture des commerces non-essentiels.
20 mars	Interdiction des rassemblements de plus de 5 personnes mais absence de confinement total
27 avril	Réouverture progressive de certains commerces non-essentiels
29 avril	Reprise de l'enseignement en présentiel pour la scolarité obligatoire.
11 mai	Réouverture des écoles primaires, restaurants, commerces, musées et bibliothèques.
20 mai	Le Conseil d'État Vaudois invite les personnes présentant des symptômes de coronavirus à se faire tester.
6 juin	Réouverture des derniers établissements encore fermés et jauge maximale de rassemblement à 300 personnes.
1 <sup>er</sup> juillet	Obligation de porter le masque dans les transports publics.

19 octobre	Le port du masque est rendu obligatoire dans tous les lieux publics
7 novembre	Les tests rapides ont été autorisés et les premiers sont effectués au CHUV
7 décembre	Le canton de Vaud renforce sa stratégie TTIQ : tester-tracer-isoler-quarantaine.
18 décembre	Le canton de Vaud se prépare au lancement de la campagne de vaccination

### Année 2021

11 janvier	Ouverture des centres de vaccination dans le canton de Vaud
Février et mars	Élargissement de la campagne de vaccination vaudoise
7 avril	Mise en place de la distribution de cinq autotests gratuits par mois et par personne [21].
9 avril	Le Canton renforce les dépistage du Covid-19 et met en place des "plan cantonal de tests répétés à large échelle".
26 avril	La vaccination est accessible à toute la population vaudoise majeure.
13 septembre	Mise en place du Certificat Covid [70]
11 octobre	Le Conseil Fédéral met fin à la gratuité des tests pour les personnes asymptomatiques
20 décembre	Introduction de la règle des "2G" (geimpft et genesen, c'est-à-dire vacciné ou guéri) [8]

### Année 2022

16 février	Le Conseil Fédéral annule l'obligation de pass sanitaire et l'obligation de port du masque [36]
------------	---

La Suisse connaîtra plusieurs plusieurs vagues de contamination. Les stratégies de santé publique précitées doivent constamment être adaptées en fonction du contexte épidémique local et de la tension hospitalière. Ces mesures de contrôle de la pandémie s'articulent essentiellement autour des points suivants :

- La distanciation physique
- Le port du masque
- Le dépistage et l'isolement
- La vaccination

## 2.3 Des mesures sanitaires à l'impact environnemental

Du fait de la restriction des déplacements et du ralentissement de l'activité industrielle, les émissions de dioxyde de carbone de l'année 2020 ont été considérablement diminuées [35] atteignant une réduction de 5.1[%] par rapport à l'année précédente [23].

Cependant, nous constatons un rebond des émissions de dioxyde de carbone en 2021, lié à la reprise extrêmement rapide de l'économie grâce à des aides fiscales et monétaires sans précédent [23]. Une particularité de ces mesures de protection est qu'elles sont temporaires et par conséquent leurs bénéfices aussi.

A cela s'ajoute une consommation nouvelle notamment d'équipement de protection tels que les gants et masques, de systèmes de dépistage et de vaccin. Depuis le début de la pandémie, ces dispositifs sont devenus omniprésents dans la lutte contre la propagation du virus. Cependant, ces consommables nécessitent des ressources et ont un impact qu'il serait intéressant de pouvoir inclure dans la prise de décisions de santé publique.

Cette étude sur l'évaluation environnementale des tests de dépistage s'inscrit dans la continuité de l'étude "*Which strategy for using medical and community masks? A prospective analysis of their environmental impact*" de Bouchet et al. 2021 visant à quantifier l'impact environnemental des masques

[10]. Une étude prochaine sur le coût environnemental des vaccins pourrait venir compléter cette évaluation de l'impact des mesures de contrôle de la pandémie de Covid-19.

## 2.4 Le COVID-19 en quelques chiffres

Dans le but de rendre compte de l'ampleur de la pandémie et des consommations en découlant, voici quelques chiffres relatifs au Covid-19 :

- 561.98 millions de cas confirmés dans le monde
- 6.37 millions de décès dans le monde
- 3.86 millions de cas confirmés en Suisse
- 13 857 décès confirmés en Suisse
- Plus de 22 millions de tests réalisés rien qu'en Suisse

Les chiffres sont en date du 15 juillet 2022 et proviennent des sites web : *OurWorldInData* ([www.ourworldindata.org](http://www.ourworldindata.org)) et *Confédération Suisse - OFSP* ([www.covid19.admin.ch](http://www.covid19.admin.ch)).

### 3 Méthodologie

#### 3.1 Approche

L'approche choisie pour la quantification de l'impact environnemental des tests est une Analyse de Cycle de Vie (ACV).

L'ACV est une méthode multicritère et multi-étape normalisée permettant de quantifier les impacts sur l'environnement des biens et services. L'ensemble des flux entrants et sortants sont considérés pour chaque grande étape du cycle de vie que sont la fabrication, le transport, l'utilisation et la fin de vie.

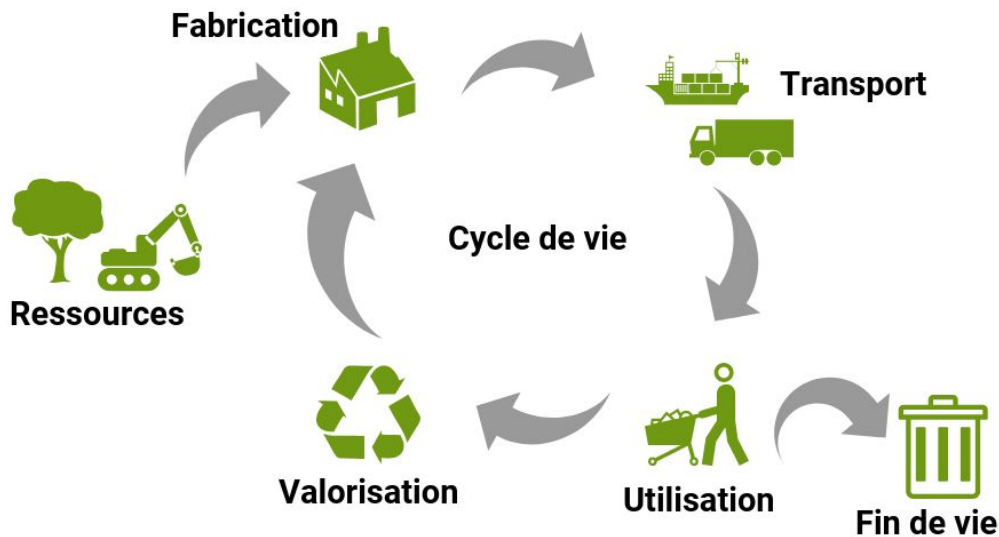


FIGURE 3.1 – Représentation schématique des différentes étapes d'une ACV [30]

Les normes ISO 14040 et 14044 régissent respectivement "les principes et le cadre" et "les exigences et lignes directrices" pour la réalisation d'une ACV.

Ces normes incluent la définition des objectifs et du champ de l'étude. L'ACV doit définir un système de produits, soit toutes les activités liées au produit ou service. Ces activités sont représentées individuellement comme des processus élémentaires, connectés entre eux par des flux intermédiaires.

Les normes ISO définissent également la phase d'inventaire du cycle de vie (ICV), qui comptabilise tous les flux élémentaires : les échanges entre les processus élémentaires et l'environnement.

Les phases d'évaluation de l'impact et de l'interprétation de ce dernier sont également prescrites dans les normes sus-mentionnées.

Cette méthode présente l'avantage de couvrir l'intégralité du cycle de vie du produit, tout en offrant un grand nombre de critères et en proposant un résultat selon différents impacts.

#### 3.2 Unité fonctionnelle

La norme ISO 14044 définit l'unité fonctionnelle (UF) comme "la performance quantifiée d'un système de produits, destinée à être utilisée comme unité de référence dans une ACV".

Dans le cadre d'une ACV, l'unité fonctionnelle comme son nom l'indique s'intéresse à la fonction et non à l'objet directement. Plusieurs objets peuvent répondre à une même fonction, comme c'est le cas ici. C'est pourquoi il est important de déterminer une UF commune aux produits comparés.

Pour procéder à la comparaison des autotests, tests antigéniques rapides, PCR rapide et standard l'unité fonctionnelle de base avait été définie comme suit : *réalisation d'un test de dépistage du Covid-19*. Ce choix avait été fait pour permettre une comparaison simple et efficace entre les impacts des différents tests. Afin de compléter la réflexion et pour une représentation plus juste des impacts, deux

unités fonctionnelles seront définis et étudiés : *Réalisation d'un test de dépistage du Covid-19 dans le Canton de Vaud lors d'un contexte de pic épidémique* et *Réalisation d'un test de dépistage du Covid-19 dans le Canton de Vaud lors d'un contexte de creux épidémique*.

L'avantage de ces nouvelles unités fonctionnelles est d'estimer plus précisément l'allocation de certaines ressources dépendantes du contextes pandémique locale ainsi que de s'adapter aux pratiques cantonales.

### 3.3 Collecte de données

Cette étape consiste en l'acquisition des informations nécessaires à la création d'un jeu de données par les moyens appropriés. Dans ce cas les moyens mis en oeuvre ont été des entretiens, des visites, des mesures, des recherches bibliographiques et enfin, lorsque qu'aucune donnée n'était disponible, des estimations ont été réalisées. L'idée est de prendre en compte toutes les activités impliquées, les consommables de matière, produits chimiques, eau et énergie ainsi que la génération et le traitement des déchets.

Ces données représentent les informations requises pour l'élaboration d'un inventaire de cycle de vie (ICV) (voir section 3.4). La collecte de données et l'élaboration de l'ICV sont des processus itératifs. En effet, si l'ICV préalable guide nos premières démarches pour la recherche des données, les visites et entretiens permettront de compléter cet inventaire.

Concernant la constitution des tests, nous avons pu en obtenir 4 différents des marques Roche, AllTest, Beright et Abbott qui étaient ceux utilisés au Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV - Lausanne) et dans les centres de tests visités. L'étape suivante a été de désassembler ces tests afin de quantifier tous les éléments. Les mesures ont été réalisées en pesant les constituants individuellement avec une balance de limite de détection de 0.01 g. Ensuite, il a fallu les identifier, soit formellement si cela était possible, soit hypothétiquement en justifiant par des recherches le choix du matériel.

Pour la modélisation des protocoles appliqués au testing des patients potentiellement contagieux, deux visites de centre de test ont été effectuées. Les centres nous ayant accueillis sont ceux situés sur le site d'Écublens - EPFL et à la permanence d'Unisanté au Flon (Lausanne). Nous avons également pu nous entretenir avec Estelle Brantschen, responsable assistantes médicales à la permanence du Flon, sur le sujet. Ces visites et entretiens ont également permis d'identifier la fin de vie des consommables.

A propos des analyses PCR, un premier entretien a été réalisé avec le Prof Gilbert Greub, directeur de l'institut de microbiologie de l'Université de Lausanne et le Dr. Onya Opota. Par la suite, la Dre Aurélie Jayol, directrice des laboratoires aux Établissements Hospitaliers du Nord Vaudois (eHnv) nous a reçu au laboratoire de microbiologie d'Yverdon-les-Bains où nous avons pu détailler les processus impliqués dans l'analyse d'un échantillon par PCR.

Mme Carine Dahan et M. Christophe Picore du laboratoire d'analyses médicales Unilabs ont collaborés avec nous en nous fournissant de précieuses informations sur les transports par coursiers pour l'acheminement jusqu'au laboratoire des échantillons à tester.

Enfin, concernant l'autoclavage des déchets présentant un risque infectieux, nous avons eu l'occasion de visiter le centre de traitement des déchets et tout particulièrement l'autoclaveur du CHUV accompagné de M. Kader Coulibaly, responsable de la rudologie.

Une fois les quantités et qualités reconstituées en inventaire, les impacts respectifs ont pu être extrait notamment de la base de donnée ecoinvent et du Bilan des émissions de gaz à effet de serre de l'ADEME [1].

### 3.4 Inventaire de cycle de vie

L'inventaire de cycle de vie, défini plus haut, rend compte des intrants et sortants par étape du cycle de vie, de la quantité et du flux de la base de données correspondant pour la modélisation. Les inventaires dans le cadre de cette étude sont disponible à l'annexe B.



### 3.5 Système de produit

Le système de produit est la modélisation de l'ICV du concept à analyser. Il regroupe les différents processus élémentaires et flux intermédiaires de manière schématique pour une interprétation visuelle. Par processus élémentaire on entend toute activité, d'extraction ou de production par exemple, entrant dans le processus de fabrication. Le flux intermédiaire représente les produits et services entrants ou sortants des frontières du système. Enfin, les flux élémentaires sont les émissions et ressources échangées directement avec l'environnement. Les systèmes de produit pour les autotests, tests antigéniques et PCR sont représentés respectivement aux figure 3.2, 3.3 et 3.4. L'abréviation *prod.* se réfère à l'activité de production.

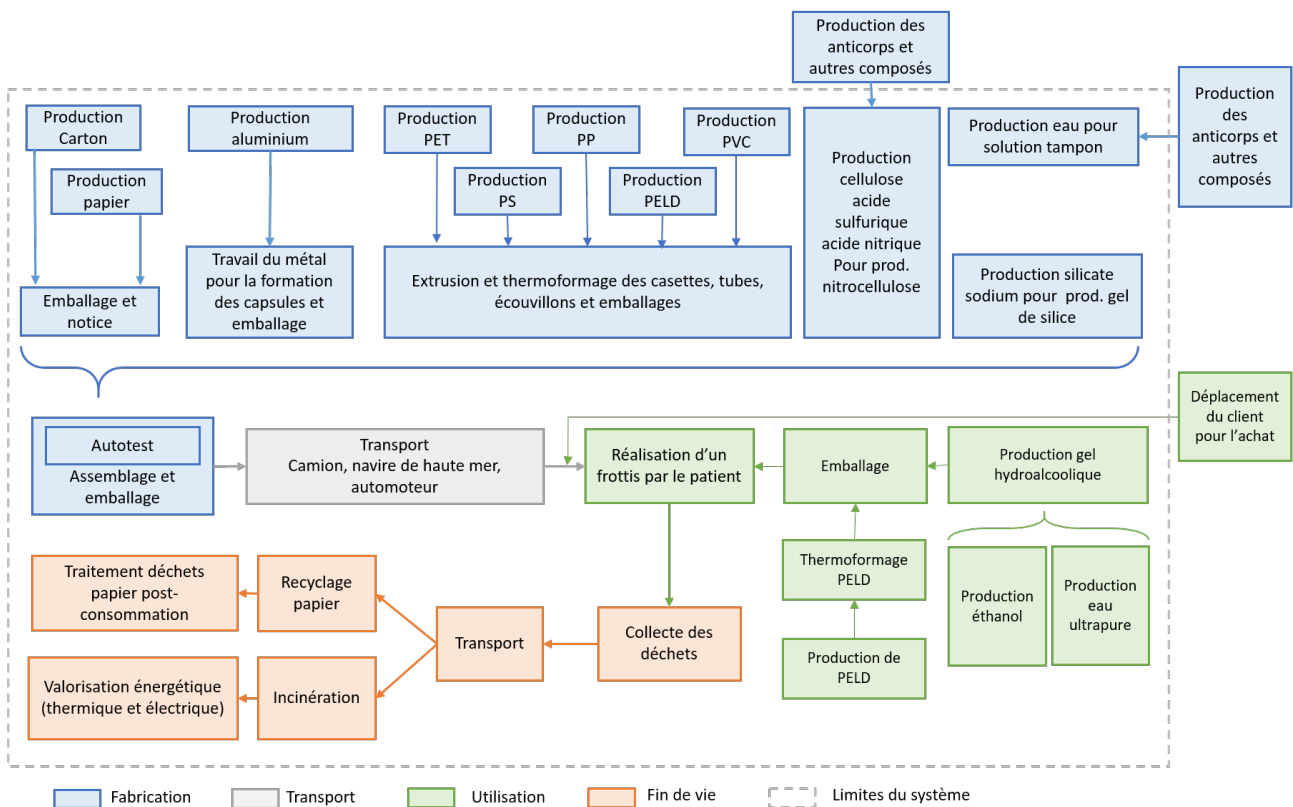


FIGURE 3.2 – Représentation schématique du système de produit pour la réalisation d'un autotest

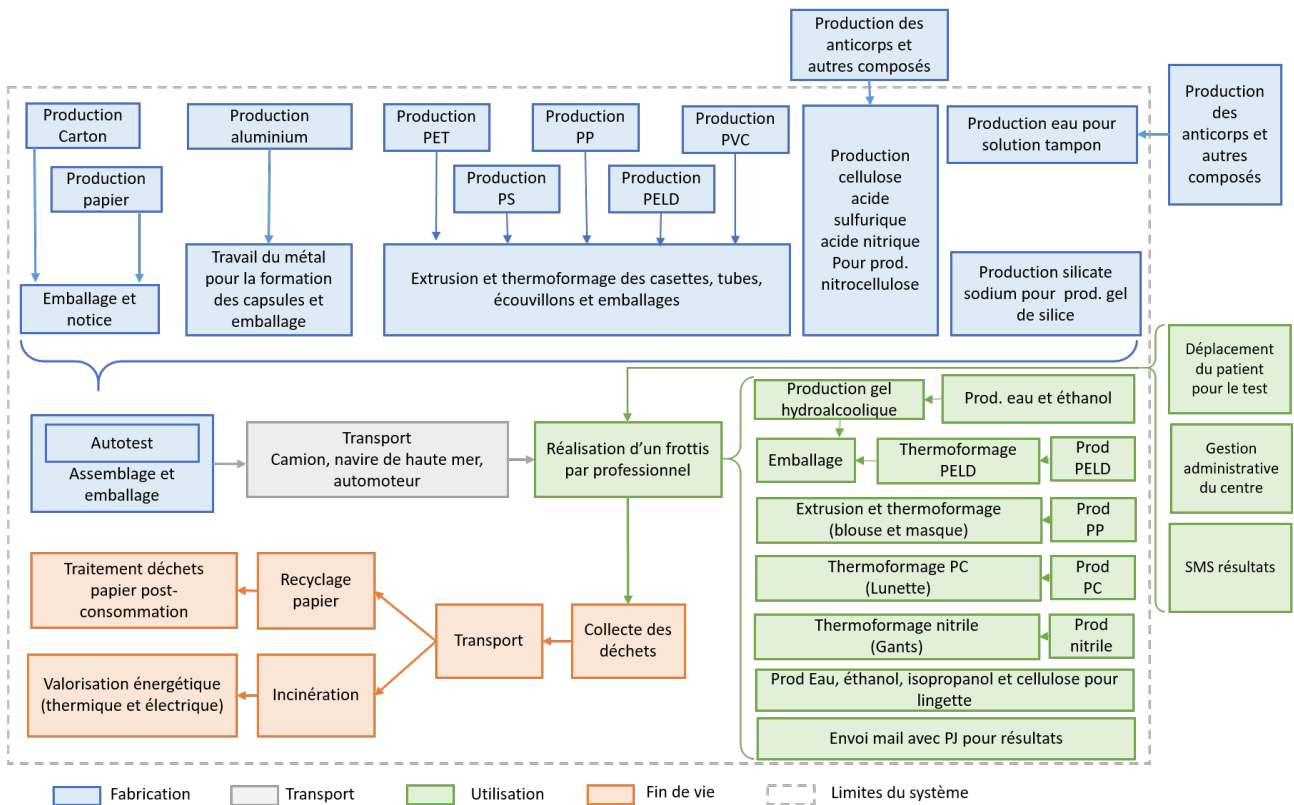


FIGURE 3.3 – Représentation schématique du système de produit pour la réalisation d'un test antigénique rapide

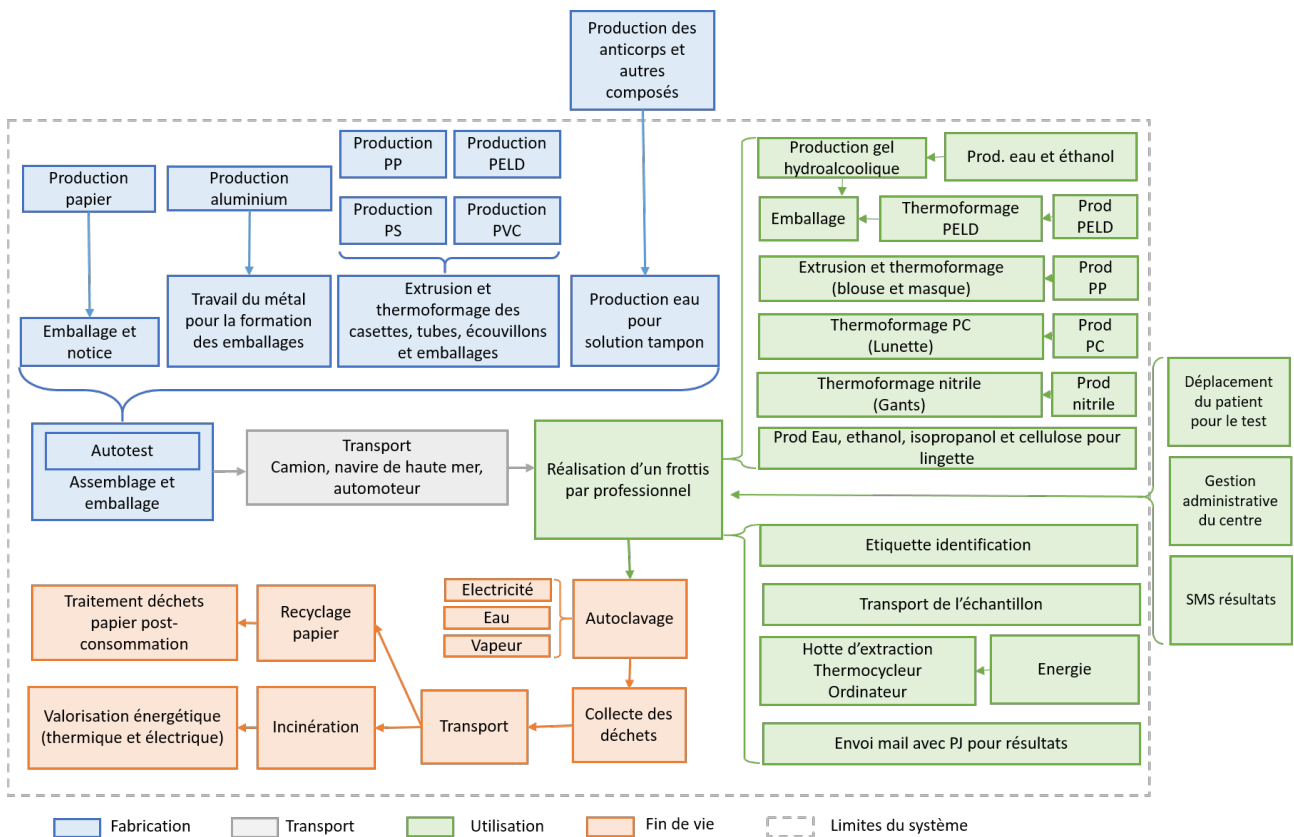


FIGURE 3.4 – Représentation schématique du système de produit pour la réalisation d'un test PCR

## 3.6 Hypothèses et modélisations

Cette section s’attachera à détailler l’identification des différents éléments impliqués dans la réalisation d’un test.

### 3.6.1 Fabrication

Les éléments contenus dans une boîte de tests antigéniques sont présentés à l’annexe A. Dans le cas d’un test PCR, le prélèvement est similaire (voir section 4). Les éléments nécessaires à la réalisation des tests sont également présentés dans cette section.

La table 1 fait état des matériaux représentant les différents composants d’un test antigénique ou d’un kit de prélèvement pour analyse PCR. Les hypothèses (\*) sont détaillées par la suite.

Élément	Matériau	Justification
Boîte d’emballage	Carton	Observation
Notice d’utilisation	Papier	Observation
Emballage cassette et contrôle	Aluminium	Observation
Tube d’extraction	Polypropylène	Hypothèse*
Capsule du tube d’extraction	Aluminium	Observation
Support tube extraction	PET	Symbole PET sur le support
Solution tampon	Eau	Simplification*
Capuchon doseur	Polypropylène	Hypothèse*
Emballage plastique	PVC	Hypothèse*
Écouvillon	Polystyrène	Hypothèse*
Dessicant	Silicate de sodium	Hypothèse*
Cassette	Polypropylène	Facilement usinable et faible coût
Bande de test	Nitrocellulose	Littérature [22]
Sachet zip	PELD	Symbole PELD sur le sachet

TABLE 1 – Identification des éléments d’un test

**Tube extraction et capuchon doseur** Les tubes d’extraction des PCR sont en polypropylène [13]. L’hypothèse est que le même matériau est utilisé pour les tubes d’extraction des tests antigéniques. Le polypropylène a un faible coût et est facilement usinable. Dans certains cas, le tube et le capuchon doseur sont d’un seul tenant, par conséquent et par volonté d’homogénéiser les matériaux, le capuchon doseur est également considéré comme polypropylène.

**Solution tampon** En l’absence de donnée sur sa composition, la solution tampon est assimilée à de l’eau ultra-pure pour usage médical. De plus, les quantités de principes actifs sont infimes et leur impact n’est pas disponible dans la base de données. L’eau ultra-pure est une eau qui a été purifiée afin de répondre à des normes de qualités très strictes. Elle est utilisée dans la production de produits pharmaceutiques.

**Emballage plastique** La publication *Analyses of the recycling potential of medical plastic wastes* de Lee et al. 2002 [37] mentionne le PVC, le PE et le PS comme types de plastique utilisés pour l’emballage. L’article *What plastic is used for medical devices ?* [20], propose PVC, PET, ABS, PUR pour ce genre de produit. Le consensus sur le PVC est confirmé par des sites marchands.

**Écouvillon** Le site *deltalab*<sup>1</sup> présente les différents types d’écouvillon et mentionne ”La tige de l’écouvillon peut [être en] : bois, polystyrène ou aluminium”. Dans notre cas, par élimination, l’écouvillon est considéré comme du polystyrène.

1. <https://www.deltalab.es/fr/products/ecouvillons-tous-les-differents-types/>

**Gel de silice** Le gel de silice est préparé à partir de silicate de sodium. En l'absence d'information supplémentaire sur sa fabrication, le procédé n'est pas inclus dans l'inventaire.

**Bande de test** Les bandes peuvent contenir des matériaux tel que de l'or ou argent. Bien qu'ils aient un impact très important, il sont présent en infime quantités. L'or par exemple est utilisé pour ces propriétés surfacique et non massique. Il peut réagir à partir de la picomole. On ne considère que le matériel et pas les agents actifs dessus pour les mêmes raisons que la solution tampon. La nitrocellulose est une fibre de cellulose traitée à l'acide sulfonitrique (mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique à part égale) avec environ 90 [%] de poids d'acide [69].

### 3.6.2 Transport

Il existe plusieurs itinéraires possibles pour rallier la Suisse depuis le lieu de production. L'un des plus communs a été sélectionné pour la modélisation du transport dans cette étude.

Après discussion avec la Croix-Rouge suisse, bien que quelques tests PCR à destination de l'armée aient été importés par transport aérien, nous pouvons estimer que la majorité des systèmes de dépistage à destination de la population ont été importés par voie maritime.

**Transport maritime** Les ports de départs sont choisis en fonction de la localisation géographique de la manufacture.

Les lieux de production des différents tests étudiés sont Cheongju en Corée du Sud, Guangdong et Hangzhou en Chine et Jena en Allemagne.

Pour les expéditions depuis Cheongju, Corée du Sud, le port de départ est le plus important du pays soit Busan [7].

Concernant la manufacture d'Hangzhou, un port est disponible dans la ville.

Pour les productions réalisées dans la province du Guangdong en Chine, le port de départ est le port international majeur de la capitale : Guangzhou.

Le port d'arrivée pour une livraison en Suisse a été choisi à Rotterdam car il s'agit du plus grand port d'Europe [15] et qu'une partie essentielle des conteneurs à destination de la Suisse y transite [65] [18].

**Transport fluvial** Les Ports rhénans suisses, à Bâle, jouissent d'un accès facilité à la mer du Nord et au port de Rotterdam par le Rhin. La transport y est effectué par des bateaux automoteurs ou automoteurs-barges. [14].

**Transport routier** La ville de Lausanne, chef-lieu du Canton de Vaud, a été choisi comme lieu d'arrivée pour sa position géographique centrale dans le canton. Il est à noter que dans le cadre de cette étude, l'impact du transport routier est de l'ordre de 0.5 [%] de l'impact total. Cette faible contribution rend tolérable une certaine incertitude sur ce paramètre.

Enfin, depuis Jena en Allemagne, un transport par camion a été modélisé et Lausanne considéré comme point d'arrivée pour les raisons sus-mentionnées.

Les itinéraires et les différentes étapes du transports sont détaillés dans la table 24 à l'annexe C. Les flux choisis pour modéliser les transports sont présenter à la table 25 de la même annexe. La distance reliant Rotterdam à Bâle vient de la littérature [5]. Les distances maritimes ont été calculés via le site *Ports.com*<sup>2</sup> et les distances routières via *Distance Himmera.com*<sup>3</sup>.

**Conversion en tonnes\*km** L'unité de référence des différents flux utilisés dans ecoinvent est la tonne\*km.

---

2. <http://ports.com/sea-route/>

3. <http://fr.distances-routieres.himmera.com/>

Les distances ont été converties comme suit :

$$Flux = distance\ parcourue * masse\ individuelle$$

Où le flux résultant est exprimé en tonne\*km, la distance parcourue est exprimée en kilomètres et la masse individuelle en tonne.

### 3.6.3 Utilisation

**EPI** Les équipements de protection dans le cadre d'un prélèvement pour le dépistage du Covid-19 sont :

- Une blouse de protection, formellement identifiée comme du polypropylène, elle peut être portée pendant une période de 4h.
- Un masque FFP2, essentiellement constitué de polypropylène [16] qui doit être renouvelé toutes les 2 heures.
- Des lunettes de protection en polycarbonate (site marchand) qui peuvent être utilisées toute la journée.
- Une paire de gant en nitrile (informations sur l'emballage) qui est changé entre chaque patient.

**Gel hydroalcoolique** Entre chaque prélèvement, le professionnel l'effectuant doit se désinfecter les mains. Nous reproduisons la composition mentionnée sur le produit à savoir : 75 [%] éthanol, 25 [%] eau ultrapure. Le flacon clairement identifié comme du PELD sera également pris en compte.

L'OMS recommande l'utilisation d'une dose de 5mL par lavage [48]. Avec une densité de 0.862, cette dose correspond à 4.24 [g] (site du fournisseur<sup>4</sup>).

**Lingette de désinfection** La lingette est une Feuille de cellulose imprégnée d'éthanol (71.25 [%]), d'isopropanol (3.75 [%]) et d'eau, considérée ultrapure (25 [%]) selon l'emballage et le site du fournisseur<sup>5</sup>. La lingette a été pesée humide et sèche pour définir la masse de cellulose et la différence étant la part d'agent actif.

**Étiquettes adhésives** Les étiquettes sont utilisées pour l'identification des échantillons. L'impact des étiquettes en papier imprimées est disponible directement sur le site de l'ADEME [1] et ne nécessite pas de recréer le processus.

**Coursiers** L'impact a été calculé comme suit :

$$I = \frac{ECV * D}{T}$$

Où, I est l'impact total du transport d'un échantillon du centre de prélèvement au laboratoire en [kg CO<sub>2</sub>eq], ECV l'empreinte carbone du véhicule en [kg CO<sub>2</sub>eq], D la distance du centre de prélèvement au laboratoire en [km] et T le nombre de tests dans le véhicule pour ce trajet.

L'impact individuel du véhicule provient de la base de données ecoinvent sous la dénomination *transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 4* pour la géographie *Europe*.

Ce processus élémentaire a été sélectionné comme représentatif du type de véhicule sus-mentionné de taille moyenne et consommation moyenne. La motorisation essence a été choisie car représentative de la majorité du parc de voiture Suisse [63].

4. <https://www.securimed.fr/media/cms/files/sefr/SEFR<sub>T</sub>DS<sub>0</sub>273<sub>s</sub>td.lang.all.pdf>

5. <https://www.securimed.fr/media/cms/files/sefr/SEFR<sub>T</sub>DS<sub>0</sub>130<sub>s</sub>td.lang.all.pdf>

**Consommables pour l'analyse PCR** Pour identifier les matériaux consommés lors d'une analyse PCR, Celis et al. 2021 [13] propose un inventaire des plastiques utilisés. Les informations retenues dans le cadre de cette étude sont résumées à la table 2.

Élément	Matériau
Pipette pasteur	Polyéthylène
Pointe	Polypropylène
Tube Eppendorf	Polypropylène
Cassette pour analyse	Polyéthylène
Tube et réactif	Polypropylène
Emballage	Aluminium

TABLE 2 – *Identification des consommables d'une analyse PCR*

**Réactif pour la PCR** Le réactif est assimilé à son contenant car sa composition demeure inconnue. Ces informations sont très peu accessibles du fait du secret de fabrication industriel.

**Emballage des cassettes PCR** L'emballage n'a pas pu être mesuré individuellement. De taille et de composition similaire à d'autres que nous avons pu peser, nous estimons qu'il est en aluminium et que sa masse est de 5g.

**Équipements de protection en laboratoire** Basé sur la procédure appliquée au laboratoire de microbiologie d'Yverdon-les-Bains, les considérations sont les suivantes :

- Les gants sont retenus dans le système de produit du fait de l'impact significatif du nitrile, à raison d'un paire par lot de test.
- Les blouses en coton sont en dehors du champs de l'étude du fait de leur caractère réutilisable, du fait qu'elles soient portées sur une journée entière et pour d'autres analyses que celles des test Covid-19, ainsi l'allocation est faible et difficile à déterminer précisément.
- Les lunettes de protection ne sont pas prises en compte pour les mêmes raisons.

**Communication des résultats** La plupart du temps, les résultats sont communiqués par SMS et mail avec une pièce jointe justificative. Le message texte par téléphone sort du champs de l'étude car son empreinte carbone est de seulement 0.00215 [g de CO<sub>2</sub>eq], soit moins de 1 [%] de l'impact d'un test antigénique rapide [6].

Le mail avec pièce jointe correspond à 0.035 [kgCO<sub>2</sub>eq] par unité, soit environ 10 [%] de l'impact d'un test antigénique moyen [1].

**Appareil analyse laboratoire** Les échantillons sont manipulés sous une hotte d'extraction dont la consommation est de 1200W<sup>6</sup>. La durée d'utilisation de la hotte a été estimée à 20 secondes par test. Le test est analysé par un thermocycleur. Le GeneXpert, pour l'analyse individuelle, a une consommation de 100W<sup>7</sup>. La durée est de 50 minutes. La machine de DiaSorin a une consommation estimée à 700W après comparaison de 6 thermocycleurs pour lesquels la donnée était disponible. Le temps d'analyse est de 70 min. Enfin, l'ordinateur traitant et communiquant les données a une consommation de 200W pour le GeneXpert. Il est supposé que l'ordinateur associé à la machine de DiaSorin a une consommation similaire.

**Exclusion du champs de l'étude** Le déplacement du patient aurait pu être intéressant à modéliser en terme d'impact. Cependant, la mise en place d'un questionnaire, lorsqu'il touche au domain médical, est très complexe et le temps imparti ne nous permettait pas de le faire.

La gestion administrative et logistique des centres n'a pas été prise en compte. En effet, ils sont pas

6. [https://products.bioair.it/catalog/public/uploads/1/2020-01/a03bioair\\_cataloghi\\_safemate\\_ezeweb.pdf](https://products.bioair.it/catalog/public/uploads/1/2020-01/a03bioair_cataloghi_safemate_ezeweb.pdf)

7. [https://www.finddx.org/wp-content/uploads/2018/02/UPS-guide-XpertMTB-RIF\\_FINAL\\_07DEC16.pdf](https://www.finddx.org/wp-content/uploads/2018/02/UPS-guide-XpertMTB-RIF_FINAL_07DEC16.pdf)

tous dédiés uniquement au dépistage du Covid-19. Une allocation approximative ajouterait dès lors des incertitudes supplémentaires.

### 3.6.4 Fin de vie

**Taux de fuite** Pour des objets de cette taille (*Taille moyenne (5-25cm)*), consommés à la maison et qui ne sont pas jetables dans les toilettes, le taux de fuite attendu, selon le Plastic Leak Project est de 0 [%] [53]. Ainsi, le taux de déchet correctement géré est de 100 [%]. A l'exception du papier qui est en partie recyclé, tous les autres éléments sont 100 [%] incinérés en fin de vie.

**Autoclavage** Le laboratoire met en place une seule filière pour tous les déchets qui est celle de l'autoclavage pour éviter les risques de contamination. Par conséquent, tous les éléments utilisés dans le laboratoire sont concernés. Les déchets des centres de tests ne subissent pas ce traitement. L'autoclavage consiste à stériliser à la vapeur les déchets contenant des microorganismes pathogènes. Les détails du processus et la modélisation sont disponibles à l'annexe E

**Incinération** Une fois stérilisés, les déchets de laboratoire rejoignent les déchets dits "banals" pour être incinérés.

Les déchets issus d'un test antigénique sont considérés comme "Déchets dont la collecte et l'élimination ne font pas l'objet de prescriptions particulières pour prévenir les infections" et appartiennent par conséquent au groupe A [45]. Lors de leur traitement, ces déchets sont assimilés aux déchets industriels banals (DIB) [57]

La formule générale pour la modélisation de l'incinération en fin de vie est la suivante :

$$\text{Impact} = \text{impact traitement déchets} - \text{impact processus évités grâce incinération}$$

Les détails du processus sont disponibles à l'annexe E.

## 3.7 Analyse de sensibilité

Malgré les efforts de collecte de données, certains éléments n'ont pas pu être quantifiés de manière absolue. Il s'agit des EPI, des coursiers et du remplissage des cassettes, qui sont susceptibles d'évoluer en fonction du nombre de tests. Si les valeurs sont incertaines et peuvent influencer grandement le résultat, il est préférable de présenter plusieurs scénarios. A contrario, si l'élément est de faible contribution, une valeur vraisemblable peut être choisie pour éviter une multiplication des scénarios et une complexification inutile.

Pour ce faire, nous effectuerons une analyse de sensibilité qui évalue l'incertitude du résultat final par rapport à l'incertitude des entrées. Les meilleurs et pires scénarios seront évalués.

### 3.7.1 EPI

L'incertitude porte sur le nombre de patients testés par heure et par soignant. Le meilleur cas est basé sur un maximum de 10 patients, sur la base de ce que faisait le Centre de test sur le site d'Écublens - EPFL. Le pire scénario est celui où le professionnel s'équipe entièrement pour effectuer un seul test. Les résultats sont présentés dans la table 3.

Scénario	Impacts total		Variation d'impact [%]
	Meilleur cas	Pire cas	
2A	0.268	0.328	22.60
2B	0.206	0.266	29.41
2C	0.227	0.288	26.63
2D	0.216	0.277	27.97
3A	0.428	0.367	16.48
3B	0.341	0.281	21.55
3C	0.306	0.246	24.62

TABLE 3 – *Analyse de sensibilité des EPI*

Entre le meilleur et le pire scénario pour les EPI, l'impact total change de 17 à presque 30 [%]. La contribution de ces éléments à l'impact total est importante et ce paramètre nécessitera d'être détaillés selon plusieurs scénarios.

### 3.7.2 Coursiers

Concernant le transport de l'échantillon du centre de prélèvement au laboratoire, il n'existe à notre connaissance aucune base de données concernant le nombre de tests par course ou encore la distance parcourue.

En se basant sur les informations récoltées, nous pouvons imaginer 2 scénarios vraisemblables pour le canton de Vaud. Le premier, plus favorable, représentera le transport de 100 tests sur 5km, soit une période de forte transmission du virus en zone urbaine. Le second scénario modélisera un transport sur 30 km de 30 tests, soit une situation avec moins de transmission en zone périurbaine à rurale.

Les résultats sont présentés dans la table 5.

Scénario	Impacts total		Variation d'impact [%]
	Meilleur cas	Pire cas	
3A	0.392	0.726	85.35
3B	0.305	0.639	109.53
3C	0.270	0.604	123.75

TABLE 4 – *Analyse de sensibilité du transport de l'échantillon pour l'analyse PCR*

L'impact de la course pouvant faire plus que doubler l'impact total, il est inévitable de proposer plusieurs scénarios pour ce paramètre.

### 3.7.3 Remplissage des cassettes de tests

Le remplissage des cassette de tests pour la PCR est aussi dépendant du contexte. Des cassettes peuvent être utilisées sans être remplies si le nombre de tests demandés n'est pas suffisant. Pour le test PCR rapide, la cassette est conçu pour un échantillon individuel, par conséquent ce paramètre n'est pas affecté par le contexte. Concernant la cassette 8 puits, si tous n'ont pas été exploités, il est possible de réutiliser la cassette avec les puits inutilisés. On peut donc estimer que chaque puit est utilisé. Enfin, la question est surtout pour la cassette de 96 puits qui n'est pas systématiquement complète lors de l'analyse. Nous comparerons le meilleure scénario, où elle est entièrement exploitée au pire, où seulement 9 puits sont exploités.

Les résultats sont présentés dans la table 5.



Scénario	Impacts total		Variation d'impact [%]
	Meilleur cas	Pire cas	
3C	0.276	0.250	9.36

TABLE 5 – *Analyse de sensibilité du remplissage des cassettes*

La variation de l'impact total est de l'ordre de 9 [%]. Les EPI et les coursiers présentent des variations très supérieures qui vont conduire à de nombreux scénarios. La PCR avec 96 puits est l'unique test pour lequel scénariser ce paramètre serait pertinent. Considérant cela, malgré la contribution non négligeable à l'impact total, le paramètre n'est retenu pour faire l'objet de plusieurs modélisations afin d'éviter une complexification inutile. Ainsi, on considérera un remplissage moyen de la cassette de 48 puits à chaque utilisation.

### 3.8 Paramétrisation

Pour paramétriser les scénarios, nous choisirions à chaque fois des hypothèses vraisemblables représentant la situation la plus favorable, la plus défavorable et une situation médiane.

#### 3.8.1 EPI

Les scénarios considérés pour les EPI seront les suivants :

- Creux : 1 patient par heure et par professionnel
- Modéré : 5 patients par heure et par professionnel
- Pic : 10 patients par heure et par professionnel

#### 3.8.2 Coursiers

Dans un premier temps, l'étude proposera l'impact des tests PCR en l'absence de coursiers. Cette situation idéale existe notamment au centre de test de l'EPFL ou dans le cas du drive de testing de l'hôpital d'Yverdon, où le laboratoire se situe sur place. Cependant, elle est loin de représenter la situation majoritaire dans le canton.

Afin de prendre en compte le transport de l'échantillon de la manière la plus adaptée, une grille d'évaluation de l'impact de la course sera proposée. Cette grille présente l'impact du transport d'un échantillon en fonction de la distance parcourue et le nombre transportés. Elle est disponible à l'annexe D.

Pour obtenir l'impact total du test PCR et de la course, il suffira simplement d'additionner l'impact du test seul à celui sélectionné dans la matrice.

Les scénarios ci-dessous seront présentés et discutés à titre d'illustration. Ils ont été élaborés sur la base des informations collectées.

- Course 1 : 100 échantillons sur 5 km
- Course 2 : 30 échantillons sur 30 km
- Course 3 : 1 échantillon sur 50 km

### 3.9 Évaluation de l'impact environnemental

Cette étude se base sur la méthode EF 3.0.

La méthode employée est la troisième version d'*Environmental Footprint*. Elle est proposée et recommandée par la Commission européenne pour mesurer les performances environnementales. Cette méthode est élaborée entre autre par l'association ecoinvent et donc disponible dans sa base de données<sup>8</sup>.

L'évaluation de l'impact environnemental est proposée en terme de GWP (Global Warming Potential), traduit en potentiel de réchauffement global (PRG) en [kg CO<sub>2</sub>eq]. Cet impact a été choisi car il est facilement appréhendable par tous et largement utilisé. L'UBP avait également été envisagé en tant

8. <https://www.ecoinvent.org/database/database.html>

qu'indicateur plus large. En effet, il intègre la consommation d'eau et les processus de soins sont réputés "humides". Cependant, toutes les données n'étaient pas disponibles pour cet impact. Un outil Excel, développé par Environmental Action et basé sur les données d'ecoinvent a été utilisé pour la réalisation de l'ACV.

### 3.10 Impact environnemental de la détection d'un vrai positif

Bien conscient que tous ces dispositifs ne fournissent pas la même qualité de résultat, l'impact environnemental de la détection d'un vrai cas positif sera déterminé. En incluant l'exactitude du résultat du test dans l'impact total, cela permet une comparaison plus juste entre les différents dispositifs de dépistage.

La performance d'un test est mesurée par rapport à un "gold standard", en l'occurrence le PCR est considéré comme tel, qui catégorise les patients en deux catégories : "malade" et "non malade". Les résultats possibles peuvent être résumés comme dans la figure 3.5.

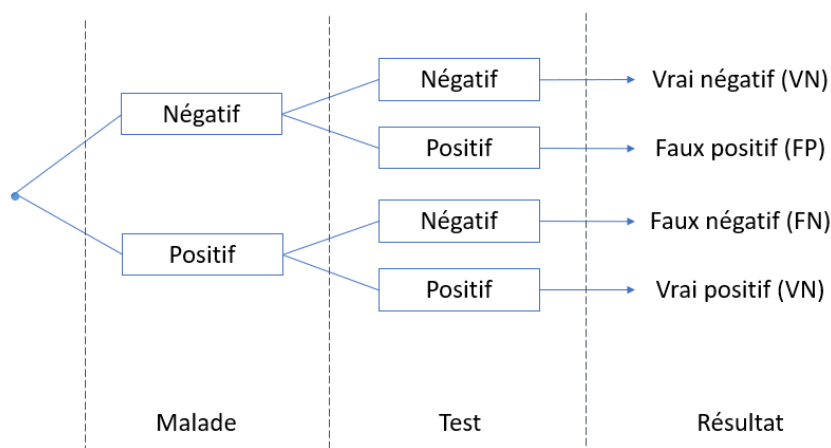


FIGURE 3.5 – Schématisation des résultats possibles à l'issue d'un test de dépistage.

La capacité informative du test est définie par deux paramètres que sont la sensibilité et la spécificité. Ces paramètres sont exprimés en termes de probabilités.

La sensibilité d'un test clinique fait référence à la capacité du test à identifier correctement les patients atteints de la maladie. Elle est définie comme suit [33] :

$$Sensibilité = \frac{VP}{VP + FN}$$

A l'inverse, la spécificité représente la capacité du test à identifier correctement les patients non malade. Elle est définie comme suit [33] :

$$Spécificité = \frac{VN}{VN + FP}$$

Nous nous intéresserons à la propension d'un test à détecter un patient malade comme tel. Les autotests sont des tests antigéniques de même type que ceux réalisés dans les pharmacies ou centres de tests. Cependant, ces derniers montrent une performance inférieure aux tests antigénique réalisés par un personnel qualifié du fait de la méthode de prélèvement.

La sensibilité d'un test d'auto-diagnostic est de 78.4 [%] avec un intervalle de confiance à 95 [%] de [73.2% - 83.5%] [62].

Concernant les tests antigéniques rapides, pour la détection qualitative de la combinaison d'anticorps IgM et IgG, comme c'est le cas pour Roche [56], la sensibilité attendue est supérieure à 85.4 [%], avec

un intervalle de confiance à 95 [%] suivant [77.2% - 91.1%] [67].

Enfin, comme attendu, les tests RT-PCR présentent une performance plus élevée pour la détection du virus avec une sensibilité de 97.2 [%] et un intervalle de confiance à 95 [%] de [90,3 %-99,7 %]) [12].

Connaissant la probabilité d’obtenir un vrai positif pour chaque dispositif, nous pouvons estimer le nombre de tests nécessaires à la réalisation d’un diagnostic exact et ainsi ajuster la métrique en prenant en compte l’efficacité. Il devient alors possible de comparer la qualité, plutôt que la quantité.

Le calcul sera effectué de la sorte :

$$N = \frac{1}{\text{Sensibilité}}$$

Avec N le nombre de tests nécessaires à la détection d’un cas positif exact, 1 le nombre de vrai positif que l’on souhaite détecter, et la sensibilité en [%].

### 3.11 Coût environnemental de la détection d’un vrai positif selon le contexte épidémique

”Le rendement du testing (mesuré en «Number Needed to Test» pour identifier un cas contagieux) diminue avec l’élargissement des critères de testing” D’acremont et al., 2022 [19]. En effet, plus les critères pour tester sont larges, moins ils sont spécifiques au Covid-19 et moins le test a de chance d’être positif. A cela s’ajoute le dépistage de masse, de personnes asymptomatiques, faisant encore diminuer le taux de positivité.

Partant de ce constat, nous chercherons à déterminer le coût environnemental des stratégies de santé publique pour la détection d’un cas positif, en fonction du contexte épidémique.

Pour ce faire, deux scénarios extrêmes - relevés dans le canton de Vaud - seront considérés. Ces scénarios correspondent aux jours de plus faible et plus forte contamination depuis le début de la pandémie. Les données sont regroupées dans la table 6.

Scénario	Creux	Pic
Date	26.06.2021	25.01.2022
Nombre de cas	2	5390
<b>Test antigénique</b>		
Nombre	1417	2621
Nombre de positif	0	1149
Proportion [%]	0	43.8
Nombre de tests / test positif	1417	2.28
<b>Test PCR</b>		
Nombre	907	8443
Nombre de positif	1	4883
Proportion [%]	0.1	57.8
Nombre de tests / test positif	907	8443

TABLE 6 – Nombre de cas et des tests pour deux scénarios extrêmes relevés dans le canton de Vaud. Source : OFSP [46]

Les paramètres pour le calcul d’impact sont résumés dans la table 7.

Paramètre	Creux	Pic
Nombres de patients/heure/soignant	3	10
Course urbaine	30 échantillons et 5km	150 échantillons et 5km
Course rurale	20 échantillons et 30km	50 échantillons et 30km

TABLE 7 – Paramétrisation pour l’évaluation de l’impact d’un test positif selon le contexte épidémique

Après discussion avec plusieurs pharmacies, les autotests ayant dominés le marché dans le Canton de Vaud sont ceux de la marque Roche. Par conséquent, nous utiliserons ces derniers pour simplifier la comparaison avec les autres systèmes de dépistage.

### 3.12 Résumé des dispositifs et scénarios

Scénario	Description
1A	Test antigénique de la marque Roche, conditionné par 25, puis repacké par 5, importé par bateau et réalisé par le patient
1B	Test antigénique de la marque Beright, conditionné par 5, importé par bateau et réalisé par le patient
1C	Test antigénique de la marque Beright, conditionné individuellement, importé par bateau et réalisé par le patient
2A	Test antigénique de la marque Roche, conditionnés par 25, importé par bateau, réalisé par un.e soignant.e
2B	Test antigénique de la marque AllTest Biotech, conditionnés par 5, importé par bateau, réalisé par un.e soignant.e
2C	Test antigénique de la marque Beright, conditionné individuellement, importé par bateau, réalisé par un.e soignant.e
2D	Test antigénique de la marque Abbott, conditionnés par 25, importé par bateau, réalisé par un.e soignant.e
3A	Prélèvement de l'échantillon par un.e soignant.e, transport par coursier et analyse PCR individuelle, importation par bateau
3B	Prélèvement de l'échantillon par un.e soignant.e, transport par coursier et analyse PCR par cassette de 8 puits, importation par bateau
3C	Prélèvement de l'échantillon par un.e soignant.e, transport par coursier et analyse PCR par cassette de 96 puits, importation par bateau

TABLE 8 – *Résumé des dispositifs de dépistage et des scénarios*

Scénario	Description
Coursier 1	100 échantillons sur 5 km
Coursier 2	30 échantillons sur 30 km
Coursier 3	1 échantillon sur 50 km

TABLE 9 – *Résumé des types de courses modélisées*

## 4 Typologie des tests de dépistage du COVID-19

Plusieurs dispositifs de dépistage du Covid-19 existent. Dans le cadre de cette étude nous distinguerons les tests PCR des tests antigéniques. D'autres distinctions seront effectuées dans ces catégories.

### 4.1 Test PCR

Le test RT-PCR, pour *Reverse Transcriptase Polymerase Chain Reaction*, communément appelé PCR est un des systèmes de dépistage possible du coronavirus. Le diagnostic par PCR est considéré comme le test de référence (*gold standard*) pour la maladie à coronavirus 2019 [32].

Le prélèvement nasopharyngé pour ce test est réalisé par un soignant. Il est effectué à l'aide d'un écouvillon stérile emballé individuellement. Ensuite, l'écouvillon est plongé dans un tube contenant une solution tampon utilisée pour la conservation et le transport des échantillons. Ce tube est ensuite identifié, la plupart du temps avec des étiquettes à code-barre. La personne ayant effectué le prélèvement y joint également deux feuilles pour la demande d'analyse et l'identification. Enfin le tout est emballé dans un sachet à zip en plastique à destination du laboratoire.

Le transport du centre de prélèvement au laboratoire peut être aussi varié qu'il existe de moyens de transport. Dans le cas du canton de Vaud, la majorité des transports par coursiers des échantillons étaient réalisés par voiture. Néanmoins, d'autres options coexistent, telles que le transport à pied, en vélo ou en train.

Une fois que le laboratoire a réceptionné l'échantillon à tester, ce dernier peut être analysé par PCR, une méthode de biologie moléculaire permettant l'amplification spécifique de l'ADN in vitro par des réactions biochimiques.

Le génome du SARS-Cov-2 étant une molécule d'ARN, on procède à une rétrotranscription en ADN complémentaire préalable à l'analyse PCR, d'où le terme RT-PCR. Ensuite cet ADN complémentaire sera amplifié.

A partir de là, le cycle de PCR se décompose en trois étapes. La première étant la dénaturation qui permet la séparation des deux brins d'ADN complémentaire. S'ensuit l'étape d'hybridation durant laquelle des amorces, courtes séquences d'ADN, se fixent spécifiquement à l'ADN à amplifier. Enfin intervient l'élongation, où une enzyme vient synthétiser le brin complémentaire en utilisant les désoxyribonucléotides.

Le cycle est ainsi répété jusqu'à l'obtention d'une quantité suffisante pour la détection du Covid-19. Ces étapes sont opérées par un appareil automatisé appelé thermocycleur [29]. Les résultats sont automatiquement transférés à un ordinateur portable dédié, connecté directement à la machine.

Le processus donne un résultat en quelques heures, parfois jusqu'à 24h. Il est utilisé en Suisse depuis le début de la pandémie [58].

Si le principe reste le même, l'analyse PCR se décline en plusieurs options d'analyse dont les protocoles divergent légèrement. Dans le cadre de cette étude, le test PCR rapide se référera à l'analyse individuelle d'un échantillon tandis que le test PCR standard représentera les tests de lots de 8 ou 96 échantillons. Les procédures décrites aux sections 4.1.1 et 4.1.2 sont celles qui ont pu être observées au laboratoire de microbiologie de l'hôpital d'Yverdon-les-Bains.

#### 4.1.1 Test PCR rapide

Pour un test PCR rapide, il n'est pas nécessaire de faire un aliquotage. L'échantillon à analyser est extrait directement du tube de collecte contenant la solution tampon avec une pipette pasteur en plastique de 80 [ $\mu$ L]. L'échantillon ainsi prélevé est déposé dans une cartouche GeneXpert à usage unique pré-remplie avec le liquide réactif.

Le thermocycleur présenté est un système GeneXpert, de la marque Cepheid, qui exécute des tests PCR sur quatre modules. Cette analyse, réalisée pour un seul échantillon, dure environ 50 minutes.

### 4.1.2 Test PCR standard

Le prélèvement de l'échantillon est réalisé à l'aide d'une pipette pasteur de 1 [mL]. Il est ensuite aliquoté dans un tube Eppendorf de 15 [mL]. Dans ce tube, on prélève l'échantillon avec une pipette réglable équipée d'une pointe à usage unique pour le déposer dans un des puits du disque de 8 ou 96 puits. Le réactif est prélevé de la même façon et ajouté dans le même puit que l'échantillon. Dans le cas d'une cassette de 8 puits, un flacon de réactif est nécessaire par test, pour une cassette de 96 puits, on utilisera un flacon pour 50 tests. Un autre point de divergence réside dans le fait qu'une cassette de 8 puits peut être réutilisée si tous les puits n'étaient pas remplis lors de l'analyse, ce qui n'est pas possible avec une cassette de 96 puits.

Enfin, la cassette ainsi remplie est insérée dans le thermocycleur Liaison-MDX de la marque DiaSorin, pour une durée de 70 minutes.

## 4.2 Tests antigéniques rapides

Les tests antigéniques rapides (TAR) sont une plateforme analytique simple, rapide et portable, basés sur la recherche d'antigène, d'où leur nom [3].

Il s'agit d'une alternative intéressante aux tests PCR qui sont coûteux, longs et nécessitent des opérateurs professionnels hautement qualifiés. Cependant, ils présentent le désavantage d'être moins sensibles dans la détection du SARS-Cov-2 [22].

Les premiers tests de ce type apparaissent dans les années 1980 et depuis des milliers de TAR ont été utilisés dans la détection de diverses maladies et autres agents pathogènes ou toxines [66]. Leur utilisation est autorisée en Suisse à partir du début du mois de novembre 2020 [58].

Dans le cas du diagnostic du coronavirus 2019, il s'agit d'effectuer un prélèvement nasopharyngé sur le patient à tester à l'aide d'un écouvillon. Ce dernier est ensuite plongé dans une solution tampon afin d'en extraire l'échantillon. La solution résultante est ensuite introduite dans la cassette de test [47].

La cassette de test contient une bandelette comme présenté à la figure 4.1.

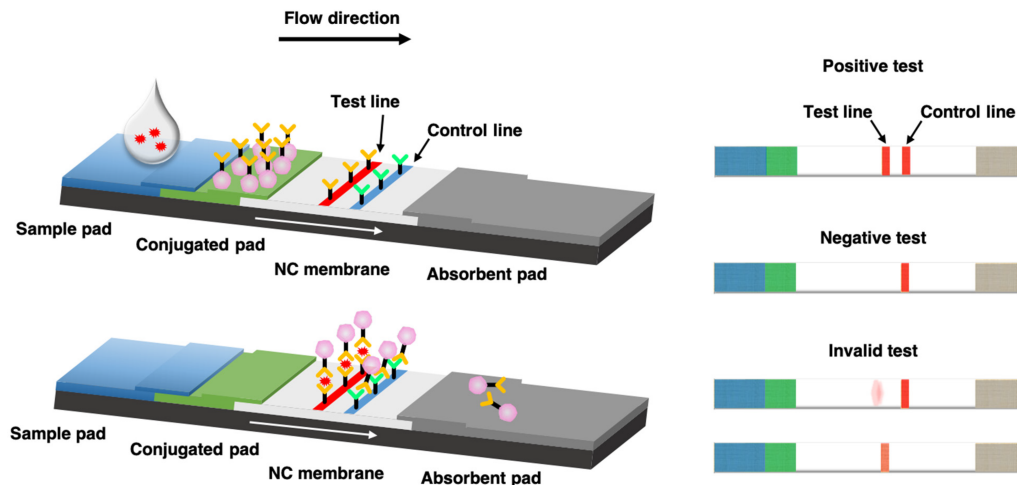


FIGURE 4.1 – Illustration schématique d'un test antigénique rapide. Source : Hsiao et al., 2021 [22]

La détection des anticorps repose sur l'interaction anticorps-antigènes.

L'échantillon déposé sur le tampon d'échantillonnage est transporté à travers les différentes zones de la bandelette par capillarité [22].

Le tampon conjugué contient un réactif de détection conjugué, constitué d'anticorps spécifiques à l'antigène à détecter et d'un réactif coloré.

Ensuite, le complexe atteint la membrane de nitrocellulose. Des anticorps spécifiques composent la ligne de test. En présence de l'antigène, le complexe de l'antigène et du conjugué sont retenus sur la ligne et colorés, l'échantillon est alors positif. En l'absence de coloration de la ligne, l'échantillon est négatif.

Une ligne de contrôle est également présente sur la membrane de nitrocellulose, après la ligne de test. Cette ligne contient un anticorps non-spécifique à l'échantillon analysé, mais qui se lie aux particules colorées. Cette ligne permet de confirmer le transport de l'échantillon à analyser à travers toute la bande et notamment à travers la ligne de test.

Ainsi, la lecture du résultats peut être faite directement par l'utilisateur, dans un délai de 15 minutes [32].

Les tests antigéniques seront différenciés en deux catégories, selon qu'ils sont réalisés par le patient lui-même ou par le corps médical.

Dans le premier cas, il s'agira d'un autotest (abrégé AT) et dans le second, d'un test antigénique rapide (abrégé TAR).

## 5 Résultats

Les données collectées et la méthode d'analyse ACV ont été utilisées pour révéler l'impact environnemental des systèmes de dépistage du Covid-19 selon différents scénarios dont les résultats sont présentés ci après.

### 5.1 Impact environnemental selon le contexte épidémiologique

#### 5.1.1 Autotest

Les impacts totaux en équivalent CO<sub>2</sub> des différents autotests de dépistage du Covid-19 sont présentés dans la figure 5.1. La figure 5.2 présente l'empreinte, en équivalent CO<sub>2</sub> des différents éléments constitutifs d'un autotest.

L'autotest dont l'impact est le plus important est celui de la marque Roche (1A) atteignant les 0.162 [kgCO<sub>2</sub>eq/UF], son impact est 37 à 68 [%] plus élevé que ces concurrents. La différence observée est en grande partie due à l'aluminium. Dans la figure 5.2, on constate que les différents éléments du tests ont des impacts de même ordre de grandeur, à l'exception de l'aluminium dont l'impact est plus que doublé pour le test Roche.

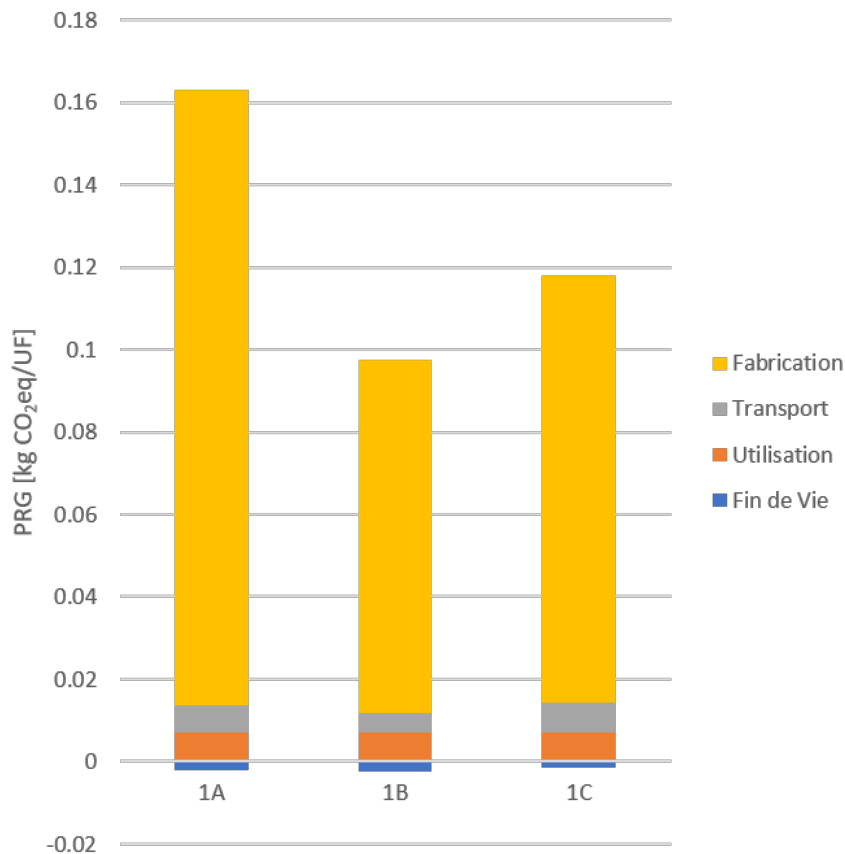


FIGURE 5.1 – Empreinte carbone totale en PRG [kgCO<sub>2</sub>eq/UF] pour différents autotests, détaillée selon les étapes du cycle de vie



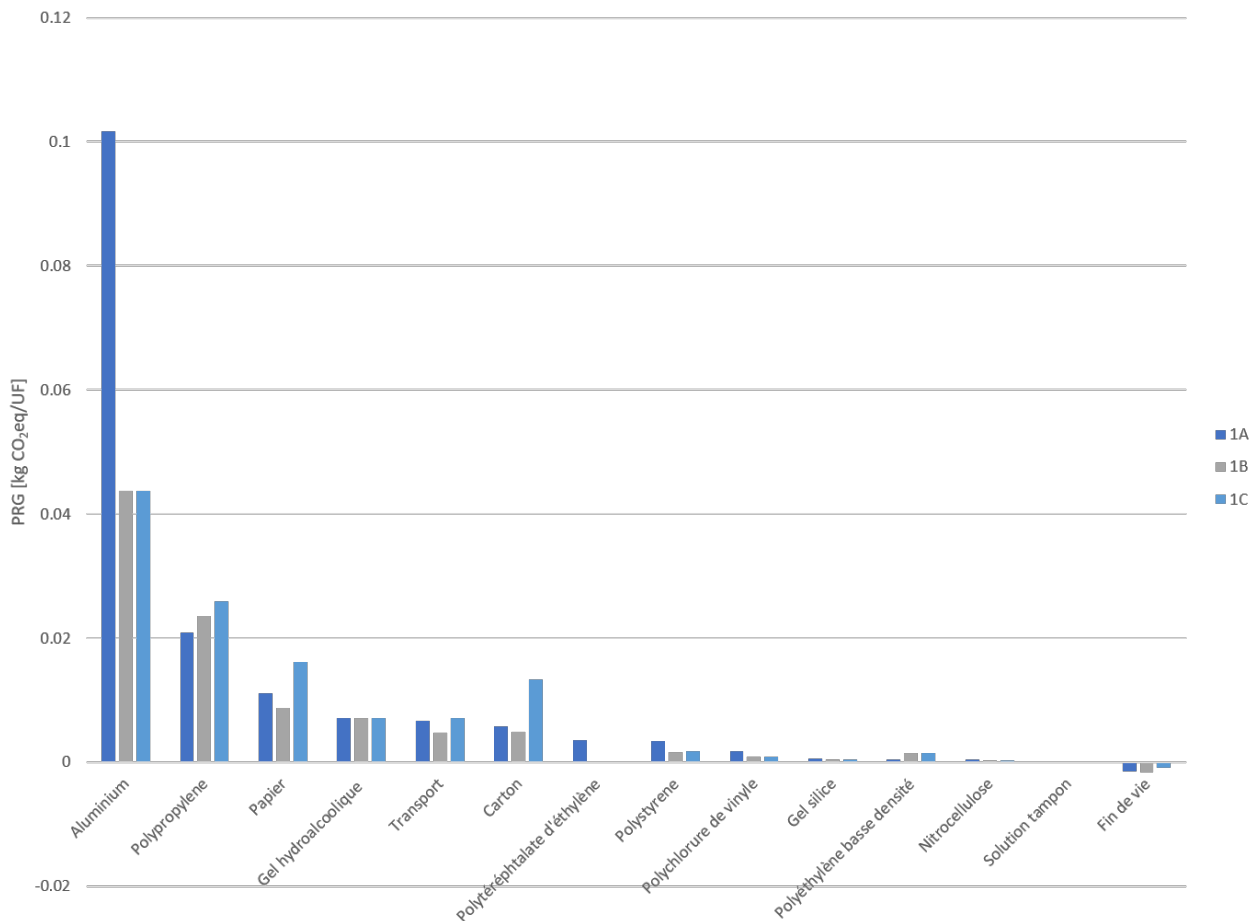


FIGURE 5.2 – Contribution des éléments constitutifs à l'impact des différents autotests, en PRG [kgCO<sub>2</sub>eq/UF]

Scénario	Impact environnemental kg CO <sub>2</sub> eq/UF
1A	0.162
1B	0.096
1C	0.112

TABLE 10 – Empreinte carbone en PRG [kgCO<sub>2</sub>eq/UF] pour différents autotests

### 5.1.2 Test antigénique rapide

Suivant le même format que les autotests, les résultats sont présentés en potentiel de réchauffement global [kgCO<sub>2</sub>eq/UF] selon les étapes du cycle de vie à la figure 5.3 et de manière détaillée selon les processus élémentaires à la figure 5.4.

L'histogramme représente les valeurs moyennes d'impact, correspondant au test de 5 personnes par heure et par soignant. L'incertitude liée aux équipements de protection individuelle (EPI) des soignants est représentée par la barre d'erreur. Cette dernière met en évidence l'amplitude possible de l'impact final pour une variation de 1 à 10 patients.

L'impact total varie de 0.206 à 0.329 [kgCO<sub>2</sub>eq/UF] selon les scénarios, soit 60 [%] de plus que le meilleur cas.

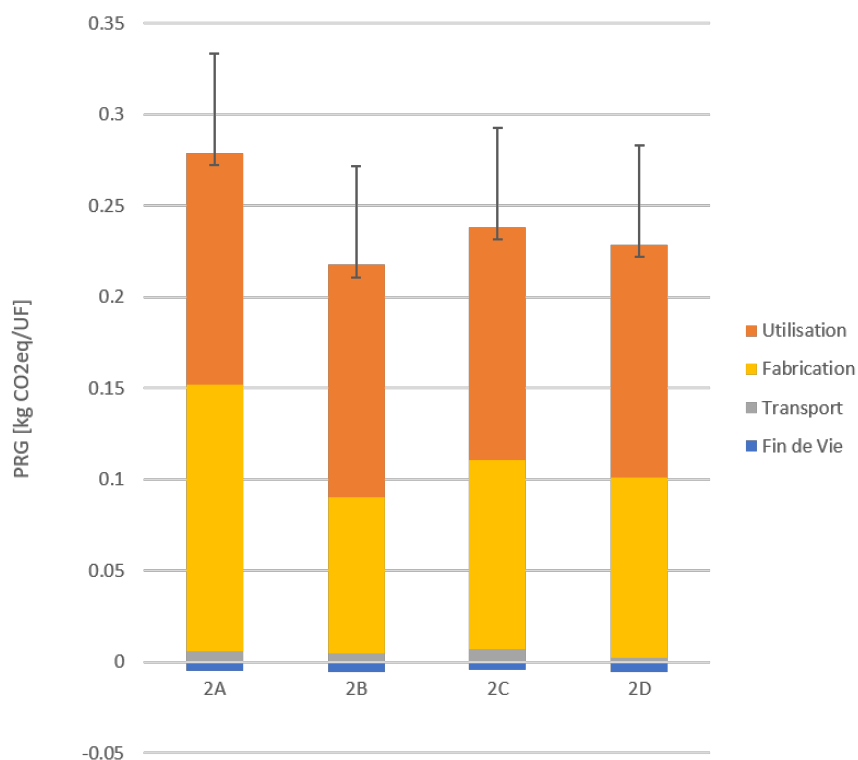


FIGURE 5.3 – Empreinte carbone totale en PRG [kgCO<sub>2</sub>eq/UF] pour différents autotests détaillée selon les étapes du cycle de vie.

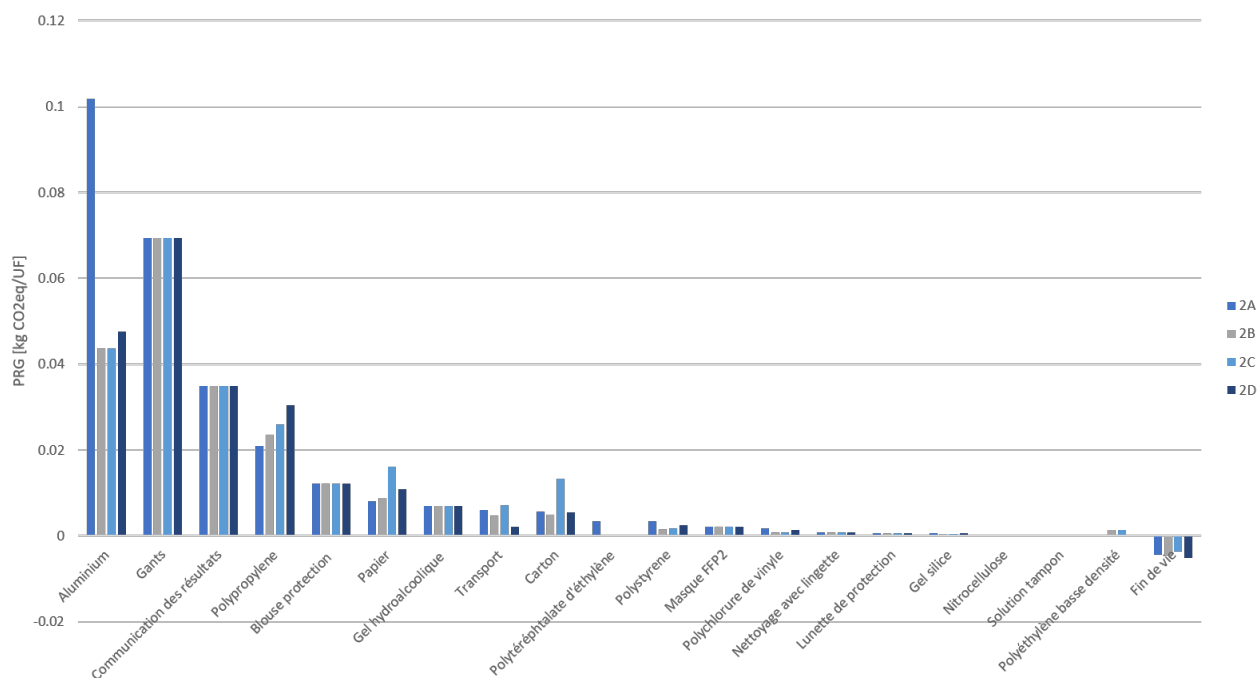


FIGURE 5.4 – Contribution des éléments constitutifs à l'impact des différents tests antigénique rapide, en PRG [kgCO<sub>2</sub>eq/UF]

Scenario	Impact environnemental [kg CO <sub>2</sub> eq]		
	Creux	Modérée	Pic
2A	0.329	0.275	0.268
2B	0.267	0.213	0.206
2C	0.289	0.235	0.228
2D	0.278	0.223	0.217

TABLE 11 – *Empreinte carbone en PRG [kgCO<sub>2</sub>eq/UF] pour différents autotests en fonction de la situation épidémique locale.*

### 5.1.3 Test PCR

L'impact total du test PCR seul est présenté à la figure 5.5, selon les différentes étapes du cycle de vie. L'histogramme représente les valeurs moyennes d'impact, correspondant au test de 5 personnes par heure et par soignant. L'incertitude liée aux équipements de protection individuelle (EPI) des soignants est représentée par la barre d'erreur. Cette dernière met en évidence l'amplitude possible de l'impact final pour une variation de 1 à 10 patients.

Le détail des différents éléments constitutifs et de leur contribution est disponible à la figure 5.6.

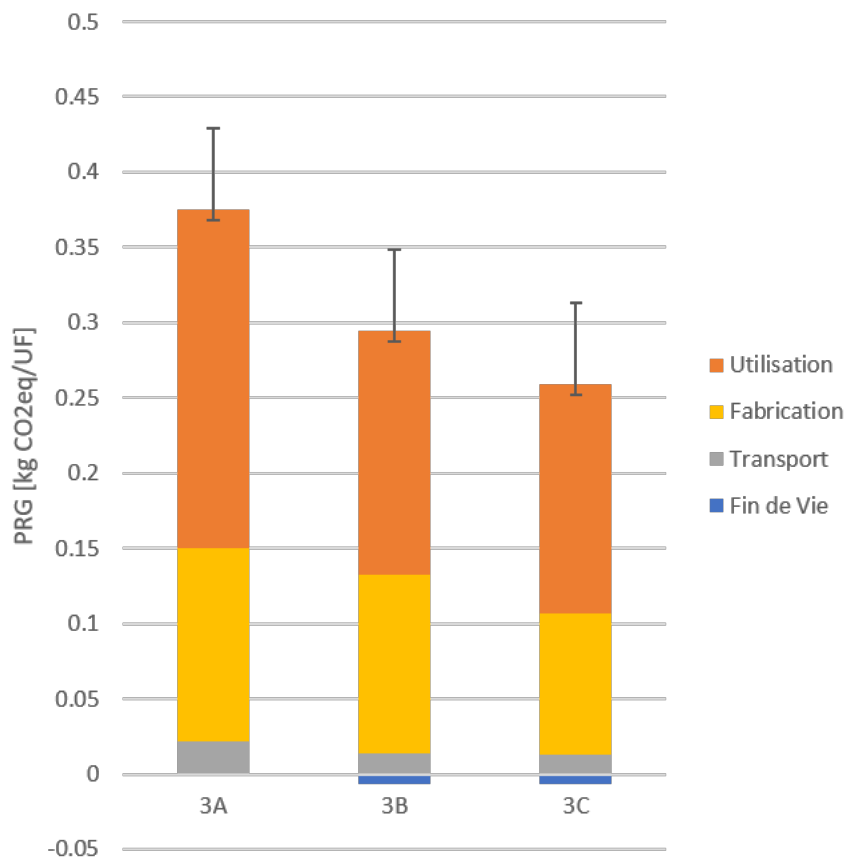


FIGURE 5.5 – *Empreinte carbone totale en PRG [kgCO<sub>2</sub>eq/UF] pour différents PCR détaillée selon les étapes du cycle de vie.*

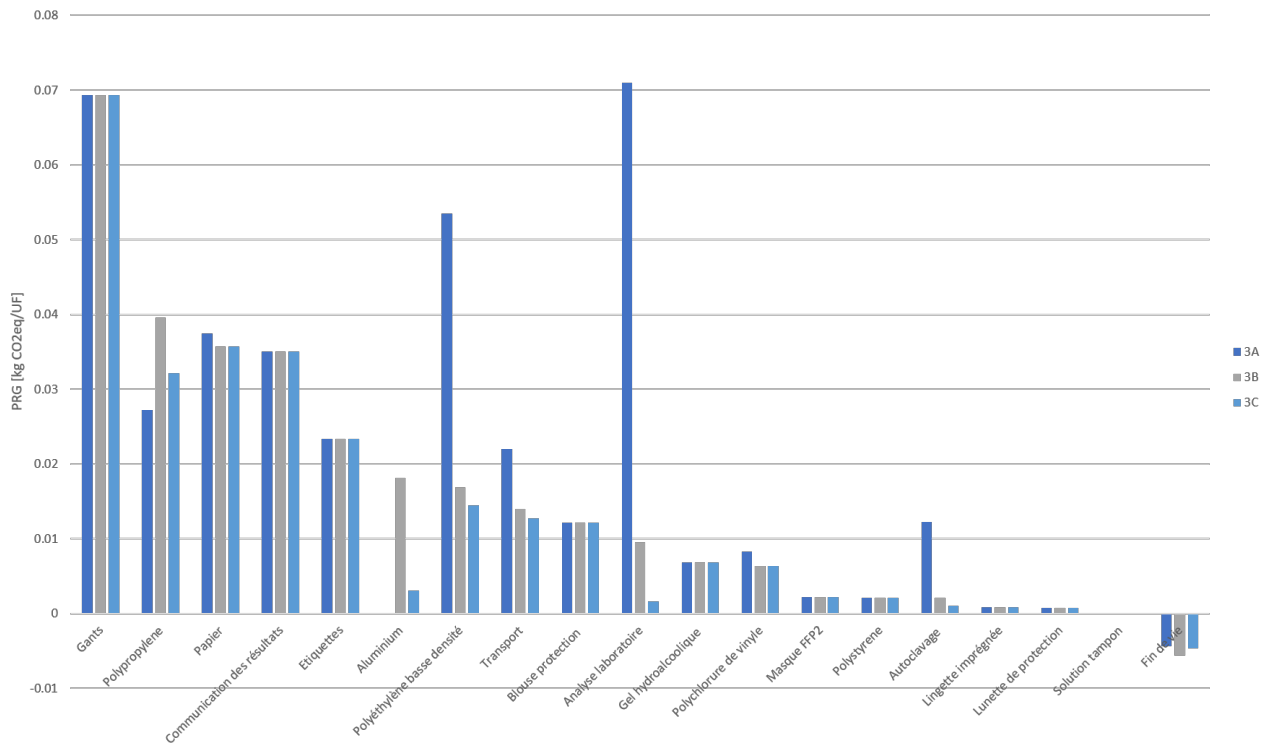


FIGURE 5.6 – Contribution des éléments constitutifs à l’impact des différents tests PCR rapide, en PRG [kgCO<sub>2</sub>eq/UF]

L’impact d’une analyse PCR est presque doublée entre le meilleur et le pire cas. Cette différence est principalement due au choix d’un test individuel ou groupé. En effet, selon le contexte épidémique, l’impact varie de 16 à 24 %, tandis qu’entre l’analyse individuelle ou groupée la variation est de 40 à 50%.

Scenario	Impact environnemental [kg CO <sub>2</sub> eq]		
	Creux	Modérée	Pic
3A	0.434	0.380	0.373
3B	0.343	0.289	0.282
3C	0.309	0.255	0.248

TABLE 12 – Empreinte carbone en PRG [kgCO<sub>2</sub>eq/UF] pour différents tests PCR en fonction de la situation épidémique locale.

#### 5.1.4 Comparaison

Sans prendre en compte le transport de l’échantillon jusqu’au laboratoire, les tests PCR ont un impact plus importants que les autres systèmes de tests.

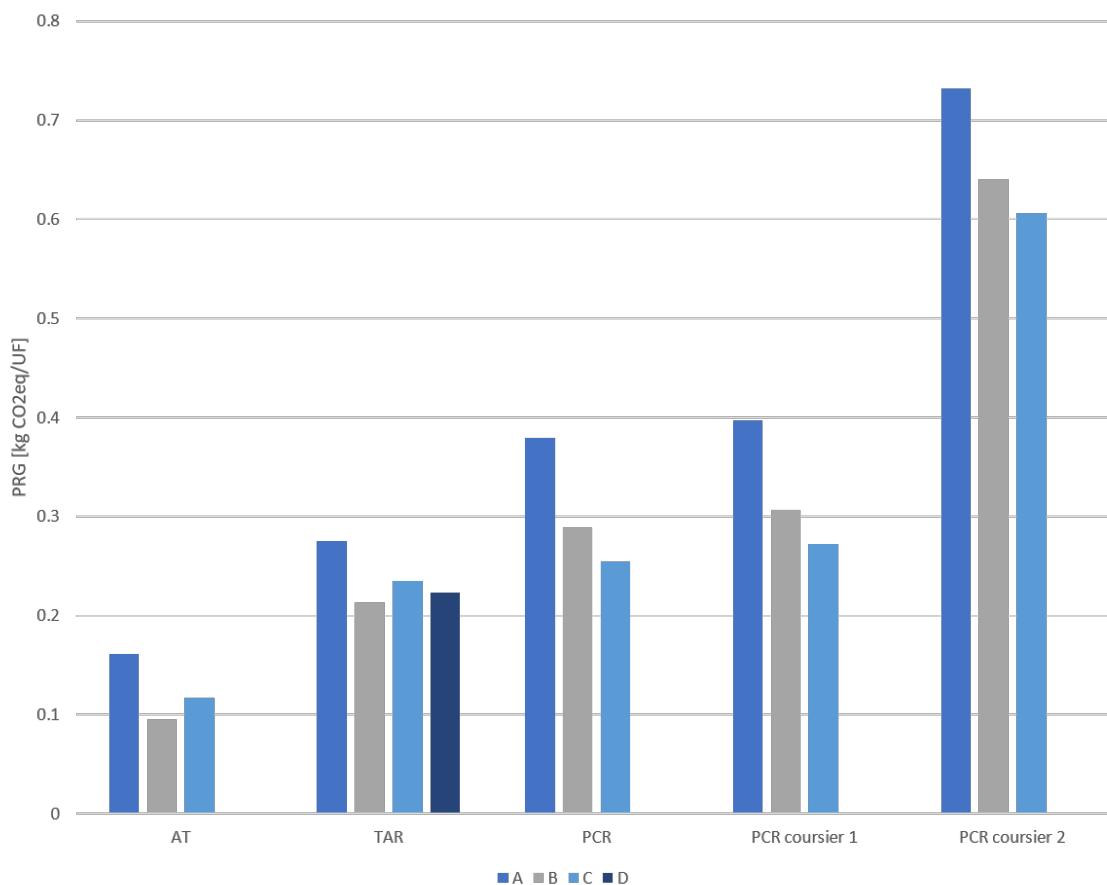


FIGURE 5.7 – *Comparaison de l'impact des différents systèmes de dépistage en PRG [kgCO<sub>2</sub>eq/UF]*

Lorsque le transport de l'échantillon est introduit dans le calcul d'impact, une légère augmentation est observée pour le scénario optimiste d'un coursier en temps de pic pandémique et en zone urbaine de l'ordre de 4 à 7 %.

Dès lors que le scénario de transport est médian - et ne relève plus d'une situation idéale - l'impact total augmente de 84 à 122%.

Enfin, considérant le pire cas d'un test urgent voyageant seul sur une longue distance, l'impact total est de 24 à 30 fois supérieur que l'impact du test seul sans transport. Le résultat n'a pas été inclus dans le graphique pour des raisons de lisibilité.

Les différents impacts sont résumés dans la table 13.

Type de tests	Type de courses	Scénarios			
		A	B	C	D
AT	-	0.16	0.10	0.12	-
TAR	-	0.27	0.21	0.23	0.22
PCR	-	0.38	0.29	0.25	-
PCR	course 1	0.40	0.31	0.27	-
PCR	course 2	0.73	0.64	0.61	-
PCR	course 3	17.97	17.88	17.84	-

TABLE 13 – *Comparaison de l'impact des différents systèmes de dépistage en PRG [kgCO<sub>2</sub>eq/UF]*

## 5.2 Impact environnemental de la détection d'un vrai cas positif

L'impact des autotests, même corrigé par la sensibilité, reste très avantageux par rapport aux autres tests en atteignant tout juste les 0.3 [kgCO<sub>2</sub>eq/UF].

On peut remarquer que l'impact du test antigénique Roche dépasse les PCR standard sans coursier. Il est cependant à rappeler qu'il s'agit du test antigénique rapide le moins avantageux et des tests PCR les plus favorables, qui même s'ils existent, ne sont pas nécessairement représentatif de la situation majoritaire dans le canton de Vaud.

Type de test	Sensibilité [%]	Nb tests/VP	Impact corrigé [kgCO <sub>2</sub> eq/UF]			
			A	B	C	D
AT	78.4	1.28	0.206	0.122	0.149	-
TAR	85.4	1.17	0.322	0.250	0.275	0.262
PCR	97.2	1.029	0.391	0.297	0.262	-
PCR course 1	97.2	1.029	0.409	0.316	0.280	-
PCR course 2	97.2	1.029	0.753	0.659	0.624	-
PCR course 3	97.2	1.029	18.487	18.394	18.359	-

TABLE 14 – Sensibilité et nombre de tests nécessaires à la détection d'un vrai cas positif

Les résultats numériques de la table 14 sont représentés à la figure 5.8.

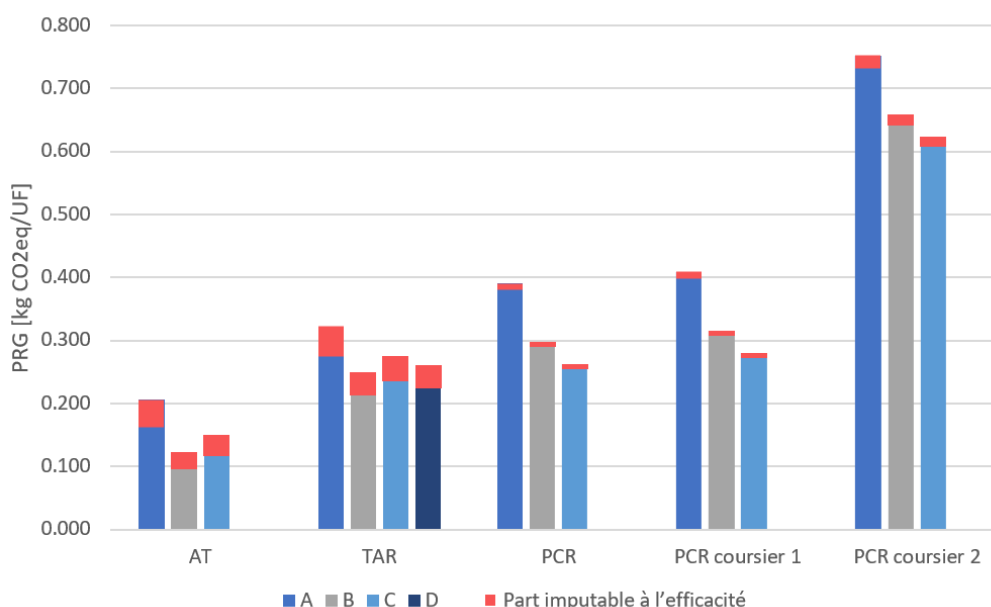


FIGURE 5.8 – Comparaison de l'impact des différents systèmes de dépistage en [kgCO<sub>2</sub>eq/UF], en incluant l'efficacité

### 5.3 Coût environnemental de la détection d'un vrai cas positif selon le contexte épidémique

Les résultats mis en avant dans la table 15 reflètent deux situations extrêmes. Dans le cas du pic pandémique, avec une forte proportion de test positif, il suffit de 1.83 tests pour détecter un cas positif tandis que dans l'autre cas, moins favorable, ce n'est pas moins de 2324 tests qui sont nécessaire à la détection d'un patient infecté.

Les différences observées sont largement imputables au rendement du testing.

L'impact pour la détection d'un cas positif en cas de faible transmission du virus est de loin plus préjudiciable avec des impacts allant de 395 à 588 kgCO<sub>2</sub>eq. Ce scénario est environ 700 fois plus coûteux que le scénario optimiste.

Scénario	Creux	Pic
TAR + PCR	395.88	0.55
TAR + PCR - course 4	417.23	0.57
TAR + PCR - course 5	588.05	0.84

TABLE 15 – *Impact de la détection d'un vrai positif en  $[kgCO_2eq]$  selon deux scénarios extrêmes*

## 6 Discussion

Conformément à l'intuition développée, les résultats suggèrent que l'autotest consiste en le système de dépistage le plus favorable, suivi du test antigénique rapide, et enfin du PCR. En effet, quand bien même l'autotest et le test antigénique rapide se caractérisent par le même dispositif, le TAR nécessite également la prise en compte de l'équipement de protection du personnel médical réalisant le frottis. Alors que les autotests ont pour avantage de présenter un faible impact écologique, leur utilisation suscite de nombreuses critiques, puisque certains médecins mettent en cause le coût économique de leur mise à disposition - 1 milliard de francs - pour un résultat dont la marge d'erreur est non négligeable. En effet, si l'autodépistage présente une sensibilité légèrement inférieure à au test antigénique rapide, du fait de l'utilisateur inexpérimenté, le coeur du problème n'en demeure pas moins qu'un autotest positif doit être confirmé par un test effectué par un professionnel. De plus, alors que l'interprétation n'est pas toujours aisée pour les utilisateurs, la communication se doit néanmoins d'être claire et explicite, afin de retirer le meilleur bénéfice de ces tests.

En dépit de ces observations, l'OMS a réaffirmé ses positions en date du 22 mars 2022, insistant sur l'intérêt communautaire de l'autodépistage en supplément des service de tests pratiqués par des professionnels [50] .

De plus, selon l'étude RaDiCo menée par Unisanté, les usagers sont également satisfaits d'avoir un résultat rapide, pouvant ainsi mieux s'organiser [58].

La disparité observée dans les résultats, variant de plus de 68 [%] entre le test le plus avantageux et le moins favorable, est essentiellement due à la fraction d'aluminium présente dans ledit test. Ce résultat illustre l'importance de la composition d'un test au regard de son impact. En effet, il peut être observé que la fabrication domine largement l'impact total du produit. Ce constat met également en lumière les enjeux liés à l'écoconception du dispositif, au sujet duquel certains fabricants - tels que AllTest et Beright - font déjà l'effort de limiter les emballages en aluminium, ou encore de réduire la taille de l'écouvillon.

Également consciente de cet enjeu, l'agence de design Morrama a conçu un test Covid-19 biodégradable et entièrement recyclable - jusqu'à son emballage - qui pourrait éliminer une source courante de déchets plastiques [4]. Si le test, appelé ECO-FLO, demeure pour l'heure un concept, cette piste de réflexion n'en demeure pas moins aller dans le bon sens. Fabriqué à partir de pâte à papier et doté d'un sachet en film biodégradable, La technologie de détection appelée "Parallel Amplified Saliva rapid POint-of-caRe Test" (PASPORT) diffère d'un test à flux latéral, et permet de s'affranchir du plastique de l'écouvillon ou de la solution tampon. Finalement, toutes les instructions sont imprimées directement sur le test, rendant inutile l'ajout de brochure supplémentaire.

D'autres efforts se concrétisent, le gouvernement britannique a travaillé avec les fabricants pour apporter des changements - écouvillons raccourcis et boîtiers en plastique rétrécis. Pour aller plus loin, Morris et Haworth recommandent de supprimer le sac à déchets, d'ajouter plus de tests dans un emballage et d'emballer les bandelettes de test dans une seule pochette en aluminium [40]. Une autre possibilité serait de repenser la conception du test dans sa globalité en proposant des boîtiers réutilisables où sont placés les bandes de tests à usage unique.

Les tests antigéniques rapides représentent une alternative intéressante, que ce soit au regard des coûts environnementaux ou économiques. Ils fournissent, de surcroît, une sensibilité satisfaisante pour la détection des patients positifs au SARS-Cov-2. Les résultats rapides permettent une identification efficace des cas positifs, conduisant à l'isolement de la majorité des personnes contagieuses [61]. En effet, ces tests étant particulièrement efficaces sur les personnes contagieuses, une sensibilité diminuant avec la contagiosité pourrait avoir un caractère avantageux, évitant l'isolement inutile.

Les variations entre les différents tests antigéniques sont moins importantes que pour les autotests de même marque avec une différence en terme d'impact de 29 [%] entre le plus et le moins favorable. Cette atténuation des disparités s'explique par l'augmentation de la part due à l'utilisation qui vient lisser les différences liées à la fabrication. En effet, la phase d'utilisation représente 46 à 60 [%] de



l'impact total. De plus, si l'impact de l'aluminium demeure conséquent, ce résultat est avant tout la conséquence de l'utilisation de gants, ou encore de la communication des résultats par email. Ces impacts représentent respectivement 25 à 35 [%] et 13 à 16[%] du total, selon le test considéré.

Une réduction de l'empreinte pourrait être opérée en améliorant le protocole consistant à changer de gants lors de chaque prélèvement. Cette option relèverait toutefois d'une décision médicale, cet équipement impliquant directement la protection individuel du personnel soignant. Concernant la communication des résultats, un simple mail, sans pièce jointe, émet près de 10 fois moins de CO<sub>2</sub> qu'un mail avec pièce jointe, soit seulement 0.004 kgCO<sub>2</sub>eq par envoi [1]. Si aucun certificat n'est requis, le mail sans pièce jointe, énonçant le résultat textuellement, pourrait suffire. Cette économie permettrait une réduction de l'ordre de 11 à 14 [%] de l'impact total, selon le dispositif d'intérêt. Au 18 juillet 2022, ce ne sont pas moins de 601'494 tests antigéniques qui ont été réalisés depuis le début de la pandémie sur le seul canton de Vaud. Si un geste aussi simple que le retrait de la pièce jointe avait été pratiqué pour tous ces tests, ce seraient plus de 18 tonnes de CO<sub>2</sub>eq qui auraient ainsi été économisées soit plus de 32 vols individuels reliant Paris à New-York, valeur obtenue en considérant un impact de transport aérien de 0.098 kgCO<sub>2</sub>eq/km\*personne [68].

Les tests PCR, quand bien même effectués dans des conditions optimales, n'en conservent pas moins un impact plus important que les autres dispositifs. Ils sont de surcroît plus chers et plus chronophages. De plus, s'ils présentent une sensibilité élevée, celle-ci s'avère être à double tranchant. En effet, comme mentionné ci-dessus, cette dernière peut par exemple entraîner l'isolement inutile d'un patient non contagieux pendant plusieurs des semaines [38].

La raison d'une sensibilité plus élevée lors d'un test PCR s'explique par le nombre de cycles d'amplification effectués. Ces cycles sont inversement liés à la charge virale. Un nombre plus élevée de cycles rendra le test davantage sensible, rendant ainsi possible la détection du virus longtemps après l'exposition [54]. A cet égard, il convient toutefois de mentionner que cette considération n'entre pas en compte dans le cadre de cette étude. En effet, la contribution de l'utilisation du thermocycleur variant de 0.12 à 0.62 [%] du total, le nombre de cycles effectués n'a pas d'impact significatif sur l'empreinte finale.

Bien que le scénario du transport à pied ou à vélo existe, il demeure néanmoins marginal et représente le cas le plus favorable. Dès lors que l'impact de la course est pris en compte, les scores d'impacts augmentent drastiquement, tout particulièrement dans le cas où le scénario de course n'est pas idéal, dépassant ainsi largement les autres systèmes de dépistage. De plus, s'il convient de garder à l'esprit que ces scénarios demeurent fictifs par manque de données exactes, ils tendent néanmoins à se rapprocher de situation existantes qui ont été rapportées. Afin d'agir sur cet impact, deux solutions se dessinent. La première consisterait en la réduction de la distance parcourue, en agissant par exemple sur la position des centres de test. Cette alternative semble toutefois insuffisante puisqu'elle contraindrait les patients à davantage se déplacer, augmentant les impacts individuels. De plus, il convient également de mentionner que ce nouvel impact ne pourrait être quantifié, puisqu'il se trouverait en dehors des frontières du systèmes. A contrario la seconde option, qui consisterait en une optimisation des transports, paraît plus efficiente. Cette technique est d'ailleurs déjà implémentée par plusieurs laboratoires, ces derniers collectant les prélèvements pour les tests PCR avec d'autres échantillons, mais aussi sous traitant avec la poste ou diverses entreprises ferroviaires, permettant ainsi de diminuer l'impact du processus.

La correction de l'impact total avec la sensibilité permet de comparer les tests en quantité, mais également en qualité. L'utilisation de la sensibilité s'avère pertinente pour quantifier l'habileté d'un test à détecter un vrai cas positif. Par ailleurs, considérant la propension des tests PCR à générer des faux positifs, cette métrique pourrait être intéressante à explorer. L'impact se concentrerait dès lors davantage sur les aspects sociaux et économiques d'un isolement non nécessaire. Finalement, cet impact corrigé permet également de définir le coût de la détection d'un cas positif, selon deux scénarios observés dans le canton de Vaud.

Si l'impact unitaire d'un test se révèle être faible, le nombre considérable de prélèvements effectués en Suisse n'en rend pas moins l'impact total significatif. En Suisse, depuis le début de la pandémie, ce ne sont en effet pas moins de 16.3 millions de tests PCR et 5.4 millions de tests antigéniques qui ont été réalisés, soit un impact total de 6'643 [tCO<sub>2</sub>eq], valeur correspondant aux émissions annuelles de CO<sub>2</sub> de 474 personnes vivant en Suisse [43] [47].

Ce propos est à nuancer au regard des émissions du système de santé suisse. En 2021, ce sont 2.9 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> qui lui sont directement imputable. Sur cette même année, l'impact total des tests est de 3'328 [tCO<sub>2</sub>eq] ce qui représente 0.1 [%] de l'impact du système de santé. Ce coût environnemental apparaît immédiatement plus raisonnable [43] [47] [28].

S'il est important de garder à l'esprit que les scénarios exposés sont illustratifs et représentent des situations extrêmes, il n'en demeure pas moins que ces résultats illustrent parfaitement la loi des rendements décroissants appliqués au testing, présentée dans l'article "*Crise du Covid-19 : le testing et la vaccination à l'aune des rendements décroissants*" de D'Acemont et al. 2020 [19].

La loi des rendements décroissants postule que, en présence de même apports supplémentaires, les rendements diminuent à partir d'un certain point. A l'extrême, les rendements peuvent ainsi devenir négatifs, diminuant les bénéfiques en dépit d'une augmentation des apports. Du fait de la stratégie de dépistage de masse appliquée, le dépistage du Covid-19 a notamment suivi cette trajectoire.

Trois types de rendements décroissants existent : l'intensification, l'extension et la dégradation [19]. L'intensification se traduit par l'augmentation globale de l'offre et de l'accès au testing. Plus l'offre est grande, plus le seuil de la population pour décider de se faire tester diminue et par la même occasion la probabilité d'obtenir un résultat positif. En décentralisant l'accès au testing -pharmacie, maison,...-, on augmente la fréquence à laquelle les gens vont vouloir se tester. L'extension à des critères cliniques plus larges, et donc moins spécifiques au Covid-19, ainsi que l'ouverture puis l'imposition du dépistage de masse, ont quant à elles fait diminuer le taux de positivité du testing, augmentant ainsi le nombre de tests nécessaires à la détection d'un cas positif. La dégradation, reposant sur des caractéristiques intrinsèques au virus et non au système de dépistage, ne sera pas abordée ici. Les résultats de l'étude viennent étayer la loi des rendements décroissants dans le cas de l'élargissement du public testé.

Finalement, la question du bénéfice sanitaire de la détection d'un cas à de tels coûts peut également se poser dans un contexte d'augmentation des coûts. En effet, il convient de garder en mémoire que chaque 4.434 tonnes supplémentaires de CO<sub>2</sub> émis dans l'atmosphère cause un décès dans le monde. Ainsi, la détection d'une dizaine de cas positifs dans ce contexte de rendements décroissants équivaldrait à des émissions allant de 3959 à 5881 [tCO<sub>2</sub>eq], pouvant entraîner le décès prématuré d'un individu. La lecture de ce constat opposant efficacité sanitaire et impact environnemental des décisions de santé publique permet de soulever plusieurs questions : Quel est le bénéfice sanitaire et épidémique ? Quel est l'impact de ces dépistages sur la transmission du virus dans un contexte de faible contamination ? Combien de cas supplémentaires sont identifiés au moyen de ces mesures ? Quelle est l'incidence sur la mortalité ?

Bien que ces considérations sortent du cadre de cette étude, cette dernière n'en conserve pas moins pour objectif de proposer un outil d'aide à la décision, en quantifiant les impacts des tests de dépistage du Covid-19. Ces conclusions ne doivent cependant pas moins permettre la mise en lumière de la faisabilité de l'intégration d'indicateurs environnementaux dans les mesures de contrôle de la pandémie de Covid-19.

Dans un contexte écologique délicat où deux nouvelles limites planétaires ont été dépassées début 2022, la prise en compte du coût environnemental est en effet aujourd'hui plus que jamais essentielle [2].

## 7 Conclusion

Ce travail de master s'est attelé à évaluer l'impact environnemental des tests de dépistage du Covid-19. A cet effet, la méthodologie suivante a été appliquée. Dans un premier lieu, une recherche bibliographique a été effectuée, permettant de comprendre les enjeux écologiques et de santé publique, d'identifier les dispositifs de dépistage existants, et d'effectuer un pré-inventaire de cycle de vie. Une fois cette première étape achevée, les entretiens et visites nécessaires ont été planifiés afin d'enrichir la collecte de données. Des hypothèses ont été formulées et des scénarios créés, palliant ainsi au manque d'informations relatives à certains constituants. Fort de ces jeux de données, l'impact environnemental a ensuite pu être évalué selon la méthode *Environmental Footprint v3.0* et en termes d'équivalent CO<sub>2</sub>.

Les résultats obtenus seront présentés selon deux contextes épidémiques, le premier avec une forte circulation du virus, alors que le second - a contrario - correspondra à un scénario avec peu de contaminations. En effet, le nombre de tests quotidiens influence l'allocation des équipements de protection des soignants, ainsi que l'impact du transport de l'échantillon pour la PCR. Finalement, l'impact d'un test sera corrigé en fonction de sa sensibilité, dans le but de comparer les dispositifs en terme de quantités mais également de qualité. Fort de cet impact, le coût environnemental de la détection d'un vrai cas positif de Covid-19 pourra ainsi être évalué et discuté, selon deux contextes épidémiques extrêmes, relevés dans le canton de Vaud.

Les résultats obtenus sont conformes à l'intuition développée. Les différents tests étudiés se classent de la manière suivante, par ordre croissant d'impact : l'autotest, suivi du test antigénique, et finalement le PCR. Plus favorable sur le papier, l'impact environnemental de l'autotest se doit toutefois d'être pondéré. En effet, en plus d'une importante marge d'erreur, la lecture d'un résultat positif se doit d'être reconfirmée par un second test effectué par un professionnel. Dotés de plus faibles variations, les tests antigéniques ont quant à eux pour avantage de présenter une sensibilité satisfaisante lors de la détection de cas positifs, permettant ainsi une identification rapide et efficace des patients contaminés. Finalement, en plus d'être plus coûteux et chronophages, les PCR sont dotés d'une sensibilité très élevée, pouvant conduire à l'isolement non nécessaire de nombreux patients. Il convient de mentionner que si l'impact d'un test unitaire demeure faible, le nombre considérable de prélèvements effectués à l'échelle de la Suisse depuis le début de la pandémie rend l'impact total significatif. De plus, les mesures de testing, en voulant préserver la santé, génèrent des émissions de carbone pouvant finalement présenter un risque pour la santé et à l'extrême devenir délétères.

Cette étude puise ses forces dans les compétences et connaissances de l'équipe multidisciplinaire qui l'a menée. A cela, s'ajoutent les ressources combinées d'EA, de l'EPFL et d'Unisanté, ces dernières ayant permis d'avoir accès aux données et aux contacts nécessaires. Une piste d'amélioration pourrait résider dans l'optimisation du traitement des données. Bien que convenant, l'outil *Excel* pourrait être optimisé par la création d'un code approprié. Cette automatisation permettrait ainsi de limiter le risque d'erreur de manipulation imputable à l'attention humaine, mais également de gagner du temps. Cette étude permet de surcroît d'offrir un nouvel outil d'aide à la décision, avec pour ambition d'un jour parvenir à introduire une dimension environnementale aux décisions de santé publique. A cet effet, il convient toutefois de mentionner qu'il n'existe pour l'heure aucune analyse du cycle de vie des tests. De plus, alors qu'ils tendent à nuancer le bénéfice des campagnes de test à grande échelle, les résultats obtenus doivent s'attendre à être critiqués, notamment par des entités aux intérêts opposés.

Cette étude a permis d'évaluer l'impact environnemental des tests de dépistage du Covid-19 selon différents scénarios, ce au travers d'une analyse du cycle de vie appliquée au canton de Vaud. Si une hiérarchisation des impacts des différents tests a notamment pu être énoncée, plusieurs questions nécessiteraient en revanche des recherches plus approfondies, dont notamment la mesure du bénéfice sanitaire. Cette étude s'inscrit dans la continuité de l'évaluation de l'impact des masques par Bouchet et al. 2021 [10]. Un projet de recherche complémentaire sur l'impact environnemental des vaccins pourrait également venir compléter cette évaluation des coûts environnementaux des stratégies de contrôle de la pandémie de Covid-19.

## Références

- [1] ADEME, AND CIGREF. Réalisation d'un Bilan des émissions de gaz à effet de serre - Guide sectoriel 2012, 2012.
- [2] AENDEKERK, L. Déjà deux autres limites planétaires franchies en 2022 : que faisons-nous ?, July 2022.
- [3] ANDRYUKOV, B. G. Six decades of lateral flow immunoassay : from determining metabolic markers to diagnosing COVID-19. *AIMS Microbiology* 6, 3 (Aug. 2020), 280–304.
- [4] AOUF, R. S. Covid-19 test concept by Morrama is recyclable and biodegradable.
- [5] ARCINFO. De la Suisse à la haute mer, July 2011.
- [6] BERNERS-LEE, M. *How bad are bananas ? : the carbon footprint of everything*. 2020. OCLC : 1227099144.
- [7] BHATTACHARJEE, S. 5 Major Ports in South Korea, Apr. 2022.
- [8] BOEGLIN, P. Pour les Fêtes, le Conseil fédéral recourt à la manière forte. *Le Temps* (Dec. 2021).
- [9] BONI, M. F., LEMEY, P., JIANG, X., LAM, T. T.-Y., PERRY, B., RAMBAUT, A., AND ROBERTSON, D. L. Evolutionary origins of the SARS-CoV-2 sarbecovirus lineage responsible for the COVID-19 pandemic. 25.
- [10] BOUCHET, A., BOUCHER, J., SCHUTZBACH, K., SENN, N., GENTON, B., AND VERNEZ, D. Which strategy for using medical and community masks ? A prospective analysis of their environmental impact. *BMJ Open* 11, 9 (Sept. 2021), e049690.
- [11] BRESSLER, R. D. The mortality cost of carbon. *Nature Communications* 12, 1 (Dec. 2021), 4467.
- [12] BÖGER, B., FACHI, M. M., VILHENA, R. O., COBRE, A. F., TONIN, F. S., AND PONTAROLO, R. Systematic review with meta-analysis of the accuracy of diagnostic tests for COVID-19. *American Journal of Infection Control* 49, 1 (Jan. 2021), 21–29.
- [13] CELIS, J. E., ESPEJO, W., PAREDES-OSSES, E., CONTRERAS, S. A., CHIANG, G., AND BAHAMONDE, P. Plastic residues produced with confirmatory testing for COVID-19 : Classification, quantification, fate, and impacts on human health. *Science of The Total Environment* 760 (Mar. 2021), 144167.
- [14] CONFÉRENCE FRANCO-GERMANO-SUISSE DU RHIN SUPÉRIEUR. Ports et trafic fluvial dans le Rhin Supérieur. Tech. rep., Direction régional de l'équipement, Alsace, Dec. 2008.
- [15] CONSEIL, L. F. C. Classement des plus grands ports à conteneurs mondiaux et européens en 2020, Sept. 2021.
- [16] CRESPO, C., IBARZ, G., SÁENZ, C., GONZALEZ, P., AND ROCHE, S. Study of Recycling Potential of FFP2 Face Masks and Characterization of the Plastic Mix-Material Obtained. A Way of Reducing Waste in Times of Covid-19. *Waste and Biomass Valorization* 12, 12 (Dec. 2021), 6423–6432.
- [17] DEHLINGER G. - FRANCEINFO. Coronavirus : la chronologie de l'épidémie en Chine, Jan. 2021.
- [18] DUSSAULT, A.-M. Routes maritimes : l'Italie veut séduire la grande distribution suisse. *Le Temps* (Oct. 2017).
- [19] D'ACREMONT, V., CHAMBAZ, G., AND GENTON, B. Crise du Covid-19 : le testing et la vaccination à l'aune des rendements décroissants. *Revue Médicale Suisse* 18, 780 (2022), 904–908.
- [20] ESSENTRA COMPONENTS. What plastic is used for medical devices ? | Knowledge Centre | Essentra Components UK, Oct. 2021.
- [21] FRAMMERY, C. Ce qu'il faut savoir sur les autotests, bientôt en pharmacie. *Le Temps* (Mar. 2021).
- [22] HSIAO, W. W.-W., LE, T.-N., PHAM, D. M., KO, H.-H., CHANG, H.-C., LEE, C.-C., SHARMA, N., LEE, C.-K., AND CHIANG, W.-H. Recent Advances in Novel Lateral Flow Technologies for Detection of COVID-19. *Biosensors* 11, 9 (Sept. 2021), 295. Number : 9 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

- [23] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global Energy Review : CO2 Emissions in 2021. 14.
- [24] IPCC 2022. Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Tech. rep., Cambridge University Press., Apr. 2022.
- [25] ISLAM, M. A., ALAM, S. S., KUNDU, S., HOSSAN, T., KAMAL, M. A., AND CAVESTRO, C. Prevalence of Headache in Patients With Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) : A Systematic Review and Meta-Analysis of 14,275 Patients. *Frontiers in Neurology* 11 (Nov. 2020), 562634.
- [26] ISLAM, M. A., KUNDU, S., ALAM, S. S., HOSSAN, T., KAMAL, M. A., AND HASSAN, R. Prevalence and characteristics of fever in adult and paediatric patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19) : A systematic review and meta-analysis of 17515 patients. *PLoS ONE* 16, 4 (Apr. 2021), e0249788.
- [27] KARLINER, J. Health care’s climate footprint : how the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action. Tech. Rep. 1, Health Care Without Harm & ARUP, Sept. 2019.
- [28] KELLER, R. L., MUIR, K., ROTH, F., JATTKE, M., AND STUCKI, M. From bandages to buildings : Identifying the environmental hotspots of hospitals. *Journal of Cleaner Production* 319 (Oct. 2021), 128479.
- [29] KERN, J. Dépistage de la Covid-19 : qu’est-ce que le test PCR? *Futura Santé* (Sept. 2020).
- [30] KLEITZ, C. Le Saviez-vous ? | L’analyse du cycle de vie – UWE, May 2021.
- [31] KLEMEŠ, J. J., FAN, Y. V., AND JIANG, P. The energy and environmental footprints of COVID-19 fighting measures – PPE, disinfection, supply chains. *Energy* 211 (Nov. 2020), 118701.
- [32] KYOSEI, Y., YAMURA, S., NAMBA, M., YOSHIMURA, T., WATABE, S., AND ITO, E. Antigen tests for COVID-19. *Biophysics and Physicobiology* 18, 0 (2021), 28–39.
- [33] LALKHEN, A. G., AND MCCLUSKEY, A. Clinical tests : sensitivity and specificity. *Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain* 8, 6 (Dec. 2008), 221–223.
- [34] LE MONDE. Coronavirus : un troisième cas d’infection confirmé en France. *Le Monde.fr* (Jan. 2020).
- [35] LE QUÉRÉ, C., JACKSON, R. B., JONES, M. W., SMITH, A. J. P., ABERNETHY, S., ANDREW, R. M., DE-GOL, A. J., WILLIS, D. R., SHAN, Y., CANADELL, J. G., FRIEDLINGSTEIN, P., CREUTZIG, F., AND PETERS, G. P. Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change* 10, 7 (July 2020), 647–653.
- [36] LE TEMPS. Le Conseil fédéral annonce un retour «à la normale» dès demain : les nouvelles du 16 février - Le Temps.
- [37] LEE, B.-K., ELLENBECKER, M. J., AND MOURE-ERASO, R. Analyses of the recycling potential of medical plastic wastes. *Waste Management* 22, 5 (Aug. 2002), 461–470.
- [38] LEE, S., KIM, T., LEE, E., LEE, C., KIM, H., RHEE, H., PARK, S. Y., SON, H.-J., YU, S., PARK, J. W., CHOO, E. J., PARK, S., LOEB, M., AND KIM, T. H. Clinical Course and Molecular Viral Shedding Among Asymptomatic and Symptomatic Patients With SARS-CoV-2 Infection in a Community Treatment Center in the Republic of Korea. *JAMA Internal Medicine* 180, 11 (Nov. 2020), 1447.
- [39] LEMAÎTRE, F. « Il ne faut pas diffuser cette information au public » : l’échec du système de détection chinois face au coronavirus. *Le Monde.fr* (Apr. 2020).
- [40] MILLAR, A. How to make lateral flow tests more sustainable?, June 2022.
- [41] MOHAMMADI, M. Fever and Cough are Two Important Factors in Identifying Patients with the Covid-19 : A Meta-Analysis. *Journal of Military Medicine*, 2 (2020), 193–202.
- [42] NADEEM, M. S., ZAMZAMI, M. A., CHOUDHRY, H., MURTAZA, B. N., KAZMI, I., AHMAD, H., AND SHAKOORI, A. R. Origin, Potential Therapeutic Targets and Treatment for Coronavirus Disease (COVID-19). *Pathogens* 9, 4 (Apr. 2020), 307. Number : 4 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [43] OFEV, O. F. D. L. Climat : En bref, Nov. 2022.

- [44] OFFICE FÉDÉRAL DE LA SANTÉ PUBLIQUE. Nouveau coronavirus COVID-19 : premier cas confirmé en Suisse, Feb. 2020.
- [45] OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT OFEV. Élimination des déchets médicaux. 60.
- [46] OFSP. COVID-19 Suisse | Coronavirus | Dashboard, July 2022.
- [47] OFSP, O. F. D. L. S. P. Coronavirus : tests, July 2022.
- [48] OMS. Résumé des Recommandations de l'OMS pour l'Hygiène des Mains au cours des Soins. Tech. rep., 2010.
- [49] OMS. Ambient (outdoor) air pollution, Sept. 2021.
- [50] OMS. Utilisation des tests de diagnostic rapide antigéniques du SARS-CoV-2 pour l'autodépistage de la COVID-19, Sept. 2022.
- [51] ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ. Chronologie de l'action de l'OMS face à la COVID-19, June 2020.
- [52] PAUL, A. What towns in Italy are on lockdown because of coronavirus?, Feb. 2020. Section : News.
- [53] QUANTIS, AND EA. Plastic leak project - Methodological guidelines. Tech. rep., Feb. 2020.
- [54] RAO, S. N., MANISSERO, D., STEELE, V. R., AND PAREJA, J. A Systematic Review of the Clinical Utility of Cycle Threshold Values in the Context of COVID-19. *Infectious Diseases and Therapy* 9, 3 (Sept. 2020), 573–586.
- [55] RAY, R. L., SINGH, V. P., SINGH, S. K., ACHARYA, B. S., AND HE, Y. What is the impact of COVID-19 pandemic on global carbon emissions? *Science of The Total Environment* 816 (Apr. 2022), 151503.
- [56] ROCHE. Les tests Roche COVID-19, July 2022.
- [57] SA TRIDEL. Prescriptions et tarifs pour l'acceptation et le traitement des déchets, Jan. 2021.
- [58] SACCO, F., CORNUZ, J., AND UNISANTE (LAUSANNE). *Au coeur de la crise : l'action d'UNISANTE contre la pandémie*. 2021.
- [59] SANIASIAYA, J., ISLAM, M. A., AND ABDULLAH, B. Prevalence and Characteristics of Taste Disorders in Cases of COVID-19 : A Meta-analysis of 29,349 Patients. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery* 165, 1 (July 2021), 33–42. Publisher : SAGE Publications Inc.
- [60] SANIASIAYA, J., ISLAM, M. A., AND ABDULLAH, B. Prevalence of Olfactory Dysfunction in Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) : A Meta-analysis of 27,492 Patients. *The Laryngoscope* 131, 4 (Apr. 2021), 865–878.
- [61] SCHWOB, J. M., MIAUTON, A., PETROVIC, D., PERDRIX, J., SENN, N., JATON, K., ONYA, O., MAILLARD, A., MINGHELLI, G., CORNUZ, J., GREUB, G., GENTON, B., AND D'ACREMONT, V. Antigen rapid tests, nasopharyngeal PCR and saliva PCR to detect SARS-CoV-2 : a prospective comparative clinical trial. preprint, *Infectious Diseases (except HIV/AIDS)*, Nov. 2020.
- [62] STOHR, J. J. J. M., ZWART, V. F., GODERSKI, G., MEIJER, A., NAGEL-IMMING, C. R. S., KLUYTMANS-VAN DEN BERGH, M. F. Q., PAS, S. D., VAN DEN OETELAAR, F., HELLWICH, M., GAN, K. H., RIETVELD, A., VERWEIJ, J. J., MURK, J.-L., VAN DEN BIJLLAARDT, W., AND KLUYTMANS, J. A. J. W. Self-testing for the detection of SARS-CoV-2 infection with rapid antigen tests for people with suspected COVID-19 in the community. *Clinical Microbiology and Infection* 28, 5 (May 2022), 695–700.
- [63] TRIBUNE DE GENÈVE. Plus de 6 millions de véhicules sur les routes. *Tribune de Genève* (Jan. 2021).
- [64] UNDESA. The Future is Now : Science for achieving Sustainable Development (GSDR 2019). Tech. rep., 2019.
- [65] UPPER RHINE PORTS. Upper Rhine Ports, a connected corridor, 2022.
- [66] URUSOV, A. E., ZHERDEV, A. V., AND DZANTIEV, B. B. Towards Lateral Flow Quantitative Assays : Detection Approaches. *Biosensors* 9, 3 (Sept. 2019), 89. Number : 3 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

- [67] VAN ELSLANDE, J., HOUBEN, E., DEPYPERE, M., BRACKENIER, A., DESMET, S., ANDRÉ, E., VAN RANST, M., LAGROU, K., AND VERMEERSCH, P. Diagnostic performance of seven rapid IgG/IgM antibody tests and the Euroimmun IgA/IgG ELISA in COVID-19 patients. *Clinical Microbiology and Infection* 26, 8 (Aug. 2020), 1082–1087.
- [68] WERNET, G., BAUER, C., STEUBING, B., REINHARD, J., MORENO-RUIZ, E., AND WEIDEMA, B. The ecoinvent database version 3 (part I) : overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21, 9 (Sept. 2016), 1218–1230.
- [69] WISNIAK, J. Henri Braconnot. Revista CENIC. Ciencias Químicas. 345–355.
- [70] WUTHRICH, B., AND BAUR, G. L’extension du certificat covid reçoit un accueil contrasté. *Le Temps* (Sept. 2021).

# Appendices

## A Contenu d'un test antigénique



FIGURE A.1 – Illustration du contenu d'une boîte de test antigénique, ici de la marque Roche



## B Inventaire

### B.1 Autotest

Étape du cycle de vie	Intrants	Quantité	Unité	Flux depuis ecoinvent		
Matériel de production	Carton	3.44	g	market for folding boxboard carton		
	Papier	4.31	g	market for printed paper		
	Aluminium		3.51	g	aluminium production, primary, ingot	
			3.51	g	market for metal working, average for aluminium product manufacturing	
		3.51	g	market for sheet rolling, aluminium		
	Solution tampon	0.44	g	market for water, ultrapure		
	PET	0.78	g	market for polyethylene terephthalate, granulate, amorphous		
		0.78	g	market for blow moulding		
	PS		0.64	g	market for polystyrene, general purpose	
			0.64	g	market for blow moulding	
	PP		5.7	g	market for polypropylene, granulate	
			5.7	g	market for blow moulding	
	PELD		0.39	g	polyethylene production, low density, granulate	
			0.39	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline	
			0.39	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline	
	PVC		0.46	g	market for polyvinylchloride, bulk polymerised	
			0.46	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline	
		Nitrocellulose		0.014	g	market for cellulose fibre
				0.063	g	market for sulfuric acid
			0.063	g	market for nitric acid, without water, in 50% solution state	
Transport	Gel de silice	0.69	g	market for sodium silicate, solid		
	Camion	0.010	t*km	market group for transport, freight, lorry, unspecified		
	Bateau	0.475	t*km	market for transport, freight, sea, container ship		
	Barque auto-moteur	0.017	t*km	market for transport, freight, inland waterways, barge		
Utilisation	Gel hydroalcoolique	3.18	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation		
		1.06	g	market for water, ultrapure		
	Flacon emballage	0.95	g	market for polyethylene, high density, granulate		
Fin de vie		0.95	g	market for blow moulding		
	Recyclage du papier	4.31	g	Flux composés, détail annexe E		
	Incinération carton	3.44	g	Flux composés, détail annexe E		
	Incinération aluminium	3.51	g	Flux composés, détail annexe E		
	Incinération PET	0.78	g	Flux composés, détail annexe E		
	Incinération PS	0.64	g	Flux composés, détail annexe E		
	Incinération PP	5.70	g	Flux composés, détail annexe E		
	Incinération PVC	0.46	g	Flux composés, détail annexe E		
	Incinération nitrocellulose	0.14	g	Flux composés, détail annexe E		
	Incinération PE	1.33	g	Flux composés, détail annexe E		
Incinération moyenne	1.13	g	Flux composés, détail annexe E			

TABLE 16 – *ICV de l'autotest de la marque Roche pour une unité fonctionnelle*

Étape du cycle de vie	Intrants	Quantité	Unité	Flux depuisecoinvent
Matériel de production	Carton	2.94	g	market for folding boxboard carton
	Papier	3.38	g	market for printed paper
	Aluminium	1.51	g	aluminium production, primary, ingot
		1.51	g	market for metal working, average for aluminium product manufacturing
		1.51	g	market for sheet rolling, aluminium
	Solution tampon	0.30	g	market for water, ultrapure
	PS	0.31	g	market for polystyrene, general purpose
		0.31	g	market for blow moulding
	PP	6.44	g	market for polypropylene, granulate
		6.44	g	market for blow moulding
	PELD	1.3	g	polyethylene production, low density, granulate
		1.3	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline
	PVC	0.24	g	market for polyvinylchloride, bulk polymerised
		0.24	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline
	Nitrocellulose	0.012	g	market for cellulose fibre
		0.054	g	market for sulfuric acid
		0.054	g	market for nitric acid, without water, in 50% solution state
Transport	Gel de silice	0.57	g	market for sodium silicate, solid
	Camion	0.003	t*km	market group for transport, freight, lorry, unspecified
	Bateau	0.382	t*km	market for transport, freight, sea, container ship
	Barque auto-moteur	0.014	t*km	market for transport, freight, inland waterways, barge
Utilisation	Gel hydroalcoolique	3.18	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation
	Flacon emballage	1.06	g	market for water, ultrapure
0.95		g	market for polyethylene, high density, granulate	
Fin de vie		0.95	g	market for blow moulding
	Recyclage du papier	3.38	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération carton	2.94	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération aluminium	1.51	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération PS	0.31	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération PP	6.44	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération PVC	0.24	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération nitrocellulose	0.12	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération PE	2.25	g	Flux composés, détail annexe E
Incinération moyenne	0.87	g	Flux composés, détail annexe E	

TABLE 17 – *ICV de l'autotest de la marque Alltest pour une unité fonctionnelle*

Étape du cycle de vie	Intrants	Quantité	Unité	Flux depuis ecoinvent
Matériel de production	Carton	8.01	g	market for folding boxboard carton
	Papier	6.22	g	market for printed paper
	Aluminium	1.51	g	aluminium production, primary, ingot
		1.51	g	market for metal working, average for aluminium product manufacturing
		1.51	g	market for sheet rolling, aluminium
	Solution tampon	0.28	g	market for water, ultrapure
	PS	0.33	g	market for polystyrene, general purpose
		0.33	g	market for blow moulding
	PP	7.07	g	market for polypropylene, granulate
		7.07	g	market for blow moulding
	PELD	1.3	g	polyethylene production, low density, granulate
		1.3	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline
	PVC	0.24	g	market for polyvinylchloride, bulk polymerised
		0.24	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline
	Nitrocellulose	0.012	g	market for cellulose fibre
		0.054	g	market for sulfuric acid
		0.054	g	market for nitric acid, without water, in 50% solution state
Transport	Gel de silice	0.57	g	market for sodium silicate, solid
	Camion	0.005	t*km	market group for transport, freight, lorry, unspecified
	Bateau	0.573	t*km	market for transport, freight, sea, container ship
	Barque auto-moteur	0.022	t*km	market for transport, freight, inland waterways, barge
Utilisation	Gel hydroalcoolique	3.18	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation
		1.06	g	market for water, ultrapure
Fin de vie	Flacon emballage	0.95	g	market for polyethylene, high density, granulate
		0.95	g	market for blow moulding
	Recyclage du papier	6.22	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération carton	8.01	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération aluminium	1.51	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération PS	0.33	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération PP	7.07	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération PVC	0.24	g	Flux composés, détail annexe E
	Incinération nitrocellulose	0.12	g	Flux composés, détail annexe E
Incinération PE	2.25	g	Flux composés, détail annexe E	
Incinération moyenne	0.85	g	Flux composés, détail annexe E	

TABLE 18 – *ICV de l'autotest de la marque Beright pour une unité fonctionnelle*

## B.2 Tests antigénique rapide

L'ICV du TAR Roche est légèrement différents de l'AT car les autotests sont ré-emballés par les pharmacies pour être vendus par lot de 5 et non pas boîte de 25. Pour cette raison, l'inventaire est détaillé.

Étape du cycle de vie	Intrants	Quantité	Unité	Flux depuisecoinvent	
Matériel de production	Carton	3.44	g	market for folding boxboard carton	
	Papier	3.12	g	market for printed paper	
	Aluminium	3.51	g	aluminium production, primary, ingot	
		3.51	g	market for metal working, average for aluminium product manufacturing	
	Solution tampon	3.51	g	market for sheet rolling, aluminium	
		0.44	g	market for water, ultrapure	
	PET	0.78	g	market for polyethylene terephthalate, granulate, amorphous	
	PS	0.78	g	market for blow moulding	
		0.64	g	market for polystyrene, general purpose	
	PP	0.64	g	market for blow moulding	
		5.7	g	market for polypropylene, granulate	
	PVC	5.7	g	market for blow moulding	
		0.46	g	market for polyvinylchloride, bulk polymerised	
	Transport	Camion	0.46	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline
			0.014	g	market for cellulose fibre
			0.063	g	market for sulfuric acid
		Gel de silice	0.063	g	market for nitric acid, without water, in 50% solution state
0.69			g	market for sodium silicate, solid	
Bateau		0.010	t*km	market group for transport, freight, lorry, unspecified	
Utilisation	Barque auto-moteur	0.439	t*km	market for transport, freight, sea, container ship	
	Blouse PP	0.016	t*km	market for transport, freight, inland waterways, barge	
		1.66 - 16.56	g	market for polypropylene, granulate	
	Masque PP	1.66 - 16.56	g	market for blow moulding	
		0.29 - 2.93	g/unit	market for polypropylene, granulate	
	Lunette protection PC	0.29 - 2.93	g/unit	market for blow moulding	
		0.04 - 0.35	g	market for polycarbonate	
	Gants en nitrile	0.04 - 0.35	g	market for blow moulding	
		5.23	g/paire	market for nitrile-compound	
	Gel hydroalcoolique	5.23	g/paire	market for stretch blow moulding	
3.18		g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation		
Fin de vie	Flacon emballage	1.06	g	market for water, ultrapure	
		0.95	g	market for polyethylene, high density, granulate	
	Lingette désinfectante	0.95	g	market for blow moulding	
		0.5	g	market for cellulose fibre	
	Liquide désinfectant	0.057	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation	
		0.03	g	market for isopropanol	
	Communication résultats	0.02	g	market for water, ultrapure	
		1	unit	Email avec PJ (Source : ADEME)	
		Recyclage du papier	3.12	g	Flux composés, détail table ??
		Incinération carton	3.44	g	Flux composés, détail annexe E
		Incinération aluminium	3.51	g	Flux composés, détail annexe E
		Incinération PET	0.78	g	Flux composés, détail annexe E
Incinération PS		0.64	g	Flux composés, détail annexe E	
Incinération PP		7.65 - 25.18	g	Flux composés, détail annexe E	
Incinération PVC		0.46	g	Flux composés, détail annexe E	
Incinération nitrocellulose		0.14	g	Flux composés, détail annexe E	
Incinération PC	0.35 - 3.51	g	Flux composés, détail annexe E		
Incinération nitrile	5.23	g	Flux composés, détail annexe E		
Incinération PE	0.95	g	Flux composés, détail annexe E		
Incinération moyenne	1.63	g	Flux composés, détail annexe E		

TABLE 19 – ICV du test antigénique rapide de la marque Roche pour une unité fonctionnelle

Les ICV des TAR AllTest et Beright sont inchangés. Il faut simplement inclure les équipements de protection individuelle du professionnel réalisant le prélèvement. La partie utilisation est rigoureusement identique pour tous les tests antigénique rapides. Il faudra également tenir compte de ces ajouts dans la fin de vie en ajoutant [1.95 g - 19.48 g ] à l'incinération du PP et [0.35 g - 3.51 g] à celle du PC selon le nombre de personnes testées par heure et par professionnel, qui définira l'allocation des ressources.

Étape du cycle de vie	Intrants	Quantité	Unité	Flux depuisecoinvent	
Matériel de production	Carton	3.26	g	market for folding boxboard carton	
	Papier	4.19	g	market for printed paper	
	Aluminium		1.64	g	aluminium production, primary, ingot
			1.64	g	market for metal working, average for aluminium product manufacturing
			1.64	g	market for sheet rolling, aluminium
	Solution tampon	0.34	g	market for water, ultrapure	
	PS		0.48	g	market for polystyrene, general purpose
			0.48	g	market for blow moulding
	PP		8.32	g	market for polypropylene, granulate
			8.32	g	market for blow moulding
	PVC		0.40	g	market for polyvinylchloride, bulk polymerised
			0.40	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline
		Nitrocellulose	0.016	g	market for cellulose fibre
	Transportation	Gel de silice		g	market for sulfuric acid
				0.071	g
			0.071	g	market for sodium silicate, solid
Camion		0.016	t*km	market group for transport, freight, lorry, unspecified	
Utilisation		Blouse PP	1.66 - 16.56	g	market for polypropylene, granulate
			1.66 - 16.56	g	market for blow moulding
		Masque PP	0.29 - 2.93	g/unit	market for polypropylene, granulate
			0.29 - 2.93	g/unit	market for blow moulding
		Lunette protection PC	0.04 - 0.35	g	market for polycarbonate
			0.04 - 0.35	g	market for blow moulding
		Gants en nitrile	5.23	g/paire	market for nitrile-compound
			5.23	g/paire	market for stretch blow moulding
		Gel hydroalcoolique	3.18	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation
		Flacon emballage		1.06	g
			0.95	g	market for polyethylene, high density, granulate
	0.95		g	market for blow moulding	
Lingette désinfectante	0.5		g	market for cellulose fibre	
Liquide désinfectant			0.057	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation
			0.03	g	market for isopropanol
	0.02		g	market for water, ultrapure	
Fin de vie	Communication résultats	1	unit	Email avec PJ (Source : ADEME)	
	Recyclage du papier	4.19	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération carton	3.26	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération aluminium	1.64	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PS	0.48	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PP	10.27 - 25.18	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PE	0.95	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PVC	0.40	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération nitrocellulose	0.16	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PC	0.35 - 3.51	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération nitrile	5.23	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération moyenne	1.50	g	Flux composés, détail annexe E	

TABLE 20 – ICV du test antigénique rapide de la marque Abbott pour une unité fonctionnelle

### B.3 Test PCR

Étape du cycle de vie	Intrants	Quantité	Unité	Flux depuis ecoinvent	
Matériel de production	Papier	14.42	g	market for printed paper	
	Solution tampon	2.53	g	market for water, ultrapure	
	PS		0.40	g	market for polystyrene, general purpose
			0.40	g	market for blow moulding
	PP		7.42	g	market for polypropylene, granulate
			7.42	g	market for blow moulding
	PELD		4.90	g	polyethylene production, low density, granulate
			4.90	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline
	PVC		2.22	g	market for polyvinylchloride, bulk polymerised
			2.22	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline
Transport	Camion	0.017	t*km	market group for transport, freight, lorry, unspecified	
	Bateau	1.737	t*km	market for transport, freight, sea, container ship	
	Barque auto-moteur	0.071	t*km	market for transport, freight, inland waterways, barge	
Utilisation	Blouse PP	1.66 - 16.56	g	market for polypropylene, granulate	
		1.66 - 16.56	g	market for blow moulding	
	Masque PP	0.29 - 2.93	g/unit	market for polypropylene, granulate	
		0.29 - 2.93	g/unit	market for blow moulding	
	Lunette protection PC	0.04 - 0.35	g	market for polycarbonate	
		0.04 - 0.35	g	market for blow moulding	
	Gants en nitrile	5.23	g/paire	market for nitrile-compound	
		5.23	g/paire	market for stretch blow moulding	
	Gel hydroalcoolique	3.18	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation	
		1.06	g	market for water, ultrapure	
	Flacon emballage	0.95	g	market for polyethylene, high density, granulate	
		0.95	g	market for blow moulding	
	Lingette désinfectante	0.5	g	market for cellulose fibre	
		0.057	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation	
			0.03	g	market for isopropanol
			0.02	g	market for water, ultrapure
	Étiquettes identification	7.98	g	Étiquettes (Source : ADEME)	
		selon scénario			Flux composés, détail dans méthodologie
Coursiers				electricity, high voltage, production mix	
Analyse laboratoire	0.257	kWh			
Gants	5.23	g	market for nitrile-compound		
	5.23	g	market for stretch blow moulding		
Communication résultats	1	unit	Email avec PJ (Source : ADEME)		
Fin de vie	Autoclavage	43.88	g	Flux composés, détail annexe E	
	Recyclage du papier	14.42	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PS	0.40	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PP	9.37 - 26.90	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PE	49.99	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PVC	2.22	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PC	0.035 - 0.35	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération nitrile	10.46	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération moyenne	11.01	g	Flux composés, détail annexe E	

TABLE 21 – *ICV du test PCR individuel pour une unité fonctionnelle*

Étape du cycle de vie	Intrants	Quantité	Unité	Flux depuis ecoinvent	
Matériel de production	Papier	13.76	g	market for printed paper	
	Aluminium	0.63	g	aluminium production, primary, ingot	
		0.63	g	market for metal working, average for aluminium product manufacturing	
	Solution tampon	0.63	g	market for sheet rolling, aluminium	
		2.53	g	market for water, ultrapure	
		PS	0.40	g	market for polystyrene, general purpose
		0.40	g	market for blow moulding	
		PP	10.79	g	market for polypropylene, granulate
		10.79	g	market for blow moulding	
		PELD	15.47	g	polyethylene production, low density, granulate
	15.47	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline		
	PVC	1.72	g	market for polyvinylchloride, bulk polymerised	
	1.72	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline		
Transport	Camion	0.011	t*km	market group for transport, freight, lorry, unspecified	
	Bateau	1.102	t*km	market for transport, freight, sea, container ship	
	Barque auto-moteur	0.045	t*km	market for transport, freight, inland waterways, barge	
Utilisation	Blouse PP	1.66 - 16.56	g	market for polypropylene, granulate	
		1.66 - 16.56	g	market for blow moulding	
	Masque PP	0.29 - 2.93	g/unit	market for polypropylene, granulate	
		0.29 - 2.93	g/unit	market for blow moulding	
	Lunette protection PC	0.04 - 0.35	g	market for polycarbonate	
		0.04 - 0.35	g	market for blow moulding	
	Gants en nitrile	5.23	g/paire	market for nitrile-compound	
		5.23	g/paire	market for stretch blow moulding	
	Gel hydroalcoolique	3.18	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation	
		1.06	g	market for water, ultrapure	
	Flacon emballage	0.95	g	market for polyethylene, high density, granulate	
		0.95	g	market for blow moulding	
	Lingette désinfectante	0.5	g	market for cellulose fibre	
	Liquide désinfectant	0.057	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation	
		0.03	g	market for isopropanol	
	0.02	g	market for water, ultrapure		
	Étiquettes identification	7.98	g	Étiquettes (Source : ADEME)	
Coursiers	selon scénario		Flux composés, détail dans méthodologie		
Analyse laboratoire	0.138	kWh	electricity, high voltage, production mix		
Gants	0.65 - 2.62	g	market for nitrile-compound		
	0.65 - 2.62	g	market for stretch blow moulding		
Communication résultats	1	unit	Email avec PJ (Source : ADEME)		
Fin de vie	Autoclavage	7.51	g	Flux composés, détail dans méthodologie	
	Recyclage du papier	21.74	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération aluminium	0.625	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PS	0.40	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PP	12.74 - 30.27	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PE	16.42	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PVC	1.72	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PC	0.035 - 0.35	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération nitrile	5.88 - 7.85	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération moyenne	3.03	g	Flux composés, détail annexe E	

TABLE 22 – ICV du test PCR 8 puits pour une unité fonctionnelle

Étape du cycle de vie	Intrants	Quantité	Unité	Flux depuis ecoinvent	
Matériel de production	Papier	13.76	g	market for printed paper	
	Aluminium	0.10	g	aluminium production, primary, ingot	
		0.10	g	market for metal working, average for aluminium product manufacturing	
	Solution tampon		0.10	g	market for sheet rolling, aluminium
		PS	2.53	g	market for water, ultrapure
			0.40	g	market for polystyrene, general purpose
			0.40	g	market for blow moulding
		PP	8.76	g	market for polypropylene, granulate
			8.76	g	market for blow moulding
		PELD	13.28	g	polyethylene production, low density, granulate
			13.28	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline
	PVC	1.72	g	market for polyvinylchloride, bulk polymerised	
		1.72	g	market for extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline	
	Transport	Camion	0.010	t*km	market group for transport, freight, lorry, unspecified
Bateau		1.004	t*km	market for transport, freight, sea, container ship	
Barque auto-moteur		0.041	t*km	market for transport, freight, inland waterways, barge	
Utilisation	Blouse PP	1.66 - 16.56	g	market for polypropylene, granulate	
		1.66 - 16.56	g	market for blow moulding	
	Masque PP	0.29 - 2.93	g/unit	market for polypropylene, granulate	
		0.29 - 2.93	g/unit	market for blow moulding	
	Lunette protection PC	0.04 - 0.35	g	market for polycarbonate	
		0.04 - 0.35	g	market for blow moulding	
	Gants en nitrile	5.23	g/paire	market for nitrile-compound	
		5.23	g/paire	market for stretch blow moulding	
	Gel hydroalcoolique	3.18	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation	
		1.06	g	market for water, ultrapure	
	Flacon emballage	0.95	g	market for polyethylene, high density, granulate	
		0.95	g	market for blow moulding	
	Lingette désinfectante	0.5	g	market for cellulose fibre	
	Liquide désinfectant	0.057	g	market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation	
		0.03	g	market for isopropanol	
		0.02	g	market for water, ultrapure	
	Étiquettes identification	7.98	g	Étiquettes (Source : ADEME)	
	Coursiers	selon scénario		Flux composés, détail dans méthodologie	
Analyse laboratoire	0.029	kWh	electricity, high voltage, production mix		
Gants	0.05 - 0.58	g	market for nitrile-compound		
	0.05 - 0.58	g	market for stretch blow moulding		
Communication résultats	1	unit	Email avec PJ (Source : ADEME)		
Fin de vie	Autoclavage	3.71	g	Flux composés, détail annexe E	
	Recyclage du papier	21.74	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération aluminium	0.10	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PS	0.40	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PP	10.70 - 30.27	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PE	14.22	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PVC	1.72	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération PC	0.035 - 0.35	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération nitrile	5.28 - 5.81	g	Flux composés, détail annexe E	
	Incinération moyenne	3.03	g	Flux composés, détail annexe E	

TABLE 23 – ICV du test PCR 96 puits pour une unité fonctionnelle



## C Transport

Itinéraire	Sous-étapes	distance [km]	Moyens de transport
Cheongju → Rotterdam	Cheongju → Busan	288	Camion
	Busan → Rotterdam	23 180	Porte-conteneurs
Hangzhou → Rotterdam	Hangzhou → Rotterdam	22 330	Porte-conteneurs
Guangdong → Rotterdam	Guangzhou → Rotterdam	20 680	Porte-conteneurs
Rotterdam → Vaud	Rotterdam → Bâle	850	Bateau automoteur
	Bâle → Vaud	180	Camion
Jena → Vaud	Jena → Vaud	820	Camion

TABLE 24 – *Itinéraires pour l'expédition des tests étudiés du lieu de production au Canton de Vaud*

Moyen de transport	Flux selon ecoivent	Geography
Porte-conteneurs	market for transport, freight, sea, container ship	GLO
Camion	market group for transport, freight, lorry, unspecified	GLO
Bateau automoteur	market for transport, freight, inland waterways, barge	RER

TABLE 25 – *Flux de la base de données ecoivent pour la modélisation des différents mode des transports*

# D Coursiers

		Distance [km]																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	150	200	250	300	400
1	0.352	0.704	1.055	1.407	1.759	2.111	2.463	2.814	3.166	3.518	5.277	7.036	8.795	10.554	12.313	14.072	15.831	17.589	21.107	24.625	28.143	31.661	35.179	52.768	70.358	87.947	105.537	140.716	175.895
2	0.176	0.352	0.528	0.704	0.879	1.055	1.231	1.407	1.583	1.759	2.638	3.518	4.397	5.277	6.156	7.036	7.915	8.795	10.554	12.313	14.072	15.831	17.589	26.384	35.179	43.974	52.768	70.358	87.947
3	0.117	0.235	0.352	0.469	0.586	0.704	0.821	0.938	1.055	1.173	1.759	2.345	2.932	3.518	4.104	4.691	5.277	5.863	7.036	8.208	9.381	10.554	11.726	17.589	23.453	29.316	35.179	46.905	58.632
4	0.088	0.176	0.264	0.352	0.440	0.528	0.616	0.704	0.792	0.879	1.319	1.759	2.199	2.638	3.078	3.518	3.958	4.397	5.277	6.156	7.036	7.915	8.795	13.192	17.589	21.987	26.384	35.179	43.974
5	0.070	0.141	0.211	0.281	0.352	0.422	0.493	0.563	0.633	0.704	1.055	1.407	1.759	2.111	2.463	2.814	3.166	3.518	4.221	4.925	5.629	6.332	7.036	10.554	14.072	17.589	21.107	28.143	35.179
6	0.059	0.117	0.176	0.235	0.293	0.352	0.410	0.469	0.528	0.586	0.879	1.173	1.466	1.759	2.052	2.345	2.638	2.932	3.518	4.104	4.691	5.277	5.863	8.795	11.726	14.658	17.589	23.453	29.316
7	0.050	0.101	0.151	0.201	0.251	0.302	0.352	0.402	0.452	0.503	0.754	1.005	1.256	1.508	1.759	2.010	2.262	2.513	3.015	3.518	4.020	4.523	5.026	7.538	10.051	12.564	15.077	20.102	25.128
8	0.044	0.088	0.132	0.176	0.220	0.264	0.308	0.352	0.396	0.440	0.660	0.879	1.099	1.319	1.539	1.759	1.979	2.199	2.638	3.078	3.518	3.958	4.397	6.596	8.795	10.993	13.192	17.589	21.987
9	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.235	0.274	0.313	0.352	0.391	0.586	0.782	0.977	1.173	1.368	1.564	1.759	1.954	2.345	2.736	3.127	3.518	3.909	5.863	7.818	9.772	11.726	15.635	19.544
10	0.035	0.070	0.106	0.141	0.176	0.211	0.246	0.281	0.317	0.352	0.528	0.704	0.879	1.055	1.231	1.407	1.583	1.759	2.111	2.463	2.814	3.166	3.518	5.277	7.036	8.795	10.554	14.072	17.589
20	0.018	0.035	0.053	0.070	0.088	0.106	0.123	0.141	0.158	0.176	0.264	0.352	0.440	0.528	0.616	0.704	0.792	0.879	1.055	1.231	1.407	1.583	1.759	2.638	3.518	4.397	5.277	7.036	8.795
30	0.012	0.023	0.035	0.047	0.059	0.070	0.082	0.094	0.106	0.117	0.176	0.235	0.293	0.352	0.410	0.469	0.528	0.586	0.704	0.821	0.938	1.055	1.173	1.759	2.345	2.932	3.518	4.691	5.863
40	0.009	0.018	0.026	0.035	0.044	0.053	0.062	0.070	0.079	0.088	0.132	0.176	0.220	0.264	0.308	0.352	0.396	0.440	0.528	0.616	0.704	0.792	0.879	1.319	1.759	2.199	2.638	3.518	4.397
50	0.007	0.014	0.021	0.028	0.035	0.042	0.049	0.056	0.063	0.070	0.106	0.141	0.176	0.211	0.246	0.281	0.317	0.352	0.422	0.493	0.563	0.633	0.704	1.055	1.407	1.759	2.111	2.814	3.518
60	0.006	0.012	0.018	0.023	0.029	0.035	0.041	0.047	0.053	0.059	0.088	0.117	0.147	0.176	0.205	0.235	0.264	0.293	0.352	0.410	0.469	0.528	0.586	0.879	1.173	1.466	1.759	2.345	2.932
70	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050	0.075	0.101	0.126	0.151	0.176	0.201	0.226	0.251	0.302	0.352	0.402	0.452	0.503	0.754	1.005	1.256	1.508	2.010	2.513
80	0.004	0.009	0.013	0.018	0.022	0.026	0.031	0.035	0.040	0.044	0.066	0.088	0.110	0.132	0.154	0.176	0.198	0.220	0.264	0.308	0.352	0.396	0.440	0.660	0.879	1.099	1.319	1.759	2.199
90	0.004	0.008	0.012	0.016	0.020	0.023	0.027	0.031	0.035	0.039	0.059	0.078	0.098	0.117	0.137	0.156	0.176	0.195	0.235	0.274	0.313	0.352	0.391	0.586	0.782	0.977	1.173	1.564	1.954
100	0.004	0.007	0.011	0.014	0.018	0.021	0.025	0.028	0.032	0.035	0.053	0.070	0.088	0.106	0.123	0.141	0.158	0.176	0.211	0.246	0.281	0.317	0.352	0.528	0.704	0.879	1.055	1.407	1.759
150	0.002	0.005	0.007	0.009	0.012	0.014	0.016	0.019	0.021	0.023	0.035	0.047	0.059	0.070	0.082	0.094	0.106	0.117	0.141	0.164	0.188	0.211	0.235	0.352	0.469	0.586	0.704	0.938	1.173
200	0.002	0.004	0.005	0.007	0.009	0.011	0.012	0.014	0.016	0.018	0.026	0.035	0.044	0.053	0.062	0.070	0.079	0.088	0.106	0.123	0.141	0.158	0.176	0.264	0.352	0.440	0.528	0.704	0.879
250	0.001	0.003	0.004	0.006	0.007	0.008	0.010	0.011	0.013	0.014	0.021	0.028	0.035	0.042	0.049	0.056	0.063	0.070	0.084	0.099	0.113	0.127	0.141	0.211	0.281	0.352	0.422	0.563	0.704
300	0.001	0.002	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.011	0.012	0.018	0.023	0.029	0.035	0.041	0.047	0.053	0.059	0.070	0.082	0.094	0.106	0.117	0.176	0.235	0.293	0.352	0.469	0.586
400	0.001	0.002	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.013	0.018	0.022	0.026	0.031	0.035	0.040	0.044	0.053	0.062	0.070	0.079	0.088	0.132	0.176	0.220	0.264	0.352	0.440
500	0.001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006	0.006	0.007	0.011	0.014	0.018	0.021	0.025	0.028	0.032	0.035	0.042	0.049	0.056	0.063	0.070	0.106	0.141	0.176	0.211	0.281	0.352

Nombre de tests par transport

FIGURE D.1 – Impact environnemental du transport de l'échantillon en fonction du nombre d'échantillons et de la distance en [kg CO<sub>2</sub>eq]

# E Fin de vie

## E.1 Autoclavage

Données techniques		Vakulab PL 14914-1GR	Numéro d'article		801
<b>Données pour le raccordement aux installations sanitaires et électriques sur site</b>					
A	Décharge	Température: max. 55° C (en cas de panne: 100° C momentané)	Raccord Débit max.	DN 100 60 l/min	
AL	Air sortant en cas de nuisance d'odeur par produits stérilisés	Température: max. 65° C longueur jusqu'à 10 m longueur jusqu'à 40 m humidité d'air relative jusqu'à 100% Le conduit doit être soudé sans joints, drainé et installé au dehors directement. Prévoir une distance de 3 m min entre le point de sortie et des ouvertures d'aspiration.	Raccord Raccord Débit env.	DN 80 DN 100 2,2 m <sup>3</sup> /h	
AV	Décharge pompe de vide Raccord	Température: max. 55° C (en cas de panne: 100° C momentané) nécessaire seulement en cas de AL.	Raccord Débit max.	DN 65 60 l/min	
DL	Air comprimé	PA 7-10 bar 2 min. max nécessaire temps restant Protégé sur 11,0 bar max par soupape de sécurité ou autre équipement équivalent.	Raccord Puissance dimens. Puissance dimens. Consommation env.	DN 20 115 Nm <sup>3</sup> /h 15 Nm <sup>3</sup> /h 3,3 Nm <sup>3</sup> /h	
E	Raccordement	3NIFE 400 V AC, 50 Hz Borne de raccordement 10 mm <sup>2</sup> Prise à mâchoire du réseau (interrupteur principal) et intégrée dans la machine	Puissance Protection fusible Consommation env.	6,0 kW D 25 A 3,0 kWh	
EW	Eau froide adoucie Refroidissement de circulation	PA 3-5 bar, dureté restante <0,1° d Consommation réduite d'environ 90% -en cas de programmes de liquides- Protégé sur 5,0 bar max par soupape de sécurité ou autre équipement équivalent et limité par caractéristique de la pompe.	Raccord Puissance dimens. Consommation env.	DN 15 1,2 m <sup>3</sup> /h 0,65 m <sup>3</sup> /h	
FD	Vapeur externe	(Vapeur pure) PA 2,5 ±0,25 bar Vélocité 36 m/s. Protégé sur max 3,2 bar par soupape de sécurité ou autre équipement équivalent.	Raccord Puissance dimens. Consommation env.	DN 50 340 kgh 55 kgh	
KW	Eau froide Circuit de refroidissement	Temp. max. 15° C, 3-15° d, PA 3-5 bar Consommation réduite d'environ 90 % -en cas de programmes de vide-	Raccord Puissance dimens. Consommation env.	DN 20 3,6 m <sup>3</sup> /h 0,8 m <sup>3</sup> /h	
TP	Interconnexion IT Option	Installer un câble au concentrateur / panneau de raccordement sur site.	Câble à paire torsadée	Cat. 6	
<b>Données supplémentaires pour le raccordement au circuit d'eau refroidissement du bâtiment (en option)</b>					
KW+	Eau de refroid.	Eau d'aliment. retour, PA 2-9 bar température aller max. admissible	Raccord	DN 40 14° C	
KWR		Débit Δp Perte de pression Emission moyenne de chaleur (Cycle) Emission moyenne de chaleur (Cycle) Emission moyenne de chaleur (Phase de refroidissement) Différence de température	Programmes de vide Programmes de liqué Programmes de liqué (aller / retour)	env. 6,3 m <sup>3</sup> /h 0,8 bar env. 18,8 kW env. 15,1 kW env. 29,3 kW 6 K	
<b>Données supplémentaires en cas de pompe de vide installée séparément (en option)</b>					
VK	Câble de raccord	Excitation de la pompe de vide  Option circuit de refroidissement	1x YSLY-J 1x YSLY-J 1x LJCY 1x YSLY-J	7x0,75 mm <sup>2</sup> 4x2,5 mm <sup>2</sup> 3x0,34mm <sup>2</sup> 3x1,5 mm <sup>2</sup>	
VL	Conduit de raccord pour vide	Température max. 136°C, installez avec 2% min. de pente et sans poches d'eau jusqu'au site d'installation de la pompe de vide.	Raccord Conduit en cuivre Pression max.	DN 850 70x2 mm -1/+2,5 bar	
<b>Données pour le transport, l'installation et la ventilation</b>					
	Ouverture de transport	(Trajet total)  Si l'appareil doit être tourné dans le couloir:	Hauteur Largeur Profondeur Largeur	2300 mm 1700 mm 2000 mm 2400 mm	
	Poids	Poids de transport (pièce singulière la plus lourde) Poids de contrôle		env. 2500 kg env. 5600 kg	
	Charge du sol	points de support AP (110x110 mm)		chaque env. 16200 N	
	Emission de chaleur	50°C dans l'espace technique ne doit pas être dépassé. Enlèvement de la chaleur par conduite d'évacuation d'air sur site.	Espace technique env. Sans pompe de vide env. Chaque côté frontal env. porte ouverte max. additionnel env. Articles traités env.	5700 W 4800 W 1700 W 1700 W 4200 W	
	Puissance acoustique Conditions d'environnement	Données sur demande	Température Humidité relat. de l'air Altitude d'installation	≤ 35°C ≤ 85% ≤ 2000 m	

FIGURE E.1 – Fiche de données techniques pour l'autoclave Vakulab PL 14914-GR du CHUV

Processus	Unité	Quantité	Flux	Impact
Eau refroidissement adoucie	m <sup>3</sup> /h	0.65	market for water, completely softened	0.0002
Vapeur	kg/h	55	steam production, in chemical industry	15.888
Eau refroidissement	m <sup>3</sup> /h	0.8	market for tap water	0.0001
Electricité	kWh	3	electricity, high voltage, production mix	0.055
Matériaux bas plastique	kg	23.2	market for polypropylene, granulate	55.149
Fabrication bac plastique	kg	23.2	market for blow moulding	29.972
Incinération bac plastique incinération	kg	23.2	Polypropylene incineration	-0.361
Total par cycle de 360 kg	cycle	1		100.672
Total	kg	1		0.280

TABLE 26 – Modélisation de l'impact de l'autoclavage

Les masses et composition des bacs en plastics proviennent du site du fabricant ([www.plazur.fr](http://www.plazur.fr)).

La masse des déchets autoclavés par cycle n'est pas connue et peut être variable. Les déchets sont contenus dans des bacs en plastique à usage unique qui seront incinérés avec. Lors d'un cycle, l'autoclaveur peut contenir 6 bacs de 30L et 8 bacs de 60L. Le site du fabricant ([www.plazur.fr](http://www.plazur.fr)), homologue ces bacs pour des charges de respectivement 20 et 30 kg. Ainsi, nous pouvons estimer qu'un cycle permet l'autoclavage de 360 kg de déchets.

## E.2 Incinération

L'impact du traitement des déchets est représenté par le flux "treatment of municipal solid waste, incineration [CH]".

L'incinération valorise les déchets en chaleur et en énergie, permettant ainsi d'éviter la production de ces derniers. Pour quantifier la production de chaleur et d'électricité qui a pu être évité, la formule suivante est utilisée :

$$Impact = Q * f * n * PC$$

Avec l'impact du processus évité en kgCO<sub>2</sub>eq, Q la quantité, f la fraction des déchets effectivement incinérés, n le rendement et PC le pouvoir calorifique du matériel considéré en [kWh] pour le calcul de l'électricité ou [MJ] pour le calcul de la chaleur.

En l'occurrence, la quantité de référence est 1 kg. La fraction de déchets incinérés est de 100%. Les rendements pour l'Europe sont 12% pour la production d'électricité et 31% pour la production de chaleur (Source : CEWEP). Le pouvoir calorifique est déterminé pour chaque éléments, ainsi chacun à sa propre valeur d'incinération. Les valeurs retenues pour cette étape sont résumés dans la table

Matériel	Pouvoir calorifique [MJ/kg]
PP	42.66
ALU	31.6
PET	23.22
PS	41.96
PVC	25
Nitrocellulose	8.368
PC	30.085
Nitrile butadiène	39.6
PE	46.024
carton	16.2
Moyenne déchets incinérés VD	12.5

TABLE 27 – Pouvoir calorifique des différents matériaux considérés

### E.3 Recyclage du papier

L'impact du recyclage du papier a été modélisé comme suit :

$$\text{Impact total} = \text{collection et transport des déchets de papier} + \text{traitement des déchets} \\ - 0.5 * \text{bénéfices recyclage et incinération}$$

L'allocation des bénéfices du recyclage est partagée entre le produit recyclé et le futur produit utilisant ces matériaux.

Les flux de collection et de traitement des déchets sont disponibles sur ecoinvent. Les bénéfices de la fin de vie du papier sont composés de plusieurs flux détaillés ci-après.

La formule est :

$$\text{Bénéfice} = I * PC * (nh * Eh + ne * Ee) + R * S$$

Où le bénéfice est exprimé en kgCO<sub>2</sub>eq évité, avec I la fraction incinéré et R la fraction recyclé de respectivement 32% et 68% en suisse (source : swissinfo.ch), PC le pouvoir calorifique [kWh/kg], nh et ne respectivement les rendement pour la production de chaleur et d'électricité, Eh et Ee les énergies de chaleur et électrique substituées et S le materiel susbstitué.

Les intrants sont listés dans la table 28.

Activité	Flux	Géographie
Collection et transport	market for waste paper, unsorted	CH
Traitement des déchets	treatment of municipal solid waste, incineration	CH
Energie thermique substituée	market for heat, central or small-scale, natural gas	CH
Energie électrique substituée	electricity, high voltage, production mix	CH
Matériaux substitué	cellulose fibre production	CH

TABLE 28 – *Activités impliquées dans le recyclage du papier*