

Université libre de Bruxelles

Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire

Faculté des Sciences

Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

**Analyse des impacts environnementaux du système de
payement cashless en festival**

Mémoire de Fin d'Etudes présenté par

POISSON, Alvaro

en vue de l'obtention du grade académique de

Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

Finalité Gestion de l'Environnement, M-ENVIG

Année Académique : 2020-2021

Directeur : Prof. Wouter Achten

Remerciements

Ce mémoire n'aurait pu être réalisé sans les contributions de diverses personnes.

Tout d'abord, je tiens à remercier mon promoteur, Wouter Achten, pour son accompagnement.

La réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible sans les informations fournies par LaSemo et Emisys. Je remercie sincèrement Samuel Chappel pour le temps qu'il m'a consacré et pour ses réponses à mes nombreux mails, ainsi qu'aux autres organisateurs du festival qui ont répondu à mes questions. J'adresse également mes remerciements à Emisys d'avoir accepté de me fournir certaines des informations nécessaires à la réalisation de ce mémoire.

Merci à mes parents pour leur soutien et leur relecture attentive.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers tous ceux et celles qui m'ont permis d'arriver jusqu'ici. Toutes ces personnes qui par leur amitié, leurs conseils, l'inspiration qu'ils ont suscitée en moi, m'ont permis de m'épanouir durant la réalisation de ces études et de ce mémoire. En particulier, je tiens à remercier les membres du CEE&T, les Brocolis, mes amis, mes colocataires et ma famille.

Résumé

Ce travail étudie les impacts environnementaux du système de paiement cashless en festival. Il se base sur l'édition de 2019 du festival LaSemo.

Pour évaluer ces impacts, une analyse de cycle de vie a été réalisée avec la méthode ILCD. Cette analyse prend en compte les impacts générés par les différents éléments dont est composé le système de paiement : les terminaux de paiement, les bornes de recharge et les étiquettes RFID au moyen desquelles les festivaliers réalisent leurs paiements. L'analyse se base sur des données récoltées auprès de LaSemo et de l'entreprise qui lui fournit ce système, ainsi que sur des informations disponibles dans la littérature académique.

Ce mémoire permet de mettre les informations suivantes en avant :

- il y a un manque d'études et de connaissances sur le sujet des impacts environnementaux des puces RFID ;
- La durée de vie des éléments du système est relativement courte, ce qui implique que les impacts générés par l'ensemble de leur cycle de vie ne peuvent être répartis que sur un nombre restreint de festivals ;
- Dans le cas du festival LaSemo, les impacts environnementaux générés par les lecteurs d'étiquettes et les tablettes utilisées par le système sont d'une ampleur comparable à ceux générés par les étiquettes RFID elles-mêmes ;
- les impacts générés par la consommation d'énergie durant le festival représentent une faible part des impacts imputables au système.

Enfin, sur base de ces résultats, il est possible de dresser des recommandations pour diminuer les impacts environnementaux du système : le fait d'augmenter la durée de vie des équipements du système de paiement et de réutiliser les étiquettes RFID pendant plusieurs festivals permettrait de diminuer les impacts environnementaux du système de paiement cashless d'environ 50 %.

Mots clés

Cashless, RFID, festival, analyse de cycle de vie, impacts environnementaux.

Liste des sigles et abréviations

ACV : Analyse de Cycle de Vie

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

ILCD : International Life Cycle Data system

JRC : Joint Research Center

KWh : Kilo Watt Heure

NFC : Near Field Communication (sous-ensemble des méthodes de communication RFID)

MMA : Masse Maximale Autorisée

RFID : Radio Frequency IDentification

Téq CO₂ : Tonne d'équivalent CO₂

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication

Table des matières

Remerciements	I
Résumé	II
Mots clés	II
Liste des sigles et abréviations	III
1 Introduction	1
Partie théorique	3
2 Étiquette RFID	3
2.1 Fonctionnement du système RFID	3
2.2 Historique	4
3 Système de paiement cashless en festival.....	5
3.1 Historique	5
3.2 Fonctionnement du système de paiement cashless.....	5
3.3 Avantages et inconvénients du système de paiement cashless.....	6
4 Présentation du festival étudié et de Emisys	7
5 État de l’art	8
5.1 Impacts environnementaux des systèmes RFID	8
5.2 Impacts des puces RFID en festival	11
6 Objectif du mémoire.....	12
6.1 Questions de recherche.....	12
6.2 Délimitation des recherches	13
Partie pratique	16
7 Matériel et méthodes	16
7.1 Principes et fonctionnement d’une analyse de cycle de vie	16
7.2 Phases de l’ACV	16
7.3 Objectifs	17
7.4 L’unité fonctionnelle	18
7.5 Les frontières du système	19
7.6 Méthode d’allocation.....	19

7.7	Approche cut-off	20
7.8	Analyse de cycle de vie attributionnelle.....	20
7.9	Logiciel et méthode utilisés.....	20
8	Collecte des données	21
8.1	Choix du festival	22
8.2	Données	22
9	Résultats	33
9.1	Présentation des résultats.....	33
9.2	Changement climatique	34
9.3	Destruction de la couche d’ozone.....	34
9.4	Toxicité humaine, effets cancérigènes et non cancérigènes	34
9.5	Particules fines	35
9.6	Rayonnements ionisants, impacts sur la santé humaine	35
9.7	Rayonnements ionisants, impacts sur les écosystèmes	36
9.8	Formation d’ozone photochimique.....	36
9.9	Acidification.....	36
9.10	Eutrophisation terrestre	37
9.11	Eutrophisation des eaux douces et marines	37
9.12	Écotoxicité aquatique (eau douce).....	38
9.13	Utilisation des sols.....	38
9.14	Épuisement des ressources minérales, fossiles et renouvelables.....	38
9.15	Épuisement des ressources en eau.....	39
10	Discussion	40
10.1	Consommation d’électricité durant le festival.....	40
10.2	Lecteur de cartes de banque	41
10.3	Étiquette RFID	41
10.4	Tablette.....	42
10.5	Transport	42
10.6	Lecteur d’étiquettes RFID	42

10.7	Comparaison des impacts des différents transports.....	42
10.8	Comparaison avec d'autres recherches	43
10.9	Pistes d'amélioration du système de paiement cashless	44
11	Conclusion et perspectives	46
	Bibliographie	48
	Annexes.....	56

Liste des figures

Figure 1 : Composition d'un système RFID (illustration personnelle, d'après Duroc et Kaddour, 2012, et CITC, 2015).....	3
Figure 2 : Festivalier payant une consommation avec la carte fixée à son bracelet. (Source : page Facebook du festival LaSemo).	6
Figure 3 : Phases nécessaires à la réalisation d'une ACV (source : ISO 14 040, trouvée sur le site http://eco3e.eu/boite-a-outils/acv/).	17
Figure 4 : Processus et constituants pris en compte dans l'analyse de cycle de vie et pondération de ces processus (illustration personnelle).	24
Figure 5 : Changement climatique.	34
Figure 6 : Destruction de la couche d'ozone.....	34
Figure 7 : Toxicité humaine, effets cancérogènes.	35
Figure 8 : Toxicité humaine, effets cancérogènes.	35
Figure 9 : Impacts (sur la santé humaine) des particules fines générées par le système de paiement cashless.....	35
Figure 10 : Rayonnements ionisants, impacts sur la santé humaine.	35
Figure 11 : Rayonnements ionisants, impacts sur les écosystèmes.	36
Figure 12 : Formation d'ozone photochimique.....	36
Figure 13 : Acidification.	36
Figure 14 : Eutrophisation terrestre.	37
Figure 15 : Eutrophisation des eaux douces.	37
Figure 16 : Eutrophisation des eaux marines.	37
Figure 17 : Ecotoxicité aquatique.....	38
Figure 18 : Utilisation des sols.	38
Figure 19 : Epuisement des ressources minérales, fossiles et renouvelables.	38
Figure 20 : Contribution des sources d'impact prises en compte aux différentes catégories d'impacts étudiées.....	40
Figure 21 : Comparaison de l'efficacité de plusieurs mesures visant à réduire les impacts environnementaux du système de paiement cashless.	45
Figure 22 : Données concernant la consommation électrique du système de paiement cashless durant le festival	61

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fonctions principales et secondaires du système de paiement cashless à LaSemo.	18
Tableau 2 : Informations sur le transport d'un lecteur d'étiquette RFID ou d'un lecteur de cartes de banque (d'après Lindgreen <i>et al.</i> 2018).	27
Tableau 3 : Processus intervenant en fin de vie d'un terminal de paiement.	27
Tableau 4 : Transport des tablettes depuis la Chine jusqu'au siège social d'Emisys.	30
Tableau 5 : Résultats de l'ACV pour l'épuisement des ressources en eau.	39
Tableau 6 : Composition d'une étiquette RFID (d'après Bottani <i>et al.</i> , 2014).	56
Tableau 7 : Calcul de la durée moyenne d'utilisation d'une étiquette RFID.....	57
Tableau 8 : Composition du lecteur de cartes de banques tel que modélisé dans Simapro (adapté de Lindgreen <i>et al.</i> (2018).	58
Tableau 9 : Composition du lecteur de cartes de banques tel que modélisé dans Simapro (d'après Lindgreen <i>et al.</i> (2018).	59
Tableau 10 : Processus de fabrication des lecteurs de cartes de banques et RFID (d'après Lindgreen, communication personnelle).	60
Tableau 11 : Impacts environnementaux du système de paiement cashless du festival LaSemo 2019.	62

1 Introduction

Ces dernières années, un nouveau système de paiement s'est imposé dans la majorité des grands festivals. Auparavant les paiements au sein des festivals se faisaient généralement au moyen de jetons ou de tickets, achetés sur le site du festival. Depuis quelques années, de nombreux organisateurs de festivals ont fait le choix de passer à un système de paiement électronique, appelé « système de paiement cashless ».

Ce système de paiement consiste à fournir à chaque festivalier une carte de paiement propre au festival. Sur cette carte, les festivaliers peuvent charger un certain montant afin de faire des dépenses durant le festival. Ce système facilite la comptabilité du festival, allège les poches des festivaliers, diminue les temps de file aux bars et offre encore bien d'autres avantages.

Ce système de paiement repose sur la technologie RFID (Radio Frequency Identification). Cette technologie utilise des ondes radios pour permettre l'échange d'informations entre la carte de paiement du festivalier et le terminal de paiement. Cette technologie est également utilisée dans un nombre important d'autres secteurs et dans un nombre croissant d'applications : on la retrouve notamment dans des cartes de métro, des badges d'identification, dans des systèmes d'antivols ou encore dans des cartes de banque.

L'utilisation de cette technologie dans des festivals soulève plusieurs questions. L'une de ces questions est la mesure de ses impacts environnementaux. En effet, comme n'importe quelle technologie, la RFID nécessite l'utilisation de matières premières, d'énergie, la réalisation de processus de fabrication ou encore un certain nombre de transports de marchandises, ce qui occasionne des impacts sur l'environnement. Ces impacts incluent notamment l'épuisement de ressources minérales ou fossiles, l'émission de gaz à effet de serre, les impacts sur les écosystèmes ou sur la santé humaine...

Dans un contexte où les atteintes portées à l'environnement engendrent d'importants risques tant pour la biodiversité que pour les humains, il semble important de connaître les impacts qu'ont nos activités et nos choix sur l'environnement. Il serait donc intéressant de mesurer l'ampleur des impacts de ce système de paiement et d'identifier les étapes de son cycle de vie qui les génèrent. De telles informations pourraient fournir une base pour chercher à diminuer ces impacts environnementaux.

L'objectif principal de ce mémoire est donc de mesurer les impacts environnementaux du système de paiement cashless. Cette mesure se fera au moyen d'une analyse de cycle de vie, une méthode d'analyse qui prend en compte toutes les étapes du cycle de vie d'un produit ou d'un service pour en évaluer les impacts environnementaux.

L'objectif secondaire est de fournir des pistes pour diminuer ces impacts environnementaux. Les résultats de l'analyse de cycle de vie seront donc interprétés afin de déterminer quelles sont les actions qui semblent les plus pertinentes et qui pourraient avoir une influence positive sur les impacts environnementaux du système de paiement cashless.

Pour mener à bien cette recherche, ce mémoire se base sur le cas de l'édition 2019 du festival LaSemo. Cela permet de baser l'analyse de cycle de vie sur des informations concrètes issues d'un événement ayant réellement eu lieu.

Qu'est-ce qu'une puce RFID ? Sur quelle technologie repose-t-elle ? Cerne-t-on parfaitement les bénéfices de ce système ? Que nous apprend la littérature scientifique sur le sujet ? Quelles problématiques reste-t-il à étudier ? La première partie du mémoire vise à donner les explications théoriques nécessaires à la compréhension de la recherche. Cette partie comprend trois sections. D'abord, une brève présentation du fonctionnement et de l'histoire des puces RFID ainsi que du mode d'utilisation du système de paiement cashless en festival. Vient ensuite l'état des connaissances établies sur les sujets étudiés. Y seront synthétisées les connaissances sur les bénéfices et les impacts environnementaux des puces RFID d'une part et celles sur les impacts environnementaux des festivals d'autre part. Cet état des connaissances insistera aussi sur les lacunes présentes dans la littérature académique sur le sujet étudié. Cette partie se termine par la formulation des questions de recherches auxquelles ce mémoire tentera de répondre.

Lorsque sont bien cernés les questions qui se posent encore sur le sujet et les objectifs du travail, se posent de multiples questions sur la façon d'atteindre ceux-ci : Quelle méthode permet de quantifier les impacts étudiés ? Quelles données seront-elles nécessaires ? Comment les obtenir ? La seconde partie de ce mémoire présente les aspects pratiques de la recherche menée. Elle est composée de trois sections : Matériel et méthode, Résultats et interprétation des résultats et Discussion. La section *Matériel et méthode* présente la méthode ainsi que les analyses utilisées, la manière dont les données sont collectées, les choix méthodologiques réalisés et les logiciels employés. La section *Résultats et interprétation des résultats* présente les résultats obtenus et les interprétations qu'il est possible d'en tirer. Enfin, dans la section *Discussion*, les résultats obtenus sont utilisés pour répondre aux questions de recherche posées dans la première partie. C'est dans cette section que sont présentées des pistes de solutions visant à diminuer les impacts du système de paiement cashless.

La conclusion synthétise les points importants du travail tels que les objectifs du mémoire, les résultats de l'analyse de cycle de vie et les réponses aux questions de recherche. On y trouve également l'exposé des limites de cette étude ainsi qu'une série de propositions et de pistes pour la réaliser des études plus poussées sur la question.

Partie théorique

2 Étiquette RFID

2.1 Fonctionnement du système RFID

La Radio Frequency IDentification (RFID) est une technologie qui permet d'envoyer des données sur un appareil électronique (appelée étiquette RFID) et de les récupérer. Ces informations circulent par ondes radio entre cette étiquette et l'appareil qui la lit.

Un dispositif RFID est composé des éléments suivants (AFSET, 2009 ; Duroc et Kaddour, 2012 ; CITC, 2015) :

- l'étiquette RFID : cette étiquette est composée d'une puce électronique (aussi appelée *tag RFID*, *transpondeur* ou *marqueur*) sur laquelle sont stockées des informations et d'une antenne qui permet de recevoir et de renvoyer ces informations ;
- le lecteur (aussi appelé *interrogateur* ou *décodeur*), dans lequel est également intégrée une antenne, permettant de communiquer avec l'étiquette RFID par ondes radio ;
- un système permettant de traiter les données (par exemple un ordinateur).

Ces différents éléments sont repris à la figure 1.

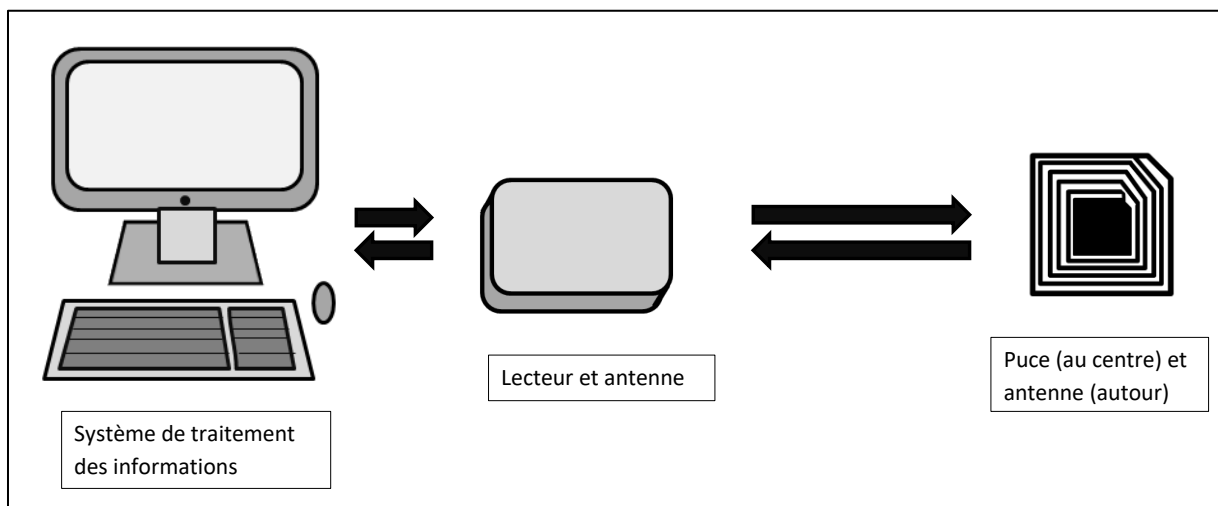


Figure 1 : Composition d'un système RFID (illustration personnelle, d'après Duroc et Kaddour, 2012, et CITC, 2015).

Pour assurer la communication avec le lecteur, l'étiquette RFID doit être alimentée en énergie. Il existe aujourd'hui deux manières de fournir l'énergie à l'étiquette (AFSET, 2009). Certaines étiquettes sont alimentées en énergie par une batterie (ou une pile), ce qui leur permet de communiquer sur de relativement grandes distances (supérieures à 100 m), on parle alors d'étiquettes alimentées (AFSET, 2009 ; CITC, 2015). D'autres étiquettes puisent leur énergie du rayonnement électromagnétique émis

par le lecteur durant toute la durée de l'opération. Ce rayonnement induit un courant dans l'antenne de l'étiquette, permettant à celle-ci de fournir une réponse (AFSET, 2009). On parle alors d'étiquettes *téléalimentées*, cette technologie s'applique pour des communications sur de plus petites distances. Les fréquences radio utilisées varient selon la technologie employée¹.

Les étiquettes *téléalimentées* sont les plus utilisées, elles présentent l'avantage d'être moins coûteuses et de ne pas nécessiter d'entretien. Il s'agit notamment du type d'étiquettes utilisées par les systèmes de paiement cashless, c'est donc à ces étiquettes que je m'intéresserai dans ce travail.

2.2 Historique

La technologie RFID a été créée pour permettre l'échange d'informations. À l'origine, sa première application était de reconnaître les avions alliés durant la Seconde Guerre mondiale (Gossart et Draeta, 2010 ; Dobkin, 2012). Le premier article décrivant son principe de fonctionnement a été publié par Stockam en 1947 (cité par Dobkin, 2012 et Perret, 2014). Par la suite, il a été adapté pour des applications civiles et commerciales, pour lesquelles il a commencé à être utilisé dans les années 1960 (Perret, 2014).

Cette technologie permet de faciliter les procédures de reconnaissance ou de capture d'identifiant. Si sa fonction principale est semblable à celle d'un code-barre, elle offre un grand nombre d'avantages par rapport à celui-ci. En effet, elle est davantage réutilisable, elle a une plus longue durée de vie, elle peut être utilisée dans une plus grande diversité d'environnements, elle permet des distances de lecture plus importantes, d'automatiser cette lecture et de limiter les erreurs ou encore d'augmenter la vitesse de lecture en lisant plusieurs puces simultanément (Perret, 2014 ; Fescioglu *et al.*, 2014 ; Gładysz et Kluczek, 2019). Tous ces avantages en font une technologie devenue indispensable dans un grand nombre de secteurs et dans un nombre sans cesse croissant d'applications (Fescioglu *et al.*, 2014).

On retrouve notamment cette technologie dans les cartes de banques (pour le paiement sans contact), les cartes de transports en commun, les badges d'identification, les antivols dans les magasins, dans des systèmes de traçabilité de marchandises (notamment alimentaires), dans des systèmes de sécurité et dans des systèmes de soins de santé (Kräuchi *et al.*, 2005 ; Gossart et Draeta, 2010 ; Perret, 2014 ; Fescioglu *et al.*, 2014).

¹ Il existe également des systèmes actifs, dans lesquels les étiquettes sont équipées d'un émetteur radiofréquences (CITC, 2015).

3 Système de paiement cashless en festival

3.1 Historique

Le système de paiement cashless a été utilisé pour la première fois par le Sziget festival en 2011, en Hongrie (Salaun, 2016 ; IQ magazine, 2019). Depuis, son utilisation s'est répandue dans la plupart des grands festivals de musique (European Festival Report, 2013 ; La Libre, 2017) puis à d'autres types d'évènements (sportifs, salons professionnels, évènements culturels...) (Salaun, 2016).

Dans ce mémoire, je m'intéresserai au cas du festival LaSemo, qui utilise ce système de paiement depuis 2016.

3.2 Fonctionnement du système de paiement cashless

À LaSemo, chaque festivalier reçoit en début de festival un bracelet, auquel est fixée une carte. Cette carte contient une étiquette RFID (composée d'une puce et d'une antenne). La puce RFID contient différentes informations : le montant présent sur le compte du client (il s'agit ici d'un compte propre au festival, sur lequel le festivalier peut charger un certain montant d'argent), les jours pour lesquels il a payé sa place et les zones auxquelles il a accès (les campings ou encore les zones réservées aux bénévoles ou aux artistes). Les festivaliers qui ne souhaitent pas avoir leur carte fixée à leur poignet peuvent demander une carte cautionnée, qu'ils rendent en fin de festival.

Muni de cette carte, le festivalier peut donc réaliser plusieurs opérations. Il peut y charger une certaine somme d'argent en se rendant auprès d'une borne de recharge. Il peut également dépenser cet argent aux bars situés dans le festival (figure 2), aux stands vendant de la nourriture et chez les artisans. Ces différents points de consommation possèdent tous des bornes (contenant un émetteur et une antenne) qui permettent l'échange d'informations avec la puce, et donc les prélèvements sur le compte du festivalier. Lorsqu'il veut entrer dans le festival ou dans le camping du festival, le festivalier présente son bracelet (et la carte qui y est fixée) à un bénévole qui la « scanne », pour vérifier si le festivalier a bien acheté son ticket pour le festival ou le camping. Enfin, à la fin du festival, les festivaliers peuvent déposer leurs bracelets (et l'étiquette RFID qui y est fixée) dans des caisses, afin que l'on puisse les récupérer. Elles ne sont cependant pas réutilisées par le festival mais simplement envoyées vers une filière de traitement.

Il est à noter que cette description du système est spécifique à LaSemo. La manière dont les festivals utilisent des systèmes RFID peut varier d'un évènement à l'autre. Certains choisissent de ne les utiliser que pour les boissons, tandis que d'autres les utilisent pour toutes les transactions monétaires durant le festival (boissons, nourriture, biens). Certains festivals fournissent des cartes séparées des bracelets, n'étant pas utilisées dans le contrôle des accès au festival, tandis que certains pourraient choisir d'utiliser l'étiquette RFID uniquement pour l'identification à l'entrée du festival, mais pas pour le

système de paiement (bien que, jusqu'ici, je n'aie pas encore trouvé de festival optant pour ce dernier choix).



Figure 2 : Festivalier payant une consommation avec la carte fixée à son bracelet. (Source : page Facebook du festival LaSemo).

3.3 Avantages et inconvénients du système de paiement cashless.

Ce système de paiement et d'identification offre plusieurs avantages, tant aux organisateurs qu'aux festivaliers, mais également certains inconvénients. Les avantages et inconvénients non référencés cités ci-dessous sont tirés d'un entretien avec Samuel Chappel, directeur du festival LaSemo.

Avantages

- Ce système permet un suivi des dépenses des visiteurs dans l'évènement (Della Lucia, 2013).
- Il permet une connaissance de la répartition des festivaliers (à proximité de quel bar, dans le camping ...) du nombre de festivaliers qui doivent encore arriver.
- Il permet une meilleure gestion des stocks et de mieux préparer les bars en fonction de ce qui y est réellement consommé.
- Il permet une meilleure connaissance de ce qui est vendu, ce qui facilite la déclaration de taxe (Weezevent, 2018).
- Dans le cas du festival LaSemo, il permet une vision des montants gagnés par les différents food trucks et la mise en place d'un système de paiement des emplacements prenant en compte ces montants. Actuellement, les montants demandés aux food trucks ne prennent en compte leurs performances environnementales.
- La diminution de la quantité d'argent physique présent et de jetons sur le site donne également lieu à d'autres avantages :
 - o la diminution du risque de vol ;
 - o la diminution du risque d'erreur de la part des bénévoles ;

- la diminution du temps passé à compter les jetons et l'argent pendant et à la fin du festival ;
- la diminution des contacts avec l'argent ou avec les jetons qui engendre des bénéfices en termes d'hygiène, ce qui est plus particulièrement apprécié dans le contexte actuel (dans la mesure où certains événements peuvent être organisés).
- Il permet un gain de temps lors des paiements (Mortensen *et al.*, 2016) ce qui entraîne une diminution des files aux bars.
- Le système tel qu'il est mis en place au festival LaSemo (ainsi que dans d'autres événements) permet d'éviter que le festivalier ne perde son moyen de paiement (ses jetons ou ses tickets), puisque celui-ci est fixé à son poignet.

Inconvénients

- Coûts supplémentaires.
- Dépendance au wifi et à l'électricité. En cas de panne ou de problème technique, c'est l'ensemble des bars qui sont paralysés.
- Impacts environnementaux découlant de l'utilisation de ce système².
- Impossibilité pour le festivalier de donner ses jetons ou sa carte à un ami pour qu'il aille lui chercher à boire, il y a donc une obligation de se déplacer au bar pour tous ceux qui veulent consommer.

4 Présentation du festival étudié et de Emisys

Le festival LaSemo est un festival créé en 2008. Les premières éditions ont eu lieu à Hotton, puis à partir de 2013, le festival se déplace dans le parc d'Enghien. Dès la première édition, le festival a choisi de faire attention à limiter ses impacts environnementaux (site internet de LaSemo). Ses organisateurs le présentent comme un festival à la pointe du développement durable, et communiquent sur leurs différents engagements allant dans ce sens. Il s'agit d'ailleurs du premier festival belge à avoir obtenu le label ISO 20121 certifiant qu'il s'agit d'un événement durable³ (RTBF, 2015).

Le festival avait tenté en 2010 de mettre en place son propre système de paiement cashless. Un des objectifs était que les festivaliers puissent suivre le bilan carbone de leurs consommations et avoir leur propre bilan carbone personnalisé en fonction de ce qu'ils consommaient. Le système n'a malheureusement pas abouti et c'est en 2016 qu'ils ont commencé un partenariat avec Emisys pour que cette entreprise mette en œuvre leur système de paiement (entretien avec Samuel Chappel).

² Pour le festival LaSemo qui est attaché à diminuer ses impacts environnementaux, le fait que ce système ait probablement des impacts sur l'environnement représente un inconvénient.

³ Ce label est intitulé « Systèmes de management responsable appliqués à l'activité événementielle – Exigences et recommandations de mise en œuvre. »

Emisys est une société anonyme active depuis 2016 dont l'objet principal est d'assister des événements dans la gestion électronique de leurs entrées, de leur système de paiement ou encore de leur système de préventes. Il s'agit du principal fournisseur de ce type de service en Belgique Francophone (site internet d'Emisys).

5 État de l'art

Cette section présente le contexte dans lequel s'inscrit cette recherche ainsi que son utilité en donnant l'état des connaissances sur les impacts environnementaux des systèmes RFID ainsi qu'une description des recherches menées sur les impacts environnementaux des festivals.

5.1 Impacts environnementaux des systèmes RFID

À ce jour, il existe peu d'articles et d'études réalisant une analyse de cycle de vie (ACV) de systèmes basés sur la technologie RFID (Gładysz *et al.*, 2020). Plusieurs études traitent des effets économiques et environnementaux de l'utilisation de ces systèmes (il s'agit souvent d'impacts positifs découlant des avantages logistiques qu'offre ce système) (Gładysz et Kluczek, 2019 ; Konecka *et al.*, 2020). Cependant ces études ne s'intéressent généralement pas aux impacts liés au cycle de vie des étiquettes RFID.

Gładysz et Kluczek (2019) ont réalisé un inventaire des études existant portant sur les conséquences environnementales de la technologie RFID. Dans leur article, ils posent la distinction entre les impacts du système RFID sur les performances de la compagnie qui l'utilise (et la réduction de ses impacts environnementaux qui peut en découler) et la « durabilité » du système en lui-même (les impacts liés à son cycle de vie). Bottani *et al.* (2014) font la même distinction. Dans ce travail, je parlerai généralement de gains environnementaux (ou éventuellement d'impacts environnementaux positifs) pour désigner les réductions d'impacts rendues possibles par l'utilisation de systèmes RFID. J'utiliserai le terme *impacts environnementaux* pour désigner les autres impacts générés par l'ensemble des étapes du cycle de vie.

Plusieurs articles étudient déjà les impacts du système RFID sur les performances des compagnies l'utilisant et les retombées positives sur l'environnement (via une réduction des gaspillages, une optimisation de l'énergie...) (voir à ce sujet : Indranil et Shipeng, 2011 ; Duroc et Kadour, 2012 ; Gładysz *et al.*, 2020 ; Konecka *et al.*, 2020). En revanche, peu d'auteurs se sont intéressés aux effets négatifs pouvant survenir au cours du cycle de vie des étiquettes et des autres composants du système.

Gains environnementaux

Un certain nombre d'études, notamment des analyses de cycle de vie, mettent donc en évidence le fait que l'utilisation d'étiquettes RFID permet de diminuer les impacts environnementaux des systèmes dans lesquels elles sont utilisées (Thomas, 2008 ; Indranil et Shipeng, 2011 ; Duroc et Kadour, 2012 ;

Gładysz *et al.*, 2020 ; Konecka *et al.*, 2020)⁴. Elles constituent aussi un outil d'aide à la décision, tant d'ordre économique qu'environnemental. Il existe également des projets utilisant des étiquettes RFID pour mieux suivre le parcours d'un produit afin de connaître son bilan carbone. Plusieurs études mettent en évidence le fait que les systèmes RFID peuvent être utilisés pour réaliser le suivi d'une marchandise afin de mieux connaître son cycle de vie et de mieux connaître les impacts environnementaux qu'elle génère (Bjork *et al.*, 2011 ; projets ELIMA et PROMISE, cités par Yang *et al.*, 2009). Ces étiquettes peuvent aussi être utilisées pour suivre les mouvements et comportements d'animaux sauvages, ce qui peut constituer un outil utile dans la protection de la biodiversité (Gładysz *et al.*, 2020).

Indranil et Shipeng (2011) se sont penchés sur onze utilisations durables des étiquettes RFID dans différents domaines : on y retrouve des initiatives de réduction des émissions de gaz à effet de serre, des systèmes d'incitation au tri des déchets, des démarches de réduction des consommations d'énergies... Les systèmes RFID semblent donc offrir un large éventail d'utilisations favorables à l'environnement.

Impacts environnementaux

Les différentes études précitées ne s'intéressent pour la plupart qu'aux gains environnementaux rendus possibles par l'utilisation d'étiquettes RFID, et pas aux incidences environnementales inévitablement causées par leur fabrication, leur transport, la consommation énergétique qu'elles génèrent. La majorité des articles y font une brève référence dans l'introduction, mais ce n'est généralement pas le sujet étudié. Seuls quelques chercheurs ont tenté d'étudier les impacts liés au cycle de vie de ces étiquettes.

Kanth *et al.* (2012) ont réalisé une ACV (de type « cradle to grave ») pour comparer les impacts environnementaux (d'utilisation des ressources d'entrée et d'émissions dans l'air, l'eau, l'eau de mer, le sol industriel et les émissions dangereuses) d'une étiquette RFID et d'une antenne PCB (circuit imprimé). Leur étude montre que les étiquettes RFID occasionnent moins d'impacts environnementaux que les circuits imprimés PCB (cependant, ils n'expliquent pas dans leur article en quoi la comparaison entre ces deux produits est pertinente ni quelle est la fonction commune ou l'unité fonctionnelle qu'ils retiennent pour réaliser cette comparaison).

Bottani *et al.* (2014), ont réalisé une ACV de l'utilisation d'étiquettes RFID dans la chaîne de distribution de lait frais. Ils ont pris en compte d'une part les impacts (négatifs) causés par l'ensemble des étapes nécessaires à la fabrication et au fonctionnement des étiquettes et d'autre part les effets positifs que permet l'utilisation du système RFID. Dans ce cas-ci, les impacts positifs sont les

⁴ Les articles sur ce sujet sont nombreux, ceux cités dans cette parenthèse permettent d'avoir une vue d'ensemble sur la question.

diminutions de gaspillage de lait grâce à un meilleur respect du principe *First in first out*⁵. Leurs résultats mettent en avant le fait que les impacts positifs dépassent les impacts négatifs, et que l'utilisation d'étiquettes RFID dans la chaîne de distribution du lait frais semble donc être une pratique intéressante pour l'environnement.

Cet article est particulièrement utile à ce mémoire. Comme les auteurs le soulignent, il s'agit de la seule étude à réaliser une ACV aussi complète de la technologie RFID et de son utilisation. Ils terminent leur article en précisant que les conclusions de leurs recherches (à savoir que l'utilisation d'étiquettes RFID a un impact globalement positif sur l'environnement) sont spécifiques à la chaîne de distribution du lait, et que les résultats ne s'appliquent pas à d'autres produits. Les charges environnementales peuvent en effet varier fortement d'un produit à l'autre. Il leur semble donc important que de nouvelles recherches soient menées pour étudier les impacts d'étiquettes RFID dans d'autres systèmes, alimentaires ou non.

Ces deux articles semblent être les seuls à réaliser une ACV d'étiquettes RFID prenant en compte leurs impacts négatifs. Ils constituent donc un point de départ pour s'intéresser à la question des impacts environnementaux causés par la technologie RFID. Cependant, étant donné la diversité des domaines d'application, il n'est pas possible de se baser sur les résultats de ces articles pour prévoir les impacts environnementaux causés par des étiquettes RFID qui seraient utilisées dans d'autres contextes. On se trouve donc dans une situation où les connaissances déjà établies sont insuffisantes pour évaluer les impacts environnementaux du système de paiement cashless.

Lindgreen *et al.* (2018) ont évalué (au moyen d'une ACV) les impacts environnementaux du paiement par carte de banque et ont comparé ces impacts à ceux occasionnés par le paiement en liquide. Ils arrivent à la conclusion que les impacts environnementaux causés par le paiement par carte sont « relativement modestes » par rapport à ceux causés par le paiement en liquide. Le paiement par carte de banque peut se faire avec ou sans contact. Pour le paiement sans contact, la plupart des cartes de banques contiennent des étiquettes RFID (Mayes et Markantonakis, 2008). Si cette étude ne donne pas beaucoup d'informations sur les impacts spécifiquement liés aux étiquettes, elle est cependant intéressante, car elle donne des informations sur les lecteurs de cartes de banques, qui sont équipés pour pouvoir communiquer avec une étiquette RFID.

Notons enfin que même si peu de chercheurs ont tenté de mesurer précisément les impacts environnementaux des étiquettes RFID, il semble généralement admis qu'elles génèrent diverses atteintes à l'environnement. De nombreux auteurs le mentionnent dans leurs articles (Gossart et Draeta, 2010 ; Indranil et Shipeng, 2011 ; Gladysz et Kluczek, 2019 ; Gladysz *et al.*, 2020) et certaines

⁵ Principe notamment utilisé dans l'agroalimentaire qui veut que les premiers produits à entrer dans un endroit soient les premiers à en sortir, pour éviter de se retrouver avec des produits périmés ou trop vieux.

recherches sont réalisées pour développer des étiquettes RFID plus durables (Subramanian *et al.*, 2005 ; Yang *et al.*, 2009).

5.2 Impacts des puces RFID en festival

L'utilisation d'étiquettes RFID en festivals est susceptible d'entraîner des impacts positifs sur l'environnement. Il est par exemple possible qu'elle permette une amélioration des connaissances des comportements des festivaliers, ce qui peut se traduire par une amélioration de la logistique (Salaun, 2016). Cette amélioration de la logistique et des connaissances pourrait permettre une diminution de la consommation électrique ou une meilleure gestion des flux de déchets. Il est également possible que le système de paiement cashless ait moins d'impacts négatifs que le système qu'il remplace⁶.

Cependant, s'il est possible que ces systèmes de paiement aient certains effets positifs sur l'environnement, il est également certain qu'ils occasionnent des impacts environnementaux négatifs. Ils nécessitent en effet l'utilisation de matières premières, de processus de fabrications pouvant générer des pollutions, des transports, une consommation d'énergie et ne sont généralement pas recyclables (Gladysz *et al.*, 2020 ; Indranil et Shipeng, 2011 ; Sower *et al.*, 2013 ; Aliaga *et al.*, 2011, cités par Gladysz et Kluczek, 2019 ; Gossart et Draeta, 2010).

Au niveau des festivals

Impacts environnementaux et durabilité dans les festivals

Les festivals ont bien évidemment une incidence sur l'environnement (ISO, 2012 ; Toniolo *et al.*, 2017). Selon l'Ademe (2007), un événement qui accueillerait 5 000 personnes générerait 2,5 tonnes de déchets, consommerait 1 000 kWh d'énergie et nécessiterait 500 kg de papier. Dans son rapport sur les meilleures pratiques environnementales en festival de musique, EneRis (2011) se basait sur une estimation de 1000 Téqu CO₂ pour un festival de 50 000 personnes.

Plusieurs études ont tenté d'évaluer certaines des répercussions sur l'environnement découlant d'événements. Ces analyses d'impacts sont assez diverses : Collins *et al.* (2008) comparent deux méthodes d'analyse d'impacts environnementaux (Ecological Footprint analysis and Environmental Input-Output modelling) pour évaluer les effets environnementaux générés par des événements sportifs. Andersson et Lundberg (2013) ont mesuré l'empreinte écologique et le bilan carbone d'un festival (ainsi que ses impacts économiques, sociaux, et culturels). Lou *et al.* (2015) ont étudié les impacts environnementaux liés au système de gestion de déchets d'un événement (Shanghai Expo) au moyen d'une ACV⁷. Plusieurs festivals ont déjà réalisé leur bilan carbone (EneRis, 2011). Concernant

⁶ Même si dans le cas du festival LaSemo, cela semble peu probable, puisque l'ancien système utilisait des jetons réutilisables fabriqués à base d'amidon d'épluchures de pomme de terre.

⁷ Pour plus d'exemples d'analyses d'impacts environnementaux générés par des événements, lire notamment Toniolo *et al.* (2017).

le festival LaSemo, auquel je m'intéresse dans ce mémoire, un étudiant de l'IGEAT a réalisé son bilan carbone en 2016 (Lepage, 2016).

Il existe également des études sur les équipements utilisés ou des biens consommés en festivals, comme des analyses de cycle de vie de gobelets (Bättig, 2002, cité par Jolliet *et al.*, 2015 ; Vercalsteren *et al.*, 2010) ou des études des impacts liés à la production de bière (Amienyo et Adisa, 2016 ; Milburn et Flavian, 2019).

Pour encourager les festivals à adopter des comportements plus favorables à l'environnement, et pour accompagner ces comportements, plusieurs outils ont été développés. Il existe des labels tels que la norme ISO20121, qui fournit un cadre pour les événements souhaitant s'inscrire dans une démarche durable (ISO, 2012), le label « Green & Responsible Event » mis en place par l'université de Liège (Lepage, 2016) ou encore le label « CO2-neutral® » (CO2 Neutral Company, 2020, site internet). La Région Wallonne a également mis en place la Charte « Festival Wallonie#Demain » (Wallonie Demain, 2021, site internet). Enfin, certaines pratiques peuvent être adoptées en dehors du cadre de labels ou de chartes, pour des raisons économiques et/ou de marketing, ou dans l'unique but d'améliorer le bilan environnemental du festival. Parmi ces pratiques, on peut trouver l'utilisation de toilettes sèches et de gobelets réutilisables, la participation au financement de programmes de plantation d'arbres pour compenser les émissions de gaz à effet de serre, le fait de proposer des moyens de transports moins polluants pour se rendre au festival (navettes depuis la gare la plus proche, plateforme de covoiturage), le choix d'encourager une alimentation bio et/ou végétarienne sur le site du festival, ou encore la décision d'étudier les impacts qu'on génère, afin de les diminuer⁸.

De leur côté, de nombreux festivaliers semblent aussi être demandeurs de pratiques plus durables. Wong *et al.* (2015) affirment que les festivaliers sont sensibles aux mesures favorables à l'environnement prises par les festivals et seraient prêts à dépenser davantage d'argent dans un festival lorsqu'ils le perçoivent comme plus respectueux de l'environnement que les autres événements.

6 Objectif du mémoire

6.1 Questions de recherche

L'utilisation d'un système RFID dans le cadre d'un festival génère des impacts environnementaux négatifs. Dès lors, étudier ces impacts me semble être intéressant aussi bien pour les festivals que pour le reste des secteurs employant des étiquettes RFID. En effet, tant les organisateurs de festival que les festivaliers semblent montrer un intérêt la réduction de leurs impacts environnementaux. D'autre part,

⁸ Il existe d'ailleurs des guides pour conseiller les organisateurs de festivals désireux de mettre en place de telles pratiques (EneRis, 2011 ; site internet eventecocytoven.be, 2021)

comme en attestent les articles cités dans l'état de l'art, il y a un manque de données sur les pressions environnementales générées par la technologie RFID.

Il me semble donc important de s'intéresser aux impacts environnementaux négatifs du système de paiement cashless, en prenant en compte l'ensemble des étapes du cycle de vie des étiquettes employées et des autres éléments nécessaires au fonctionnement du système.

L'objectif principal de ce mémoire sera de réaliser une ACV du système de paiement cashless en festival. Une telle étude fournirait des informations sur les différents impacts, sur leur ordre de grandeur et sur les étapes du cycle de vie causant le plus d'impacts. Cela permettrait de fournir une base pour tenter de diminuer les impacts du système de paiement cashless. Ce dernier point constitue l'objectif secondaire de ce mémoire : identifier des mesures qui permettraient de diminuer les impacts environnementaux de ce système de paiement.

Les organisateurs de festivals, ainsi que les entreprises qui leur fournissent leurs systèmes RFID, ont peu de prises sur certaines étapes du cycle de vie. Ils pourraient néanmoins mettre en œuvre certaines mesures : alimenter ce système à l'aide d'une énergie plus durable⁹, mettre en place un système de collecte systématique des cartes contenant les étiquettes RFID dans l'objectif de les réutiliser d'années en année ou encore utiliser des modèles d'étiquettes ayant moins d'impacts. Pour évaluer l'intérêt de telles mesures, il est utile de savoir quels sont les impacts de ce système de paiement et à quels moments ils surviennent.

Les questions de recherches auxquelles ce mémoire tentera de répondre peuvent donc être formulées de la manière suivante : quels sont les impacts environnementaux du système de paiement cashless en festival et à quelles étapes du cycle de vie surviennent-ils ? Quels sont les composants du système entraînant le plus d'impacts ? Existe-t-il des mesures qui pourraient être mises en œuvre par les organisateurs de festivals ou par leurs fournisseurs et qui permettraient de diminuer ces impacts ?

6.2 Délimitation des recherches

« Nous avons fait les choix de ne pas aborder les effets sociaux engendrés par les TIC, non pas parce que nous les considérons comme négligeables, mais au contraire parce qu'ils sont tellement importants qu'ils nécessiteraient que leur soit dédié un ouvrage à part entière. De même, nous n'avons pas retenu la contribution des TIC à la réduction de l'empreinte environnementale d'autres activités : en effet on utilise trop souvent cet argument pour ne rien faire, prétendant que les effets négatifs des TIC sont largement compensés par leurs apports dans ces domaines. »

Berthould et al. (groupe EcoInfo, 2012, p. 16).

⁹ Lindgreen et al. (2018) mettent en évidence le fait que l'utilisation d'énergies renouvelables pour les terminaux de paiements de cartes de banques et les *data centers* utilisés pour le traitement des transactions permet une réduction significative des impacts environnementaux liés aux paiements par carte.

L'extrait ci-dessus est tiré d'un livre sur les impacts écologiques des TIC. Bien que mon travail ne porte pas spécifiquement sur ces technologies, ce texte illustre bien le fait qu'il n'est pas possible ni souhaitable d'être complètement exhaustif, certains aspects d'une question ne sont pas traités parce que le faire nécessiterait d'écrire un livre supplémentaire, d'autres sont laissés de côté parce qu'ils ne correspondent pas à ce que l'on tente d'étudier. La recherche menée dans ce mémoire ne pourra pas non plus être exhaustive et devra laisser certains aspects de côté. Je détaille dans les points suivants certains des aspects que j'ai choisi de ne pas étudier et j'y explique la raison de ce choix.

Impacts positifs du système de paiement cashless

Ce mémoire ne tentera pas de vérifier si le système de paiement cashless a également des impacts positifs sur l'environnement.

Il est possible que de tels impacts positifs existent. En effet, le système de paiement utilisé permet un meilleur suivi des consommations. Il serait donc possible d'optimiser les stocks disponibles aux bars, et donc d'utiliser moins de frigos, ce qui permettrait de diminuer la consommation d'énergie des bars. Ce système permet peut-être également une diminution des gaspillages de bières. Par exemple de meilleures informations sur les habitudes de consommations des festivaliers pourraient permettre de savoir quelle quantité de bière est susceptible d'être consommée le dimanche soir et donc de décider s'il est pertinent d'ouvrir un fut en fin de soirée ou bien si les pertes risquent d'être trop importantes. Il ne s'agit cependant pas d'éviter un réel gaspillage, puisque les fûts entamés et non vidés durant le festival sont terminés par les équipes de bénévoles qui aident à démonter le festival le dimanche soir.

Traiter cette question nécessiterait d'autres recherches, difficiles à mener, car il faudrait regarder si la mise en place de ce système a réellement permis à LaSemo de réaliser des économies d'énergie et de bières. Pour cela, il faudrait comparer les informations du festival avant le système de paiement cashless à celles des différentes années qui ont suivi. Ces informations sont la consommation énergétique des bars, les éventuels gaspillages de boissons ou le nombre de frigos installés. Il serait cependant difficile d'en tirer des informations réellement pertinentes, puisque le nombre de festivaliers a évolué entre temps et que le nombre de bars dans le festival peut lui aussi avoir changé.

Tout ce qui peut être dit à ce stade sur ce sujet, c'est qu'il est possible que le système de paiement cashless permette de diminuer certains des impacts environnementaux du festival, sans qu'il soit possible de vérifier cette hypothèse. C'est pourquoi cette question ne sera pas traitée dans ce mémoire.

Comparaison de différents systèmes de paiement

Ce mémoire n'a pas non plus pour but de comparer plusieurs systèmes de paiement. Pour qu'une telle comparaison soit pertinente, il faudrait d'abord vérifier si le système de paiement cashless a des impacts positifs sur l'environnement. En outre, si la fonction principale des différents systèmes de paiement est la même (la réalisation de paiement), le système de paiement cashless fournit d'autres

services (appelés fonctions secondaires) que les autres systèmes ne fournissent pas. En effet le système de paiement cashless permet de faciliter la comptabilité du festival, d'améliorer le contrôle des entrées ou encore d'avoir une meilleure connaissance des flux au sein du festival.

Autres impacts liés au cashless

Ce mémoire ne s'intéressera pas aux impacts sociaux liés aux étiquettes RFID ou au système de paiement cashless, tels que leurs potentiels impacts sur la vie privée (OCDE, 2008 ; Perrouty, 2009 ; Gladysz et Kluczek, 2019) ou les impacts sociaux découlant de ses impacts environnementaux.

Bien que ce soit un sujet qui me tienne à cœur et qui me semble important lorsqu'on parle de paiement cashless, je n'évoquerai pas les enjeux sociétaux liés à ce système de paiement et au cashless en général. J'entends ici par « enjeux sociétaux » tous les enjeux liés à une société sans monnaie, comprenant la difficulté des mendiants à obtenir de l'argent ou la diminution du contrôle que les citoyens ont sur leur argent. Le choix du festival d'organiser un évènement cashless me semble nécessiter un questionnement sur le mode de société mis en avant par le festival. Il ne s'agira cependant pas d'un sujet traité dans ce mémoire.

Ce travail n'a pas non plus vocation à traiter des impacts sanitaires et environnementaux des ondes radio utilisées par la technologie RFID. Les impacts des champs électromagnétiques sur l'environnement et la santé font déjà l'objet de recherches et d'une littérature abondante (SCENIHR, 2007 ; AFSET, 2009 ; WHO, 2015...).

Enfin, les processus intervenants dans ce système, mais dont la responsabilité est trop faible pour avoir une grande influence sur l'ampleur des impacts ne sont pas pris en compte. Ces processus sont listés dans le point 7.5 « Frontières du système ».

Partie pratique

7 Matériel et méthodes

7.1 Principes et fonctionnement d'une analyse de cycle de vie

Afin d'étudier les impacts environnementaux du système de paiement cashless, j'ai réalisé une analyse de cycle de vie. Il s'agit d'une méthode qui « évalue l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'un système en relation à une fonction particulière et ceci en considérant toutes les étapes de son cycle de vie » (Jolliet *et al.*, 2017, p. 9).

L'ACV permet donc de prendre en compte tous les impacts environnementaux causés par le système étudié, et ce sur l'entièreté de son cycle de vie. Elle est intéressante dans cette situation, puisqu'elle permet d'avoir une vision plus globale des conséquences de la technologie utilisée.

Historique et cadre normatif de la méthode

Les origines de l'ACV remontent à la fin des années soixante et au début des années septante (Burgess et Brennan, 2001). La première étude pouvant s'apparenter à une ACV a été réalisée en 1969 pour le compte de Coca-Cola, qui voulait comparer la consommation d'énergie, les matières premières et la production de déchets solides liés à plusieurs alternatives de conditionnement de boisson (Léonard *et al.*, 2019). La méthode a ensuite continué à être développée de manière à ce qu'elle puisse répondre aux différents enjeux environnementaux existants. Plusieurs organisations ont contribué au développement de l'ACV et à l'harmonisation de cette méthode. Deux normes ISO ont finalement été développées pour définir les principes et le cadre d'application des analyses de cycle de vie (ISO 14 040) et le contenu technique nécessaire au bon déroulement d'une ACV (ISO 14 044) (Jolliet *et al.*, 2015 ; Léonard *et al.*, 2019).

7.2 Phases de l'ACV

Il y a quatre phases dans une étude d'ACV (ISO 14 040, 2006) :

- « la définition des objectifs et du champ de l'étude ;
- l'inventaire ;
- l'évaluation de l'impact ;
- l'interprétation. »

Ces quatre phases sont reprises dans la figure 3 ci-dessous.

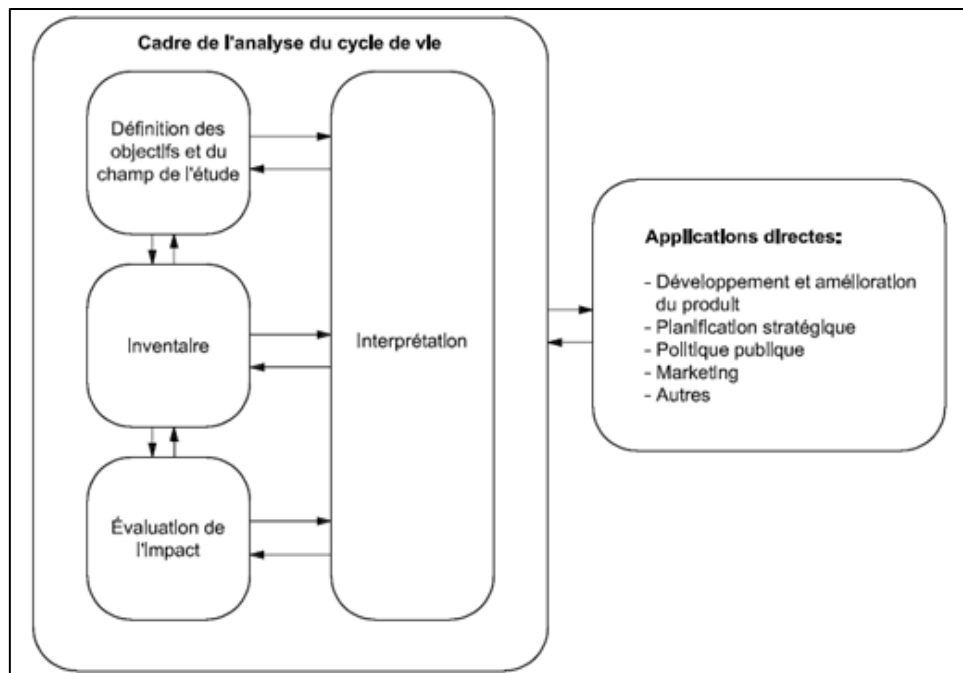


Figure 3 : Phases nécessaires à la réalisation d'une ACV (source : ISO 14 040, trouvée sur le site <http://eco3e.eu/boite-a-outils/acv/>).

7.3 Objectifs

La norme ISO 14 040 (citée par Jolliet *et al.*, 2017 p. 25 et 26) prévoit que « la définition des objectifs d'une ACV doit indiquer les éléments suivants :

- l'application envisagée ;
- les raisons conduisant à réaliser l'étude ;
- le public concerné (...) auquel il est envisagé de communiquer les résultats de l'étude ;
- s'il est prévu que les résultats soient utilisés dans des affirmations comparatives destinées à être divulguées au public. »

L'application envisagée

Les objectifs de cette étude sont de fournir une information concernant l'utilisation du système de paiement cashless dans des festivals. Elle pourrait être utilisée dans le but d'améliorer ce système pour en diminuer les impacts environnementaux.

Les raisons conduisant à réaliser l'étude

Des analyses de cycle de vie de type *cradle-to-grave* sur des systèmes utilisant des étiquettes RFID sont relativement peu nombreuses. Actuellement, un grand nombre de festivals utilisent le système de paiement cashless, sans que ses impacts environnementaux en soient connus. Cette étude vise donc à combler cette lacune, ou au moins à contribuer à établir des connaissances sur les impacts de ce système.

Le public concerné

Ce mémoire n'a à priori pas vocation à être divulgué à un large public. Outre les lecteurs, membres du jury et éventuels étudiants susceptibles de le lire, il sera aussi communiqué au festival LaSemo, sur lequel se base l'étude et à Emisys, qui fournit et installe le système pour ce festival ainsi que pour d'autres événements.

Utilisation des résultats dans des comparaisons destinées au public

Comme expliqué dans les points précédents, le mémoire ne pourra pas être utilisé dans des comparaisons, et ne sera pas destiné à un large public.

7.4 L'unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle est la « performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie » (ISO 14 040, 2006, p.4).

Afin de définir l'unité fonctionnelle, il faut donc définir les performances (ou la fonction) remplies par le système étudié et décider de la manière dont ces fonctions seront quantifiées (définir l'unité) (Jolliet *et al.*, 2017).

Jolliet *et al.* (2017) distinguent la fonction principale des fonctions secondaires. Les différentes fonctions remplies par le système de paiement cashless, tel qu'il est employé par LaSemo, sont reprises dans le tableau 1 ci-dessous.

Fonction principale	Fonctions secondaires
Réaliser les paiements sur le site du festival	Faciliter le contrôle des entrées et des sorties
	Faciliter les comptes
	Éviter les vols de « crédit de paiement »

Tableau 1 : Fonctions principales et secondaires du système de paiement cashless à LaSemo.

Dans le cas du festival LaSemo, la fonction principale de la carte est de permettre aux festivaliers réaliser les paiements sur le site du festival. Elle sert également à contrôler les entrées du festival ; j'ai cependant placé cette fonction comme étant une fonction secondaire. Avant ce système de paiement, le contrôle des entrées se basait sur une vérification visuelle que le festivalier portait bien le bracelet du festival. La carte étant placée sur le bracelet, la fonction n'est pas tant de faciliter ou d'accélérer le contrôle (celui-ci n'étant pas plus aisé ou plus rapide aujourd'hui), mais plutôt d'avoir un meilleur suivi du nombre de personnes arrivées au festival. Dès lors, cette fonction reste secondaire, et rejoint les différents avantages fournis par le système de paiement cashless (listés dans le point 3.3 « Avantages et inconvénients du système de paiement cashless »).

L'unité fonctionnelle sera donc l'utilisation de la carte (entrées et paiements) par un festivalier moyen durant une journée de festival.

Les fonctions de ce système ne sont pas identiques à celles d'autres systèmes de paiement (tel que les jetons, la monnaie, ou un système de paiement cashless ne permettant pas un contrôle des entrées). Ce qui signifie que cette ACV ne pourra pas être utilisée pour comparer deux systèmes de paiements, ou du moins, une telle comparaison risquerait de souffrir de lacunes.

7.5 Les frontières du système

J'intègre dans mon système les étapes suivantes : matières premières, assemblage, transport, énergie consommée pendant le festival et traitement des déchets en fin de vie. Ces étapes prennent en compte les cartes contenant l'étiquette RFID, mais aussi les terminaux de paiement et les machines permettant de recharger les cartes.

Il n'est pas possible de prendre en compte chacun des processus ayant un impact sur le système (Jolliet *et al.*, 2015). Certains processus ont donc volontairement été écartés en raison de la faiblesse de leur impact ou à cause de la difficulté d'obtenir des informations à leur sujet. Il s'agit notamment des heures passées devant un ordinateur pour préparer la mise en place du système de paiement cashless (dans des locaux peut-être chauffés et/ou éclairés), ou les feuilles de papier imprimées pour expliquer comment fonctionne ce système, ou encore les impacts générés par les bracelets sur lesquels sont fixées les cartes.

7.6 Méthode d'allocation

De nombreux processus industriels ou agricoles fournissent plusieurs produits. Une analyse de cycle de vie ne se concentre en général que sur un seul produit, il est donc nécessaire de tenir compte du fait que tous les impacts environnementaux générés par les processus de fabrication du produit ne peuvent être entièrement imputés à ce produit (Jolliet *et al.*, 2015). Il existe plusieurs méthodes pour résoudre ce problème. La première de ces méthodes est d'étendre les limites du système pour englober les différents coproduits. Lorsque ce n'est pas possible, il est recommandé de répartir les impacts entre les différents coproduits issus du processus, on parle alors d'allocation (Hauschild *et al.*, 2017).

Dans le cas de ce mémoire, certains composants du système (ordinateurs) étaient déjà encodés dans le logiciel d'ACV utilisé et ne donnaient pas d'information sur les éventuels coproduits ou sur la manière dont ils étaient pris en compte. Pour d'autres composants (étiquettes RFID, lecteurs de cartes de banque et lecteurs d'étiquettes RFID), les informations ont été reprises d'études réalisant des ACV. Ces études ne donnaient cependant pas d'informations permettant de déterminer quelle méthode d'allocation était à privilégier ni quels seraient les coproduits.

Le seul point sur lequel il a fallu réfléchir à une éventuelle méthode d'allocation est l'utilisation des étiquettes comme moyen d'identification. En effet, comme mentionné dans le point 7.4 « Unité fonctionnelle », en plus de leur fonction principale qui est de servir de moyen de paiement, les étiquettes servent également de moyen d'identification aux entrées du parc. Dans ce cas, le plus

intéressant aurait été d'élargir les frontières du système pour y inclure cette fonction. Cependant cela représentait deux problèmes. Le premier était que je n'avais pas de données sur la composition de l'appareil utilisé pour lire les étiquettes aux entrées. Il aurait alors fallu faire de nouvelles hypothèses. Le second est qu'élargir les frontières du système n'aurait pas permis de connaître les impacts spécifiques au système de paiement, ce qui était le but du travail et le point principal de la question de recherche.

Seule l'étiquette RFID est utilisée dans les deux systèmes (système de paiement et système d'identification). Les autres composants du système de paiement cashless ne sont pas utilisés par le système d'identification. Il est assez difficile de déterminer quelle part des impacts il convient d'allouer au système de paiement. J'ai choisi d'attribuer la totalité des impacts au système de paiement. Ce choix me semble être le plus pertinent puisque le paiement représente la fonction principale de cette carte (de nombreux festivals l'utilisent d'ailleurs uniquement pour le paiement).

7.7 Approche cut-off

J'ai ici choisi d'utiliser une approche *cut-off*. Dans cette approche, pour les matières recyclées entrant dans la fabrication du produit ou du service étudié, seul le recyclage est pris en compte dans son cycle de vie. Le produit n'est donc pas considéré comme « responsable » des impacts liés à la production primaire. De la même manière, le produit ou le service est responsable des déchets produits, mais ses impacts environnementaux ne diminuent pas en cas de recyclage (conférence IBPSA : Roux, Schalbart et Peuportier, 2016).

7.8 Analyse de cycle de vie attributionnelle

On distingue généralement deux types de méthodes d'ACV : l'ACV attributionnelle et l'ACV conséquentielle (Finnveden *et al.*, 2009).

L'ACV attributionnelle se base sur une description de l'ensemble des flux physiques existants liés à un système ou à un produit et des impacts environnementaux qui en découlent. L'ACV conséquentielle cherche à étudier la manière dont les impacts environnementaux évolueront en fonction des modifications qui pourraient être faites (Finnveden *et al.*, 2009, Joint Research Centre de la Commission européenne, 2010).

L'objectif principal de ce mémoire étant d'évaluer le système comme il est et pas de prévoir les conséquences d'une modification, l'ACV réalisée est de type attributionnelle.

7.9 Logiciel et méthode utilisés

J'ai utilisé le logiciel Simapro version 8.5 pour réaliser l'ACV du système. J'ai travaillé avec la base de données *Ecoinvent 3*.

J'ai choisi d'utiliser la méthode ILCD (ILCD 2011 midpoint+). Cette méthode a été développée par le Joint Reserch Center - Institute for Environment and Sustainability de la Commission Européenne dans le but de formuler des recommandations sur les meilleures pratiques d'ACV. Pour cela, différentes méthodes ont été analysées et comparées afin de recommander les modèles et facteurs de caractérisation pour les différentes catégories d'impacts (Hauschild *et al.*, 2013 ; Jolliet *et al.*, 2015).

Les catégories d'impacts retenues pour cette méthode sont les suivantes : changement climatique, appauvrissement de la couche d'ozone, toxicité humaine (cancérogène et non cancérogène), émissions de particules, impacts sur la santé humaine par rayonnement ionisant, impacts sur les écosystèmes par rayonnement ionisant, formation d'ozone photochimique, acidification, eutrophisation terrestre, eutrophisation des eaux douces, eutrophisation marine, écotoxicité des eaux douces, utilisation des sols, épuisement des ressources en eau et épuisement des ressources minérales, fossiles et renouvelables. Il s'agit d'indicateurs midpoints¹⁰.

Ce choix de méthode s'explique par le fait qu'il s'agit de celle utilisée par Bottani *et al.* (2014). Les impacts environnementaux issus d'une étiquette RFID sont présentés dans leur article sans que les informations permettant de recréer le processus dans Simapro soient fournies. Dès lors il était nécessaire que les impacts obtenus pour l'analyse des autres éléments du système soient comparables à ceux des étiquettes RFID. Un inconvénient de cette méthode est qu'elle regroupe dans une même catégorie d'impacts l'épuisement des ressources minérales, fossiles et renouvelables (JRC, 2012 ; Owsianiak *et al.*, 2014). Or il aurait été intéressant d'avoir des informations sur l'impact en termes d'épuisement de ressources minérales, puisque, pour les étiquettes, il s'agit généralement de matériaux non réutilisés, non recyclables et nécessitant l'exploitation de ressources minérales.

Avoir des informations mesurées selon une même méthode pour les différents impacts me semble cependant plus important que d'avoir des informations ciblant spécifiquement l'épuisement des ressources minérales.

Cette méthode offre également une certaine garantie en termes de pertinence méthodologique. En effet, pour chaque catégorie d'impacts les différents indicateurs et les méthodologies existants ont été comparées afin de sélectionner ceux le plus au point actuellement (Perasso, 2013 ; Score LCA, 2014).

8 Collecte des données

Avant de commencer la collecte des données, il est nécessaire de se documenter pour savoir quelles sont les données à chercher. Parmi celles-ci, certaines sont déjà disponibles dans la littérature

¹⁰ Un indicateur midpoint est un indicateur permettant de quantifier les effets globaux des substances émises ou consommées, en gardant les différentes catégories d'impacts séparées (contrairement aux indicateurs endpoint, qui regroupent les impacts de manière à pouvoir évaluer les dommages occasionnés sur la santé humaine, la biodiversité et les ressources (Risch *et al.* ; 2012).

académique et d'autres doivent être récoltées auprès d'acteurs (ici les festivals et leurs fournisseurs). Cette étape s'appelle la phase d'inventaire du cycle de vie (Berthould *et al.*, 2012).

La figure 4 (en page 24) reprend les différentes informations récoltées pour réaliser l'analyse de cycle de vie du système de paiement cashless.

8.1 Choix du festival

J'ai choisi le festival LaSemo pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il s'agit d'un festival qui prône des valeurs de développement durable et qui me semblait plus susceptible d'être prêt à répondre à mes questions. Ensuite la manière dont le système est implanté permet d'éviter que les festivaliers ne perdent leur carte (puisque'elle est fixée au bracelet) et donc d'être sûr que chaque festivalier n'utilise qu'une seule carte RFID durant le festival. Enfin, il s'agit d'un festival sur lequel plusieurs mémorants ont déjà travaillé. Avant de démarrer le mémoire, j'avais donc déjà des travaux qui pourraient peut-être me servir de ressources dans la suite de mon travail.

Contacts avec le festival et son fournisseur

Le festival LaSemo fait appel à l'entreprise Emisys pour installer et gérer le système de paiement cashless du festival. Cette entreprise fournit le système de paiement cashless de plusieurs festivals belges.

Des données ont donc été récoltées auprès du festival LaSemo et d'Emisys. Un nombre important de questions sont cependant restées sans réponse, il a dès lors fallu se baser sur les informations existant ailleurs, concernant des produits proches.

8.2 Données

Certaines données n'ayant pas pu être récoltées, il a fallu se baser sur des informations existant dans la littérature. Concernant la composition des étiquettes RFID et des lecteurs de cartes (terminaux de paiement et point de recharge), il n'a pas été possible d'obtenir leur composition exacte. Je me suis donc basé sur des données présentées dans deux articles cités dans l'état de l'art : Bottani *et al.*, 2014 et Lindgreen *et al.*, 2018.

Comme expliqué dans le point 3.2 « Fonctionnement du système RFID », un système RFID est composé de trois éléments : l'étiquette, le lecteur qui permet de communiquer avec l'étiquette RFID par ondes radio et un système permettant de traiter les données (par exemple un ordinateur).

Dans le cas du système de paiement cashless, la carte fixée au bracelet du festivalier contient l'étiquette RFID. Ces étiquettes sont lues lorsque le festivalier veut payer une consommation, ou ajouter de l'argent sur sa carte (elles sont également lues lorsqu'il entre ou qu'il sort du festival, mais cela n'est pas pris en compte dans ce travail).

Pour les cartes de paiement, les impacts étudiés sont ceux de l'étiquette RFID. Les bornes de paiement sont composées d'un lecteur NFC/RFID et d'une tablette (qui permet au barman de sélectionner le montant à payer et de traiter les données échangées avec l'étiquette). Pour recharger leurs cartes, les festivaliers ont deux options, la première est de se rendre à une borne de recharge et d'utiliser une carte de banque et la seconde est de se rendre auprès d'un guichet où ils peuvent payer en liquide auprès d'un bénévole). La composition exacte de la borne de recharge n'est pas connue, cependant il est certain qu'elle contient un lecteur NFC/RFID et un lecteur de cartes de banque. Il est également vraisemblable qu'elle contienne un système informatique permettant de traiter les informations et permettant au festivalier de sélectionner montant qu'il désire charger sur sa carte. N'ayant pas d'information sur la composition de ce système informatique, j'ai choisi de considérer qu'il s'agit d'un système proche des tablettes utilisées pour les bornes de paiement.

Le système est donc composé d'étiquettes RFID, de lecteurs NFC/RFID, de lecteurs de cartes de banques et de tablettes. Les points ci-dessous détaillent les différentes étapes du cycle de vie de chacun de ces composants. Deux étapes seront cependant traitées à part, le transport de ces appareils du site où ils sont stockés vers le festival et leur consommation d'énergie durant le festival. En effet, pour les impacts liés au reste du cycle de vie, il faut prendre en compte le fait que ces appareils (sauf les étiquettes) sont utilisés dans d'autres événements, les impacts sont donc à répartir entre ces différents événements. En outre, il est intéressant de connaître les impacts liés à la consommation d'énergie totale du système et de ne pas traiter cette information simplement comme une composante de chaque appareil. De même, pour le transport depuis le lieu de stockage du fournisseur jusqu'au site du festival, les différents appareils sont transportés ensemble, il faut considérer le transport des différents éléments comme un ensemble à part entière et pas comme une composante des différents appareils. La figure 4 ci-dessous présente les différents processus pris en compte dans cette analyse.

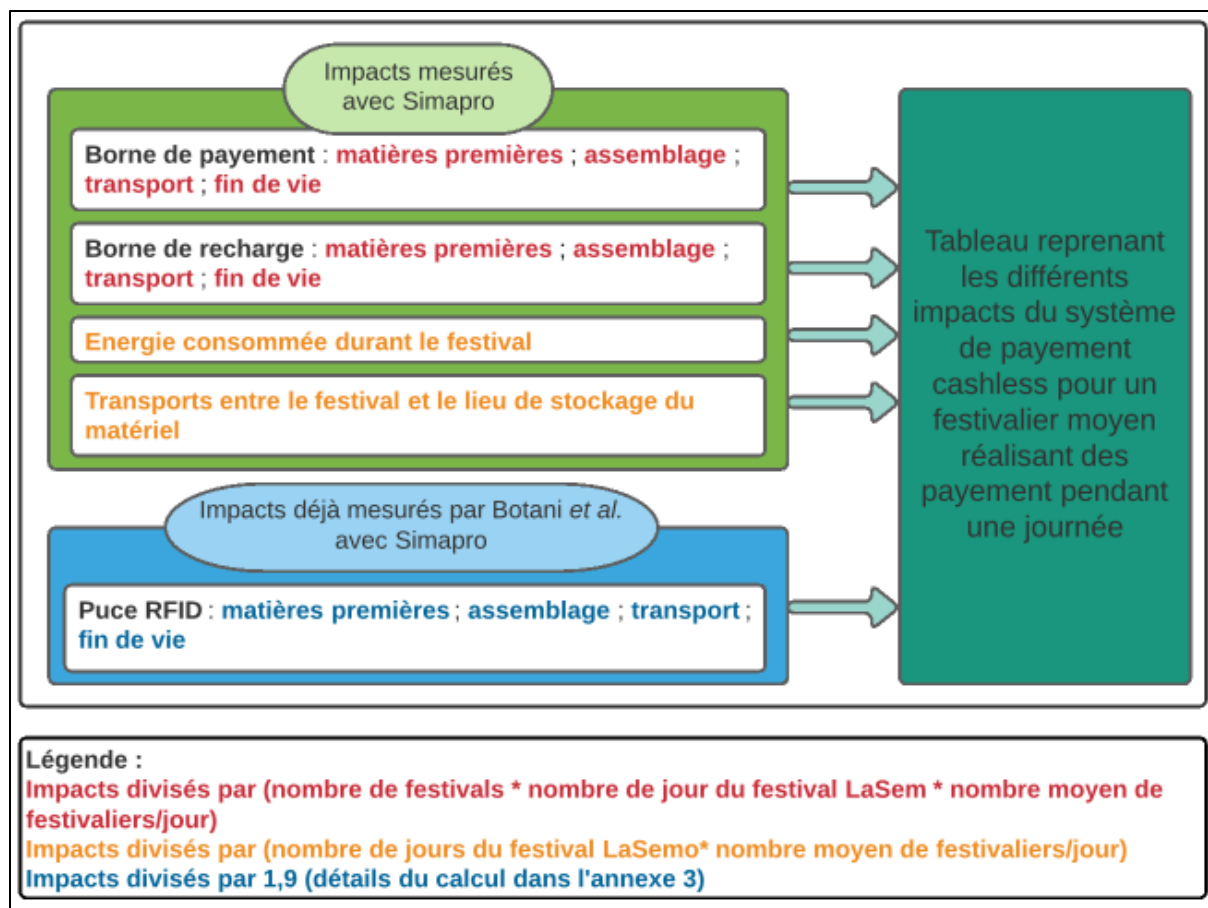


Figure 4 : Processus et constituants pris en compte dans l'analyse de cycle de vie et pondération de ces processus (illustration personnelle).

Étiquettes RFID

Les données concernant les impacts environnementaux des étiquettes RFID sont basées sur l'article de Bottani *et al.* (2014). Je n'ai pas recréé les processus et assemblages à partir de leurs données, car les informations qu'ils présentent dans leurs articles sont insuffisantes pour le faire¹¹. Le modèle d'étiquette qu'ils analysent est le « *Inlays size ShortDipole Wet Inlay SC3001974* », une étiquette passive qui serait « *by far the most used one for logistic applications* »¹² (Bottani *et al.*, 2014, page 7). S'il ne s'agit pas nécessairement de la même étiquette, il s'agit cependant dans les deux cas d'étiquettes passives assez simples. L'annexe 1 présente la composition de cette étiquette RFID.

Transport

L'étude de Bottani *et al.* prend déjà en compte le transport des composants des étiquettes de Chine jusqu'en Allemagne et leur transport d'Allemagne vers l'Italie. Pour être sûr de ne pas minimiser les impacts environnementaux des puces, ils ont sélectionné les moyens de transports les plus polluants

¹¹ Les auteurs n'ont pas répondu à mon mail leur demandant s'ils accepteraient de me communiquer les données plus précises qu'ils avaient sur le sujet.

¹² En français : « de loin la plus utilisée pour les applications logistiques ».

(ils ont privilégié l'avion plutôt que le bateau de fret et le camion plutôt que le train), il est donc possible que les impacts qu'ils attribuent au transport soient trop élevés.

Fin de vie

L'étude de Bottani *et al.* prend en compte la fin de vie, mais ne donne pas le détail exact des impacts imputables à cette étape. Toutefois, ces impacts se retrouvent dans la catégorie « autres contributions ». Cette catégorie représente une très faible part des impacts : entre un et quatre pour cent du total selon les catégories d'impacts. Kanth *et al.* (2012) ont également constaté que les impacts causés par l'incinération ou l'enfouissement des étiquettes RFID ne représentent qu'une faible proportion des impacts totaux.

Dans le cadre de ce travail, je vais considérer que les impacts causés par le traitement des puces en fin de vie correspondent aux « autres contributions », parce qu'ils ne mentionnent pas d'autres contributions.

Nombre d'étiquettes et répartition des impacts

Le festival commande chaque année un nombre de cartes supérieur à celui dont il aura réellement besoin. Cependant les cartes non utilisées durant le festival sont réutilisées l'année suivante. Dès lors, on peut baser les calculs sur le fait qu'il y a autant d'étiquettes que de festivaliers, celles restantes ne doivent pas être prises en compte.

Dans ce mémoire j'étudie les impacts générés par le système de paiement pour une personne pendant une journée. Or, dans le cas du festival, certaines cartes (et l'étiquette qu'elles contiennent) sont utilisées trois jours, d'autres sont utilisées un seul jour. Il faut donc calculer la durée moyenne durant laquelle est utilisée une étiquette. L'équation qui suit donne la durée moyenne d'utilisation d'une carte (un tableau détaillé avec les calculs et les unités utilisées est disponible dans l'annexe 2).

$$\text{Durée moyenne d'utilisation} = \frac{\text{nombre de cartes nécessaires si toutes les cartes n'étaient utilisées qu'une journée}}{\text{nombre de cartes réellement utilisées}}$$

Une carte est utilisée en moyenne 1,9 jour, il faut donc diviser les impacts d'une étiquette par 1,9 pour obtenir les impacts imputables à une journée de consommation.

Lecteurs NFC/RFID

Matières premières et processus de fabrication

N'ayant pu obtenir le modèle exact du lecteur ni sa composition, je me suis basé sur le terminal de paiement utilisé pour les cartes de banques étudié par Lindgreen *et al.* (2018). Il y a probablement des différences entre ces deux terminaux de paiement. Il s'agit cependant de l'assemblage le plus proche que j'ai pu trouver dans la littérature académique. Il me semble que si les différences risquent d'avoir

un impact sur l'exactitude des résultats, ces données permettent cependant d'avoir une bonne approximation des impacts liés aux terminaux de paiement.

Le terminal utilisé dans l'étude de Lindgreen *et al.* est composé d'un lecteur NFC-RFID, comme celui utilisé par LaSemo. En revanche il contient également un lecteur de cartes de banque (avec contact), un clavier pour que le client puisse entrer son code et de quoi imprimer un ticket, ce qui n'est pas le cas du terminal de paiement de LaSemo. Je me suis donc basé sur l'assemblage qu'ils ont réalisé (et dont ils donnent le détail dans l'article), mais en ne reprenant pas certains des composants. Je n'ai pas encodé dans mon assemblage les matières composant les touches du clavier ainsi que le rouleau de papier destiné à l'impression. J'ai également supprimé les composants que j'ai pu identifier comme étant uniquement destinés à lire la carte avec contact¹³. Il reste vraisemblable que les impacts du terminal étudiés soient légèrement supérieurs à ceux du terminal utilisé par LaSemo.

Le tableau 8 figurant dans l'annexe 3 inventorie les composants du terminal de paiement, tandis que le tableau 10 de l'annexe 5 reprend les processus de fabrication pris en compte.

Transport

Les terminaux étudiés par Lindgreen *et al.* sont fabriqués en Chine et en Malaisie et sont transportés en bateau de fret jusqu'au port de Rotterdam. De là, ils sont d'abord acheminés jusqu'aux centres de distribution en camion et ensuite envoyés aux clients, toujours en camion. Cet article ne prend cependant pas en compte le trajet depuis l'usine vers les ports de Chine et de Malaisie (les données concernant la localisation de l'usine n'étant pas disponibles), selon les auteurs « l'impact de ces exclusions sur la pression environnementale estimée des terminaux de paiement est limité » (page 7 et 8). Je me suis basé sur les mêmes informations, en faisant l'hypothèse que pour les terminaux de paiement, les terminaux ne seraient pas acheminés jusqu'Amsterdam, mais jusqu'Anvers, d'où ils seraient ensuite emmenés à Bruxelles avant d'être redistribués vers les clients (dont Emisys, dont le siège d'exploitation est situé à Floreffe). Le tableau 2 ci-dessous reprend les distances et les moyens de transport utilisés retenus par Lindgreen *et al.* avec quelques adaptations.

¹³ Double multiprotocol IC, card interface

Trajet	Type de transport tel que modélisé dans Simapro	Distance parcourue	Estimation du poids (avec l'emballage)	Valeur exprimée en Tonnes * Kilomètres
Distance depuis la Chine (Shanghai) et la Malaisie (Port Kelang) au port de Rotterdam.	Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}	Chine : 20 000 km Malaisie : 15 000 km Moyenne : 17 500 km		9,625
Distance du port de Rotterdam au centre de distribution	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER}	51 km	0,55 kg	0,02805
Transport du centre de distribution au client	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 {RER}	78 km		0,0429

Tableau 2 : Informations sur le transport d'un lecteur d'étiquette RFID ou d'un lecteur de cartes de banque (d'après Lindgreen *et al.* 2018).

Fin de vie

Lindgreen *et al.* fournissent en annexe de leur article les informations qu'ils ont utilisées pour modéliser le traitement d'un terminal en fin de vie. Sur base de ces informations, j'ai créé le même modèle pour mesurer les impacts de ce traitement. Le tableau 3 ci-dessous reprend les informations utilisées.

Indicateur sélectionné dans Simapro	Poids (en grammes)
Waste electric and electronic equipment {GLO} treatment of, shredding Alloc Rec, U TEST	200
Used Li-ion battery {GLO} treatment of used Li-ion battery, hydrometallurgical treatment Alloc Rec, S	30
Used liquid crystal display {GLO} treatment of, mechanical treatment Alloc Rec, S	2
Waste electric wiring {RoW} treatment of, collection for final disposal Alloc Rec, S	10
Waste electric and electronic equipment {GLO} market for Alloc Rec, S	50
PE (waste treatment) {GLO} recycling of PE Alloc Rec, U	0
Electronics scrap from control units {GLO} market for Alloc Rec, S	20
Waste polyethylene {RoW} treatment of waste polyethylene, sanitary landfill Alloc Rec, S	1

Tableau 3 : Processus intervenant en fin de vie d'un terminal de paiement.

Nombre de lecteurs et répartition des impacts

En 2019, le festival a utilisé 116 lecteurs NFC/RFID : 78 pour le paiement des consommations, 8 étaient déjà intégrés dans les bornes de recharge et 30 étaient soit utilisés par les organisateurs soit prévus en réserve.

Les impacts de ces lecteurs, à l'exception de ceux liés à leur utilisation pendant le festival, doivent être répartis entre les différents événements au cours desquels ils seront utilisés (soit 20 festivals¹⁴). En outre, il faut tenir compte du fait que l'unité fonctionnelle est l'utilisation de ce système par un festivalier pendant une journée. Dès lors, les impacts générés par les matières premières, l'assemblage, le transport jusqu'au fournisseur et le traitement des lecteurs en fin de vie seront divisés selon la formule suivante :

$$\text{Part d'impacts des lecteurs imputable à un festivalier utilisant le système pendant une journée} = \frac{\text{impacts total} * \text{nombre de lecteurs utilisés pendant le festival}}{\text{durée de vie d'un lecteur} * \text{nombre de jours durant le festival} * \text{nombre moyen de festivaliers par jour}}$$

Dans cette formule, la durée de vie d'un lecteur correspond au nombre de festivals durant lesquels ce lecteur est utilisé.

Lecteur de cartes de banque

Le festival utilise 13 lecteurs de cartes de banque pour permettre aux festivaliers d'acheter des pépètes (monnaie virtuelle placée sur la carte). Huit d'entre eux sont intégrés dans les bornes de recharge tandis que cinq autres ne le sont pas. D'autres lecteurs de cartes de banque sont utilisés pour permettre aux festivaliers de payer leur place à l'entrée, mais ceux-ci ne sont pas pris en compte dans ce travail, car ils ne font pas partie du système de paiement cashless.

Composition

Pour ces lecteurs, j'ai reproduit dans Simapro le même assemblage que celui de Lindgreen *et al.* (2018). Il ne s'agit pas forcément du même modèle, mais il s'agit d'un terminal qui remplit presque exactement les mêmes fonctions et du seul modèle pour lequel je dispose de suffisamment de données pour en étudier les impacts avec Simapro. Les tableaux 9 (annexe 4) et 10 (annexe 5) reprennent les composants et les processus de fabrication de ce terminal.

Transport

Pour le transport des terminaux, je me suis basé sur les informations fournies par Lindgreen *et al.* Ce transport est donc similaire à celui des lecteurs NFC/RFID. Les informations concernant le transport d'un terminal peuvent donc être consultées dans le tableau 3 en page 27.

Fin de vie

Les informations utilisées pour ce point sont semblables à celles utilisées pour le lecteur d'étiquettes NFC/RFID. Se référer au point « Fin de vie » en page 27.

¹⁴ Les équipements utilisés par Emisys sont amortis en trois ans et utilisés durant environ 20 festivals (source : entretien téléphonique avec Xavier Ghyssens).

Nombre de lecteurs et répartition des impacts

La formule utilisée est la même que celle utilisée pour le lecteur NFC/RFID, la seule différence est que le nombre de lecteurs de cartes de banque est nettement inférieur à celui de lecteurs de cartes RFID (13 lecteurs de cartes).

Tablettes

Les 78 tablettes utilisées pour le paiement des consommations sont des tablettes HP X2 210. Je n'ai pas d'informations sur les systèmes informatiques présents dans les huit bornes de recharge.

Composition

N'ayant pas d'informations suffisamment précises sur la composition des tablettes, ni sur celle des autres ordinateurs, je me base sur un ordinateur portable présent dans Simapro. Encore une fois, il ne s'agit pas d'une technologie ayant des impacts identiques, il s'agit même de deux technologies avec d'importantes différences. Parmi les différences entre l'ordinateur dont les impacts sont étudiés dans Simapro et la tablette utilisée par LaSemo, la batterie de l'ordinateur portable est deux fois plus lourde : 137 grammes pour la tablette et 273 pour celle de l'ordinateur¹⁵ (sources : support.hp.com et all-batteries.fr). Il y a également certains éléments qu'on retrouve dans l'ordinateur et pas dans la tablette (tel que le lecteur de disque).

Il y a donc de bonnes raisons de supposer que les impacts de la tablette sont inférieurs à ceux de l'ordinateur. Cette hypothèse est confirmée par l'ADEME (2018) qui a évalué les impacts environnementaux de différents biens de consommation courants. Dans ses résultats, le rapport donne les impacts de différents appareils électriques à forte composante électronique. Les impacts causés par une tablette sont généralement plus proches de ceux d'un ordinateur fixe que de ceux d'un ordinateur portable. En effet, les résultats d'un ordinateur portable sont presque toujours deux fois plus importants que ceux d'une tablette. Il s'agit d'une proportion qui est valable pour quatre des cinq catégories d'impacts étudiées (émission de particules fines, changement climatique, acidification et consommation d'énergie) ; la cinquième catégorie d'impacts est l'épuisement des ressources fossiles et minérales et, pour cette catégorie, les résultats varient selon le type de tablette utilisée. Toutefois pour une tablette de taille semblable à celle utilisée par LaSemo, les impacts semblent également correspondre à 50 % des impacts d'un ordinateur portable. En outre, la répartition des impacts entre les différentes étapes du cycle de vie semble être assez similaire pour les deux produits¹⁶.

Dès lors, en absence d'informations suffisantes concernant la composition de la tablette utilisée, il me semble pertinent de se baser sur un ordinateur portable et de diviser ses impacts par deux pour obtenir

¹⁵ Toutes les deux sont des batteries rechargeables au lithium.

¹⁶ Les graphiques et tableaux contenant ces résultats se trouvent de la page 19 à la page 25 ainsi qu'à la page 178 du rapport de l'ADEME.

une approximation des impacts de la tablette. Il faudra cependant bien garder à l'esprit qu'il s'agit d'une approximation.

Transport

Pour les tablettes, le modèle utilisé est produit en Chine (source : site de support de Microsoft). Les tablettes sont généralement transportées vers l'Europe en avion¹⁷ (ADEME, 2018). J'ai considéré que depuis l'aéroport, les tablettes étaient envoyées vers le siège social de la société HP en Belgique¹⁸ (à Machelen). L'aéroport le plus proche du siège social est l'aéroport de Bruxelles Zaventem, il s'agit aussi du deuxième aéroport de Belgique pour le transport de fret (SPF mobilité), c'est donc celui-là que j'ai retenu pour les calculs. Enfin, depuis Machelen, les tablettes sont envoyées vers le siège d'exploitation d'Emisys (à Floreffe). Le tableau 4 ci-dessous reprend les informations utilisées pour calculer avec Simapro les impacts liés au transport d'une tablette.

Trajet	Type de transport tels que modélisé dans simapro	Distance parcourue	Estimation du poids (avec l'emballage)	Valeur exprimée en Tonnes * Kilomètres
Distance depuis la Chine (Shanghai) à l'aéroport de Liège	transport, freight, aircraft, intercontinental RER	9 000 km		8.01
Distance du port d'Anvers au centre de distribution	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER}	5 km	0,89 kg	0.00445
Transport du centre de distribution au client	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 {RER}	71.5 km		0.063635

Tableau 4 : Transport des tablettes depuis la Chine jusqu'au siège social d'Emisys.

Fin de vie

L'ordinateur portable encodé dans Simapro intègre déjà la fin de vie dans le cycle de vie, les résultats présentés intègrent donc les impacts liés à la fin de vie. Cependant, le modèle présent dans Simapro n'est pas spécifique à la Belgique, les impacts liés au traitement de déchets en fin de vie varient d'un pays à l'autre. Les valeurs présentées dans le point « Résultats » ne pourront donc pas fournir plus d'une approximation des impacts liés au traitement des tablettes en fin de vie.

Nombre de tablettes et répartition des impacts

Le festival utilise 86 tablettes (ou autres équipements comparables). Comme pour les lecteurs de cartes RFID et de cartes bancaires, il faut répartir ces impacts entre les festivaliers et sur plusieurs festivals. La formule ci-dessous reprend la méthode de calcul utilisée.

¹⁷ Cela s'explique par le fait qu'il s'agisse de produits de rapide obsolescence, il est donc important pour les fournisseurs de limiter les délais de transport, car ceux-ci réduisent la valeur marchande des tablettes (ADEME, 2018).

¹⁸ N'ayant pas d'information sur la localisation du ou des centres de distribution, je me suis basé sur la localisation des offres d'emploi de HP, qui concernent toutes des emplois sur le site de Diegem, notamment celles pour des emplois de manutention (site internet de HP).

$$\frac{\text{Part d'impacts des tablettes imputable à un festivalier utilisant le système pendant une journée}}{= \frac{\text{impacts} * \text{nombre de tablettes utilisées pendant le festival}}{\text{durée de vie d'une tablette} * \text{nombre de jours durant le festival} * \text{nombre moyen de festivaliers par jour}}}$$

Consommation d'énergie du système

L'article de Lindgreen *et al.* détaille la consommation d'énergie d'un terminal de paiement en fonction du mode (paiement, veille, affichage du montant à payer). Pour la tablette, la consommation a été estimée sur base des informations fournies par HP et de la consommation d'autres modèles de tablettes. L'annexe 6 détaille les calculs de la consommation d'énergie totale du système.

L'électricité utilisée par le système est majoritairement produite par des groupes électrogènes. Cependant, Simapro ne permet pas d'enregistrer cela. Dès lors, j'avais le choix entre le mix électrique belge ou par la production d'électricité à partir d'essence. J'ai comparé les impacts de ces deux méthodes de production d'électricité et j'ai choisi la production à partir d'essence, car c'est elle qui semble générer le plus d'impacts. Cela me semble pertinent, car l'électricité issue du mix électrique occasionne moins d'impacts que celle issue du groupe électrogène (EneRis, 2011). Il faudra tenir compte de cela dans l'analyse et l'interprétation des résultats.

Répartition des impacts

Les impacts liés à la production d'électricité doivent être divisés par trois, pour correspondre aux impacts d'une journée de festival. Ensuite, il faut encore les diviser par le nombre moyen de personnes présentes par jour.

Transport vers le site du festival

Pour amener les composants du système vers le site du festival, il faut les transporter depuis leur lieu de stockage à Floreffe (siège d'exploitation d'Emisys) vers le festival. Deux trajets sont nécessaires pour transporter tout le matériel avant le festival et deux autres pour ramener le matériel à Floreffe après le festival (source : entretien téléphonique avec Xavier Ghyssens, co-fondateur de Emisys).

Le véhicule utilisé est un camion d'une contenance de 20 m³, dont la masse maximale autorisée est de 3,5 tonnes. Les véhicules de masse maximale inférieure ou égale à 3,5 tonnes sont considérés par Simapro comme des voitures (« *passenger car* »). Le choix du véhicule pose donc des problèmes : soit je sélectionne un camion dont la MMA est comprise entre 3,5 et 7,5 tonnes, soit je sélectionne une voiture « *large size* ». Le choix du camion présente le problème que le logiciel ne tient pas compte du fait que seul le matériel de Emisys y est transporté. L'unité étant la tonne-kilomètre, les impacts sont répartis sur la totalité de la marchandise que ce camion pourrait transporter. Or, dans ce cas-ci, le matériel d'Emisys représente la totalité de la marchandise. En outre, la masse maximale autorisée étant 3,5 tonnes, les impacts sont calculés pour un camion susceptible de transporter d'avantage de marchandises (les impacts sont donc répartis sur l'entièreté de la cargaison supposée, ce qui ne

correspond pas à la réalité). Enfin, le camion revient à vide pour venir rechercher le matériel restant. Dès lors, pour ces trajets, il faudrait indiquer 0 tonne-kilomètre, ce qui est considéré par Simapro comme n'occasionnant aucun impact.

Le logiciel considère que la voiture « large size » de Simapro de son côté occasionne moins d'impacts que le camion qui est utilisé par Emisys. Dès lors les impacts donnés par Simapro sont probablement inférieurs à ceux réellement occasionnés par le véhicule. Cependant, le poids que représente le matériel n'est pas si important que ça (environ 400 kg). Une voiture est donc tout à fait susceptible de transporter ce poids en deux trajets.

Par conséquent, les deux véhicules pouvant être sélectionnés dans Simapro donneront probablement des résultats inférieurs à la réalité. J'ai donc choisi celui qui donnait les résultats les plus importants. Il s'agit de la voiture. Les impacts réels du système sont probablement supérieurs à ceux qui seront calculés par Simapro, mais cela est peut-être contrebalancé par le fait qu'une partie du matériel transporté dans les deux trajets sert à contrôler les entrées et n'est donc pas utilisé par le système de paiement cashless.

L'ensemble sélectionné dans Simapro est « market for transport, passenger car, large size, petrol, EURO 5 GLO ».

Répartition des impacts

Les impacts liés aux transports entre le festival et le lieu de stockage doivent d'abord être divisés en trois, pour correspondre aux impacts d'une journée de festival. Ensuite, il faut encore les diviser par le nombre moyen de personnes présentes par jour.

9 Résultats

Dans les pages suivantes, je vais présenter les résultats de l'analyse de cycle de vie réalisée. Le premier point reprend des graphiques présentant les résultats pour chaque catégorie d'impacts. Ces graphiques sont accompagnés d'une brève description de la méthode utilisée par la méthode ILCD pour calculer les impacts. Dans le point suivant, je tente d'expliquer et d'interpréter les résultats obtenus puis de les comparer avec les données déjà existantes dans la littérature. Enfin, sur base des résultats de l'analyse de cycle de vie, je fournis des pistes d'amélioration du système de paiement cashless en vue de diminuer ses impacts environnementaux.

9.1 Présentation des résultats.

Les figures 5 à 19 ci-dessous (pages 34 à 38) présentent les impacts générés par les différents composants du système de paiement cashless. Ces impacts sont ceux imputables à un festivalier moyen qui utiliserait le système de paiement durant une journée de festival. Ces résultats sont aussi présents sous forme de tableau dans l'annexe 7.

Les résultats sont présentés sous forme de graphique en bâtonnets, avec un graphique pour chaque catégorie d'impacts. Dans chaque graphique, les quatre premières colonnes correspondent aux composants étudiés : lecteur d'étiquettes RFID, tablettes, lecteur de cartes de banque, étiquettes RFID. Ces colonnes sont divisées en trois étages. Le premier étage, en vert, correspond aux impacts générés par la gestion de ces composants en fin de vie. Le deuxième étage, en orange, correspond à la fabrication de l'appareil ou de l'étiquette (cela comprend les matières premières utilisées ainsi que les processus de fabrication). Enfin, le dernier étage, en bleu, correspond au transport de ces composants de leur lieu de production jusqu'au lieu où ils sont stockés par Emisys. Les deux colonnes suivantes correspondent à la consommation d'électricité par le système pendant le festival (en mauve) et au transport des différents composants du lieu de stockage vers le festival (en rouge).

Chaque graphique est accompagné d'une explication de ce à quoi correspond l'unité de la catégorie d'impacts ainsi que la méthode retenue par l'ILCD pour mesurer cet impact.

9.2 Changement climatique

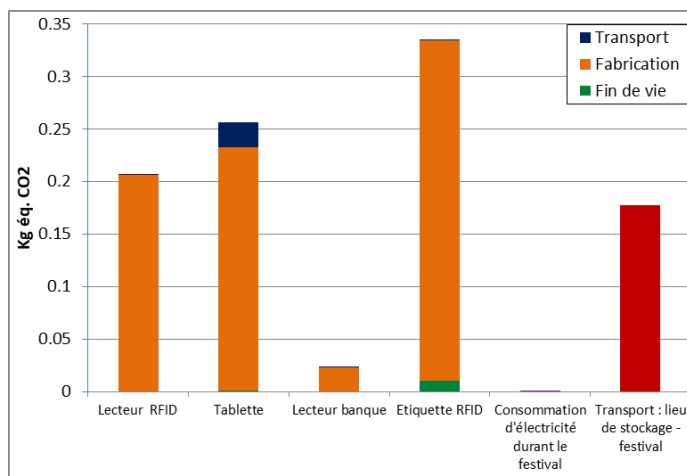


Figure 5 : Changement climatique.

La méthode retenue pour mesurer le potentiel de réchauffement global est le modèle de base du GIEC (2007)¹⁹. Ce modèle vise à calculer le forçage radiatif sur 100 ans. L'unité retenue est le kilo d'équivalent CO₂.

9.3 Destruction de la couche d'ozone

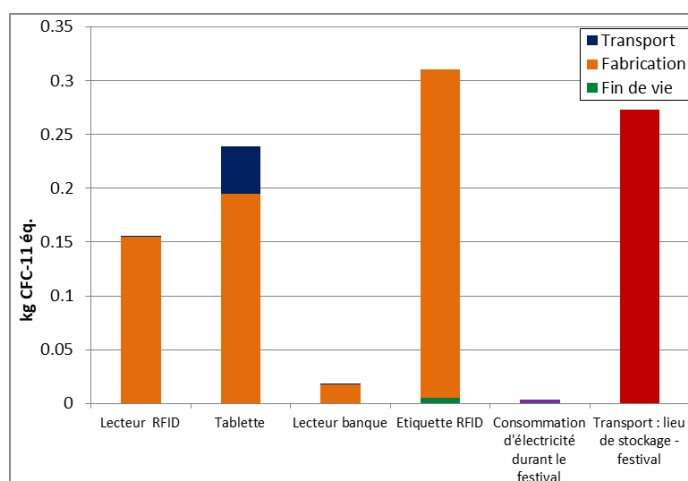


Figure 6 : Destruction de la couche d'ozone.

Pour mesurer le potentiel de destruction de la couche d'ozone, l'ILCD a retenu le modèle de l'organisation météorologique mondiale (1999) qui calcule les effets destructeurs sur la couche d'ozone sur 100 ans. L'unité utilisée est le kilo d'équivalent CFC-11.

9.4 Toxicité humaine, effets cancérigènes et non cancérigènes

L'ILCD se base sur le modèle USETox qui fournit des facteurs de caractérisation concernant notamment la toxicité humaine d'émissions chimiques pour l'analyse de cycle de vie (Fantke *et al.*, 2015). L'unité retenue est l'unité de morbidité comparée pour l'humain (CTHU) et elle exprime « l'augmentation de la morbidité par unité de masse d'un produit chimique émis ». La caractérisation utilisée par l'ILCD distingue les effets non cancérigènes (figure 7) des effets cancérigènes (figure 8).

¹⁹ En plus des références citées dans le texte, les informations concernant les méthodes utilisées pour les différentes catégories d'impacts sont issues de Jolliet *et al.* (2017) et dans les informations sur la méthode ILCD reprises dans Simapro.

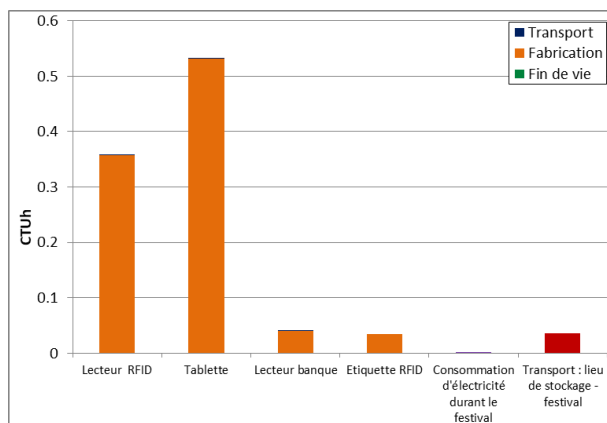


Figure 7 : Toxicité humaine, effets non-cancérigènes.

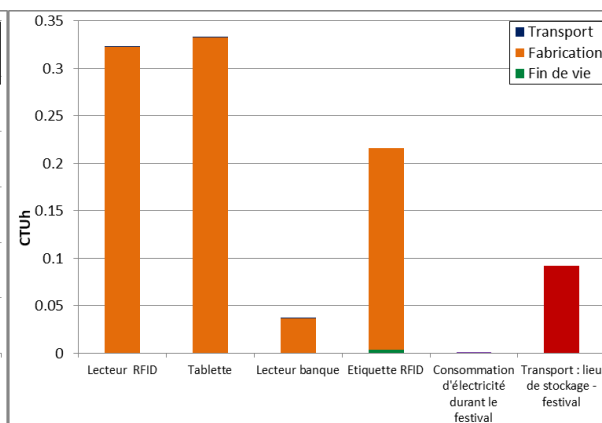


Figure 8 : Toxicité humaine, effets cancérigènes.

9.5 Particules fines

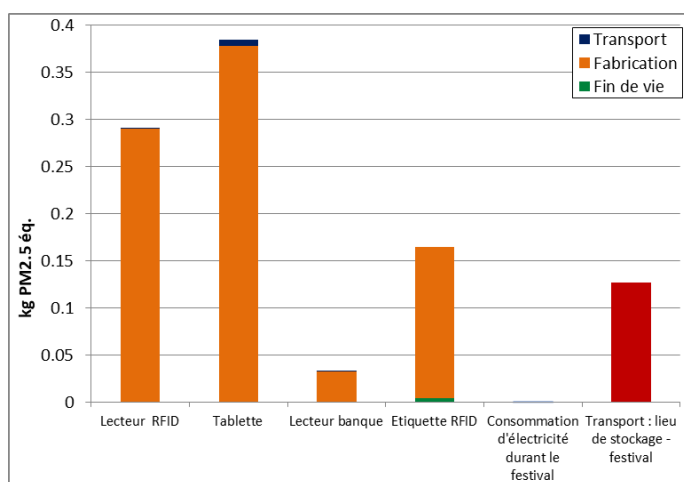


Figure 9 : Impacts (sur la santé humaine) des particules fines générées par le système de paiement cashless.

L'ILCD se base sur la méthode de Sparado et Rabl (2004) pour quantifier les impacts des particules sur la population, en termes de décès prématurés ou d'invalidité, en prenant comme unité de référence les PM 2,5 (l'unité est donc le kilo d'équivalent PM 2,5).

9.6 Rayonnements ionisants, impacts sur la santé humaine

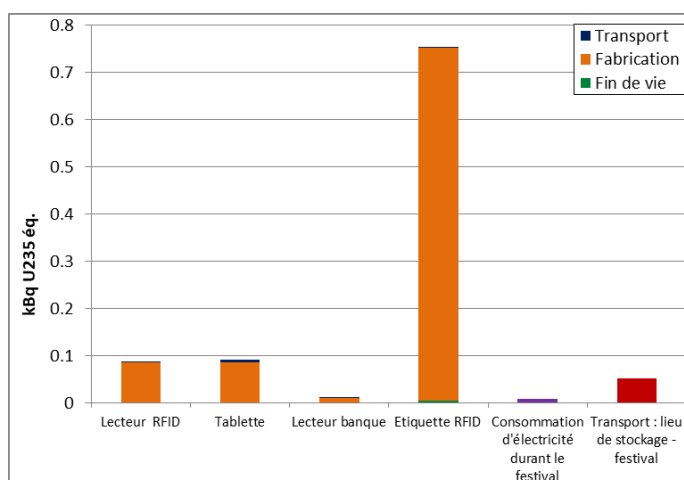


Figure 10 : Rayonnements ionisants, impacts sur la santé humaine.

La méthode utilisée est celle développée par Frischknecht *et al.* (2000) pour quantifier les impacts des rayonnements ionisants sur la population en comparaison avec l'uranium 235 (les chiffres sont convertis en équivalents uranium 235). L'unité est le kilo Becquerel.

9.7 Rayonnements ionisants, impacts sur les écosystèmes

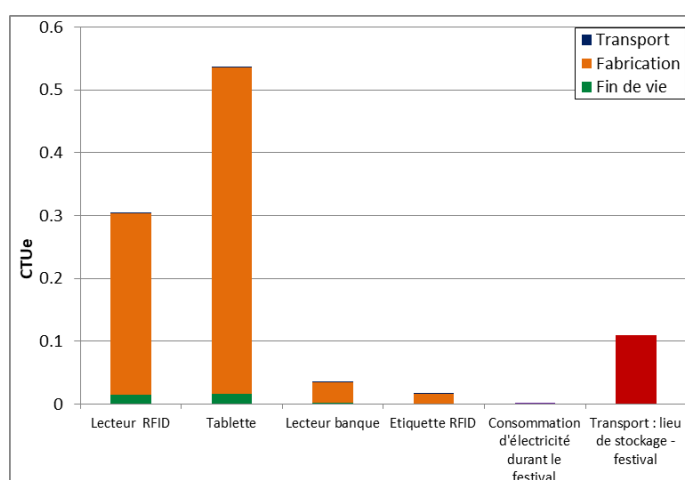


Figure 11 : Rayonnements ionisants, impacts sur les écosystèmes.

L'ILCD se base sur le modèle AMI de Payet (2004), qui mesure la toxicité pour les écosystèmes aquatiques (d'eau douce). L'unité retenue est l'unité toxique comparative pour les écosystèmes (CTUe), celle-ci exprime une estimation de la fraction d'espèces potentiellement affectées (PAF).

9.8 Formation d'ozone photochimique

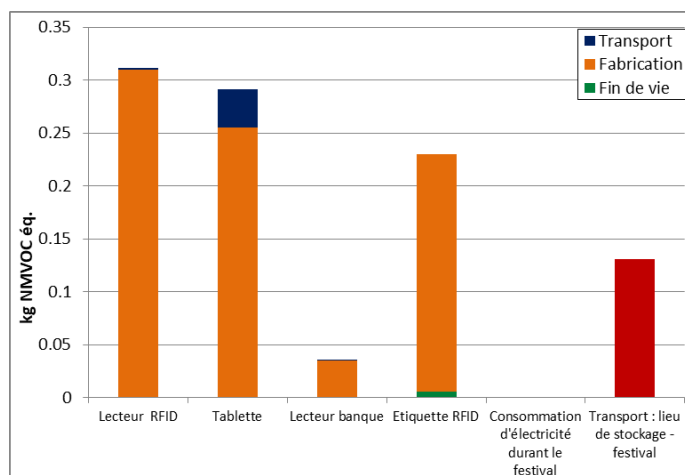


Figure 12 : Formation d'ozone photochimique.

L'ILCD mesure le potentiel de création d'ozone photochimique en utilisant le modèle LOTOS-EUROS tel qu'appliqué par Van Zelm *et al.* (2008). Cette méthode est également appliquée dans ReCiPe et n'est valable que pour l'Europe. L'unité est le kilo d'équivalent « non-methane volatile organic compounds ».

9.9 Acidification

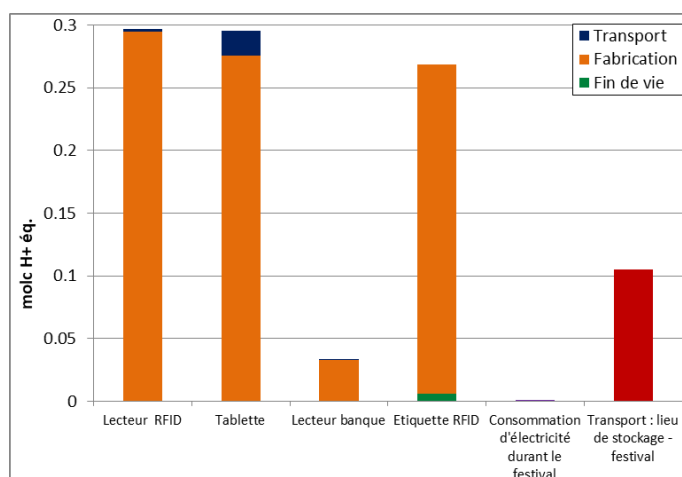


Figure 13 : Acidification.

L'ILCD mesure le dépassement accumulé, qui correspond au dépassement de la charge critique (à ne pas dépasser) des écosystèmes terrestres et aquatiques dans lesquels se déposent des substances acidifiantes. L'unité est l'équivalent de mole d'ion H^+ . La méthode utilise les indicateurs développés par Seppälä *et al.* (2006) et Posch *et al.* (2008).

9.10 Eutrophisation terrestre

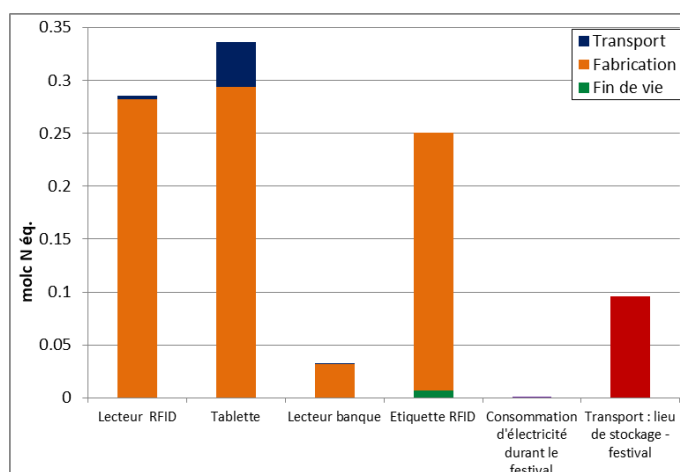


Figure 14 : Eutrophisation terrestre.

L'ILCD mesure le dépassement de la charge critique des écosystèmes terrestres dans lesquels se déposent les substances eutrophisantes. L'unité est l'équivalent de mole d'azote. La méthode utilise les indicateurs développés par Seppälä *et al.* (2006) et Posch *et al.* (2008).

9.11 Eutrophisation des eaux douces et marines

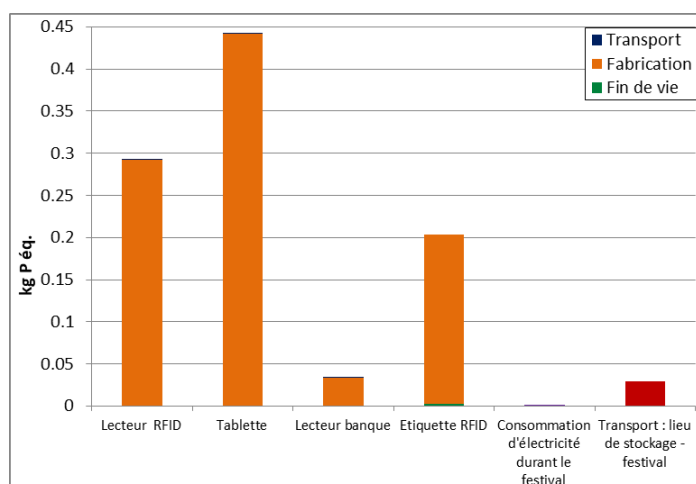


Figure 15 : Eutrophisation des eaux douces.

L'ILCD mesure l'eutrophisation des eaux avec la méthode EUTREND (également utilisée dans ReCiPe). Pour l'eau douce (figure 15), le phosphore est considéré comme un facteur limitant pour l'eutrophisation, l'unité est donc le kilo d'équivalent phosphore. Pour l'eau marine (figure 16), l'azote est considéré comme un facteur limitant, l'unité est donc le kilo d'équivalent azote.

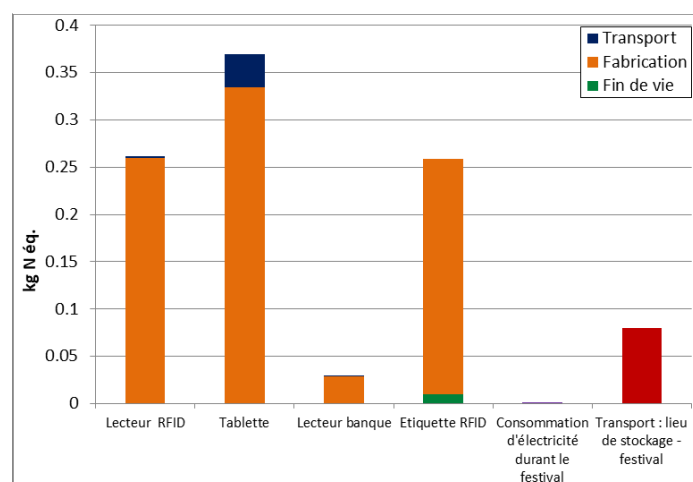


Figure 16 : Eutrophisation des eaux marines.

9.12 Écotoxicité aquatique (eau douce)

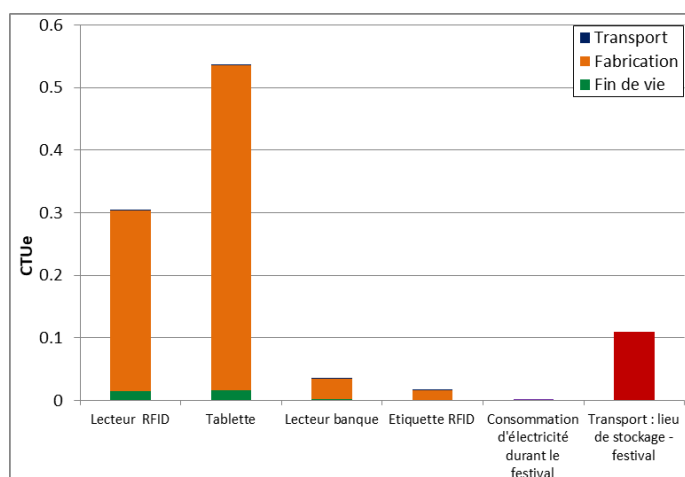


Figure 17 : Ecotoxicité aquatique.

La toxicité aquatique se base sur le modèle USEtox pour mesurer les impacts d'un produit chimique émis sur les espèces vivantes. L'unité retenue est l'unité toxique comparative pour les écosystèmes (CTUe), celle-ci exprime une estimation de la fraction d'espèces potentiellement affectées (PAF).

9.13 Utilisation des sols

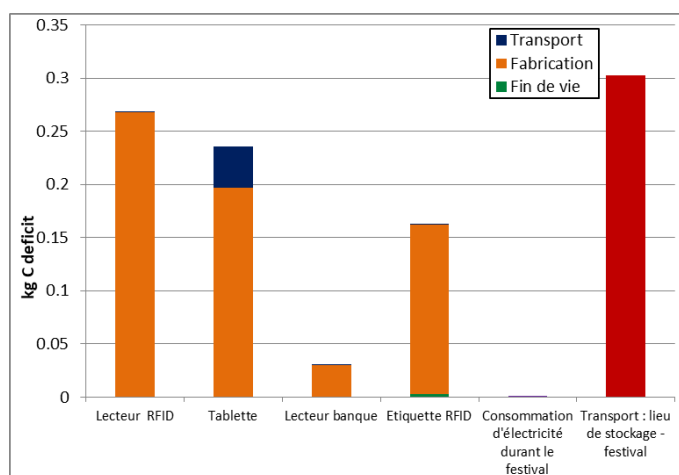


Figure 18 : Utilisation des sols.

La dégradation des sols est mesurée par la perte de carbone par mètre carré et par an (l'unité est le déficit en kg de carbone). La méthode utilisée est celle développée par I Canals *et al.* (2007).

9.14 Épuisement des ressources minérales, fossiles et renouvelables

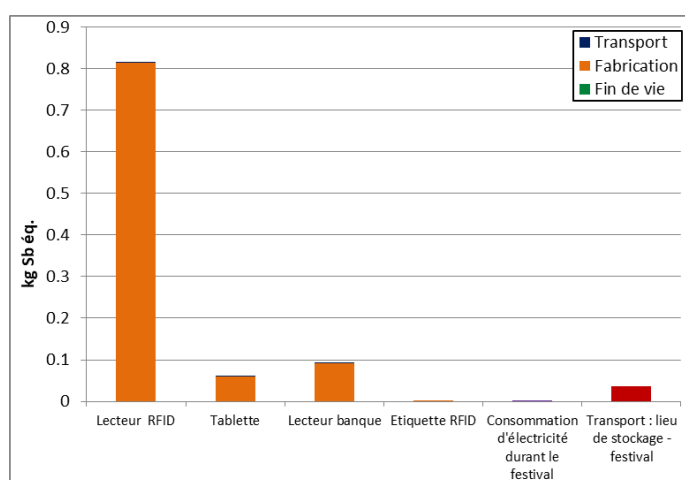


Figure 19 : Epuisement des ressources minérales, fossiles et renouvelables.

L'ILCD mesure l'épuisement des ressources naturelles en se basant sur le modèle EDIP97. Ce modèle définit des facteurs de pondération pour chaque ressource, permettant de mesurer son épuisement en prenant en compte la consommation actuelle, les réserves disponibles et le taux de régénération. L'unité de mesure est le kg d'équivalent antimoine (Sala *et al.*, 2016).

9.15 Épuisement des ressources en eau

Pour les pressions exercées sur les ressources en eau, l'ILCD a retenu la méthode de la rareté écologique (ecological scarcity method), développée par Frischknecht *et al.* (2008). Cet épuisement est mesuré en ajustant la consommation d'eau d'un processus en fonction de l'état des ressources en eaux du pays ou de la région où intervient ce processus.

Les résultats obtenus pour cette catégorie d'impacts sont cependant problématiques. Excepté pour l'étiquette RFID (dont les résultats sont tirés de l'article de Bottani *et al.*, 2014) et la consommation d'électricité, l'ensemble des résultats donnent des valeurs négatives (comme le présente le tableau 5 ci-dessous). Cela correspondrait donc à un gain en ressources en eau.

	Lecteur RFID	Tablette	Lecteur banque	Etiquette RFID	Consommation d'électricité durant le festival	Transport : lieu de stockage - festival
fabrication	-0.667009008	-0.623841972	-0.074094269	2.358758853	0.002373182	-0.044842709
transport	0.000226489	0.013008322	2.53823E-05	1.55672E-09		
fin de vie	0.001038077	-0.000180155	0.000116336	0.034421469		
Total	-0.665744442	-0.611013804	-0.07395255	2.393180324	0.002373182	-0.044842709

Tableau 5 : Résultats de l'ACV pour l'épuisement des ressources en eau.

Explications

En utilisant d'autres méthodes (méthodes sélectionnées dans Simapro : Pfister *et al.*, 2009 et 2010 ; Motoshita *et al.*, 2010 ; Hoekstra *et al.* 2012, AWARE, Boulay *et al.* 2011), toutes donnent des résultats positifs, sauf la méthode ecological scarcity qui obtient aussi des résultats négatifs pour l'épuisement des ressources en eau. Cette dernière méthode étant celle retenue par l'ILCD pour mesurer cette catégorie d'impacts, il semble normal qu'elle obtienne les mêmes résultats. En revanche, toutes les autres méthodes d'ACV ciblant les impacts sur les ressources en eaux donnent des impacts « positifs ».

La première explication aurait été une erreur dans la réalisation des assemblages dans Simapro. Cependant, ces résultats concernent aussi des produits déjà enregistrés dans Simapro. En outre, en détaillant les résultats au maximum, on peut constater qu'un nombre très important de composants et de processus donnent une valeur négative. Le problème ne semble pas provenir non plus de produits évités grâce au système de paiement (ce qui peut survenir lors de l'application de certaines solutions aux problèmes d'allocation).

Une autre explication serait un problème lié à la méthode utilisée par l'ILCD. Toutefois, je n'ai pas pu trouver d'article mentionnant ce problème ou mentionnant des résultats négatifs pour cette catégorie d'impacts. Je n'ai pas non plus trouvé de mention de cela dans les documents traitant de la méthode ILCD (documents émis par le JRC, comptes rendus de conférence sur cette méthode, cours universitaires abordant cette méthode), ni dans les articles présentant la méthode ecological scarcity

(utilisée pour mesurer cette catégorie d'impacts), ni dans les informations présentes dans Simapro concernant la méthode ILCD.

Dès lors, ne pouvant pas expliquer ce problème, j'ai choisi de ne pas tenir compte des résultats de l'analyse de cycle de vie sur l'épuisement des ressources en eau. Afin de m'assurer que le reste des résultats est correct et n'est pas concerné par ce problème, j'ai réalisé une analyse des ensembles avec la méthode ReCiPe (midpoint) et j'ai comparé les résultats des deux analyses. Globalement les résultats des deux analyses sont relativement proches. Pour certaines catégories d'impacts, les résultats sont identiques ou proches, pour d'autres les résultats diffèrent. Lorsque les résultats diffèrent, la répartition des résultats entre les différents sous-ensembles reste assez proche. Dès lors, il semblerait que ce problème ne concerne que les impacts sur les ressources en eau.

10 Discussion

La figure 6 ci-dessous présente les contributions des différents sous-ensembles pour chacune des catégories d'impacts, excepté l'épuisement des ressources en eau.

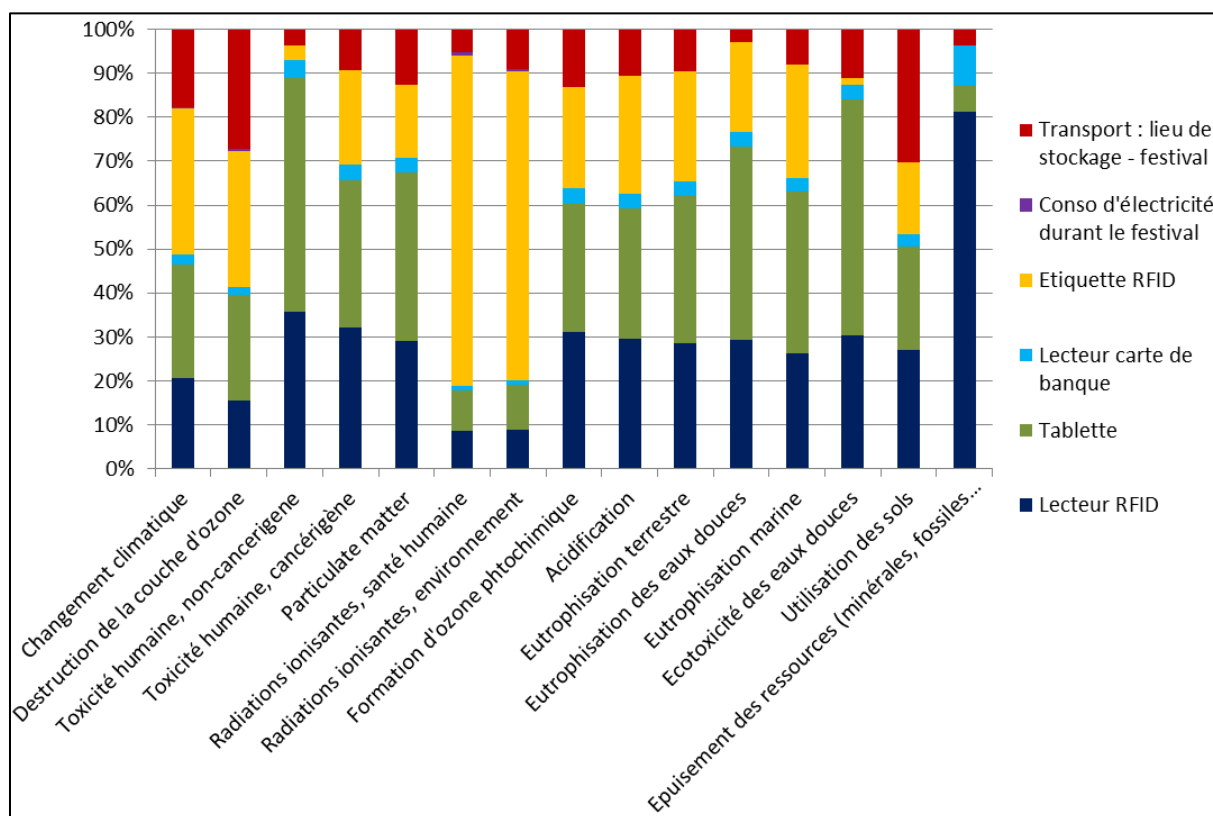


Figure 20 : Contribution des sources d'impact prises en compte aux différentes catégories d'impacts étudiées.

10.1 Consommation d'électricité durant le festival

Comme on peut le constater dans ce graphique, la consommation d'électricité durant le festival n'est responsable que d'une très faible part des impacts (inférieure à 1% pour la quasi-totalité des catégories

d'impacts). Cela s'explique notamment par la faible durée de vie des différents éléments du système de paiement cashless. En effet, Emisys utilise ses tablettes et lecteurs de cartes durant environ trois ans, ce qui correspond à environ 20 festivals (ou encore 60 journées d'utilisations). Dès lors l'impact de ces équipements ne doit pas être réparti sur un temps d'utilisation important, ce qui fait que l'impact imputable à un festival ou à un festivalier est important et semble éclipser les impacts générés par la consommation d'électricité.

En comparaison, la durée de vie moyenne d'un lecteur de cartes de banque est de cinq ans (Lindgreen *et al.*, 2018). À raison de cinq jours par semaine, cela donne une durée de vie 1300 jours, soit une durée d'utilisation 20 fois supérieure à celle des lecteurs utilisés par Emisys. Une tablette a une durée de vie généralement supérieure à trois ans, et la durée moyenne varie selon les pays entre 52 et 86 heures (Mirelli, 2018), cela représente une durée d'utilisation entre 1,6 et 3 fois supérieure à celle des lecteurs utilisés par Emisys.

Un autre aspect à prendre en compte est le fait que l'analyse n'a pas pu être réalisée pour un système qui utiliserait de l'électricité issue d'un groupe électrogène. Il n'est cependant pas possible de connaître la différence entre les impacts réels et les résultats obtenus. Il est donc vraisemblable que les impacts générés par la consommation électrique du système soient supérieurs à ceux calculés.

10.2 Lecteur de cartes de banque

Les lecteurs de cartes de banque représentent également une très faible proportion des impacts totaux (entre 1 et 9 % selon les catégories d'impacts). Ici aussi le résultat semble normal. En effet, il y a 13 lecteurs de cartes de banques sur le site du festival contre 113 lecteurs d'étiquettes RFID et 78 tablettes. Les lecteurs d'étiquettes et de cartes de banques sont presque identiques (composants similaires, même processus de fabrication, même transport...), dès lors il est normal que les lecteurs d'étiquettes RFID aient un impact nettement supérieur (9 fois plus important).

10.3 Étiquette RFID

Les étiquettes RFID semblent générer une part variable des impacts totaux. Pour la majorité des catégories d'impacts, elles semblent être responsables de moins d'un tiers des impacts occasionnés par le système de paiement (selon les catégories, cela varie entre 2 et 33%). Pour les rayonnements ionisants, elles occasionnent toutefois les trois quarts des impacts. Il serait intéressant de savoir quel est le composant ou le processus de fabrication qui occasionne ces impacts. Malheureusement les informations présentées par Bottani *et al.* (2014) ne permettent pas de répondre à cette question, tout ce qu'il est possible de constater, c'est que les impacts proviennent majoritairement des processus de fabrication ou des matières premières.

10.4 Tablette

Pour la majorité des catégories d'impacts, la tablette est responsable de la plus grande proportion des impacts. Ces impacts sont principalement générés par la fabrication des tablettes (matières premières et processus de production). Pour les tablettes, on constate également que le transport génère davantage d'impacts que chez les autres éléments du système.

10.5 Transport

Pour la majorité des catégories d'impacts, le transport représente moins de 15 % des impacts du système. Même s'il génère moins d'impacts que les autres sous-ensembles, il représente tout de même une part non négligeable des impacts. Cela se comprend puisque l'acheminement du matériel vers le site du festival nécessite de faire plus 600 km dans un petit camion. Pour trois catégories d'impacts, ce sous-ensemble occasionne des impacts un peu plus importants (supérieurs à 15 %). Tout d'abord, le transport vers le site du festival génère 18 % des gaz à effets de serre imputables au système de paiement cashless, ce qui n'est pas surprenant étant donné que ce transport nécessite la combustion de carburant d'origine fossile. Ensuite ce sous-ensemble est responsable de 27 % des impacts du système sur la destruction de la couche d'ozone. Enfin, pour l'usage des terres, il occasionne 33 % des impacts du système (ce qui s'explique en partie par l'occupation de surfaces par les routes).

10.6 Lecteur d'étiquettes RFID

Les lecteurs d'étiquettes sont responsables d'une part importante des impacts du système de paiement cashless (entre 21 et 36 % pour la majorité des catégories d'impacts). Cela s'explique par le nombre important de terminaux de paiement nécessaires (tous les endroits où il est possible de consommer sont équipés de lecteurs), ainsi que par leur faible durée d'utilisation. Pour l'épuisement des ressources fossiles, minérales et renouvelables, les lecteurs sont responsables de 81 % des impacts du système de paiement (ces impacts apparaissent lors de différents processus et pour différents composants de la fabrication, tels que le zinc, le tantale, l'argent...).

10.7 Comparaison des impacts des différents transports

Pour les tablettes, on constate que le transport du lieu de production vers la Belgique génère plus d'impact que les transports des autres composants du système. Comme expliqué dans la section « tablettes » du point 8.1, les tablettes sont généralement acheminées en avion, pour économiser du temps, ce qui explique cette différence.

Il est intéressant de constater que, pour tous les éléments du système, le transport de la Chine au Siège social d'Emisys (lieu où sont stockés ces éléments) semble générer moins d'impacts que le transport entre le festival et le siège social d'Emisys. Cela s'explique par le fait que seuls les impacts imputables au festival LaSemo (et plus précisément à un festivalier de LaSemo) sont pris en compte. Dès lors, les

impacts du transport de la Chine vers la Belgique doivent d'abord être répartis entre tous les biens qui sont transportés durant ce trajet. Ensuite la part d'impacts imputables aux éléments nécessaires au système de paiement doit être répartie entre les vingt festivals dans lesquels ces éléments seront utilisés. En revanche, les impacts générés par le transport des éléments entre le festival et leur lieu de stockage sont uniquement imputables au festival LaSemo.

10.8 Comparaison avec d'autres recherches

Bottani *et al.* (2014)

Dans leur article, Bottani *et al.* soulignent l'importance de réaliser d'autres études. En effet les résultats de leur étude ne sont pas forcément applicables à d'autres situations. Ils ont fait le choix de ne pas prendre en compte les impacts générés par le lecteur d'étiquettes ou par les autres équipements utilisés. Ils font l'hypothèse que, puisque ces lecteurs servent à lire plusieurs milliers de puces durant leur cycle de vie, l'impact imputable à la lecture d'une étiquette doit être minime. Cependant, dans le cadre de l'analyse réalisée dans ce mémoire, il apparaît que les impacts imputables à l'étiquette RFID et ceux imputables aux lecteurs de cartes sont d'ampleurs comparables. Dans le cadre du paiement par cartes de banque, Lindgreen *et al.* (2018) arrivent à la conclusion que le terminal de paiement est ce qui génère le plus d'impacts. Cela permet de mettre en avant le fait que, comme le soulignent Bottani *et al.*, leurs résultats sont spécifiques au produit étudié et ne peuvent pas être appliqués à d'autres produits ou systèmes.

Mémoire de Lepage et rapport de Eneris

Il serait intéressant de comparer les impacts du système de paiement cashless à ceux générés par l'ensemble du festival. S'il n'existe pas d'analyse de vie complète du festival LaSemo, il existe cependant des bilans carbone[®] de différents festivals. La méthode de calcul n'est pas la même, mais il est possible d'avoir une valeur de comparaison, pour connaître l'ampleur de la différence. Ainsi, selon Lepage (2016), le festival LaSemo a émis 310,6 tonnes d'équivalents carbone en 2015 (cela prend en compte l'ensemble des émissions liées aux trois jours de festival et à son organisation pendant l'année ainsi que celles des festivaliers qui se rendent au festival). Il y avait en 2015 près de 20 000 festivaliers.

Eneris (2011) a réalisé le bilan carbone de plusieurs festivals et s'est basé sur les résultats obtenus pour estimer les émissions de GES d'un festival moyen. La valeur avancée est de 1000 tonnes d'équivalents carbone pour un festival de 50 000 personnes.

Les émissions totales découlant du système de paiement cashless pour le festival LaSemo 2019 sont d'une tonne d'équivalent carbone. Cependant la méthodologie utilisée pour l'analyse de cycle de vie prend en compte l'ensemble des impacts survenant dans le cycle de vie des composants du système (ce

qui n'est pas le cas des bilans carbone réalisés par Lepage et Eneris). Dès lors, si on ne prenait que les impacts liés aux transports du matériel entre leur lieu de stockage et le festival et à la consommation d'énergie pendant le festival, on obtient une valeur de 0,18 Téqu CO₂.

Ces chiffres, bien qu'ils ne fournissent qu'une approximation, permettent de constater que le système de paiement cashless ne représente qu'une infime part des émissions de gaz à effet de serre du festival.

10.9 Pistes d'amélioration du système de paiement cashless

Malgré certaines incertitudes dans les résultats, il me semble possible de dresser certaines recommandations pour diminuer les impacts du système de paiement. Il serait compliqué de réduire la distance entre le lieu de stockage et le festival. Par ailleurs, la consommation électrique du système ne semble pas représenter une source d'impacts importante.

Il faudrait donc agir pour diminuer les impacts liés aux équipements qui composent le système de paiement (terminaux de paiement, étiquettes, bornes de recharge). Deux mesures pourraient être envisagées. La première serait d'augmenter la durée de vie des lecteurs de cartes, d'étiquettes et tablettes. En effet, leur durée de vie et leur durée d'utilisation sont actuellement inférieures aux durées qu'on retrouve dans d'autres secteurs. Une autre mesure serait de mettre en place un système de collecte des étiquettes à la fin du festival en vue de les réutiliser les années suivantes. La figure 19 ci-dessous présente une estimation de la diminution d'impacts engendrée par de telles mesures. Pour chaque catégorie d'impacts, la première colonne représente le scénario actuel. La deuxième se base sur un scénario dans lequel la durée de vie des équipements est doublée, de manière à ce qu'ils puissent être utilisés dans 40 festivals (au lieu de 20 actuellement). La troisième colonne se base sur un scénario où les étiquettes seraient récupérées par les organisateurs du festival et réutilisées de manière à servir en moyenne durant trois années. Enfin la dernière colonne représente un scénario où les deux mesures précédentes seraient mises en œuvre.



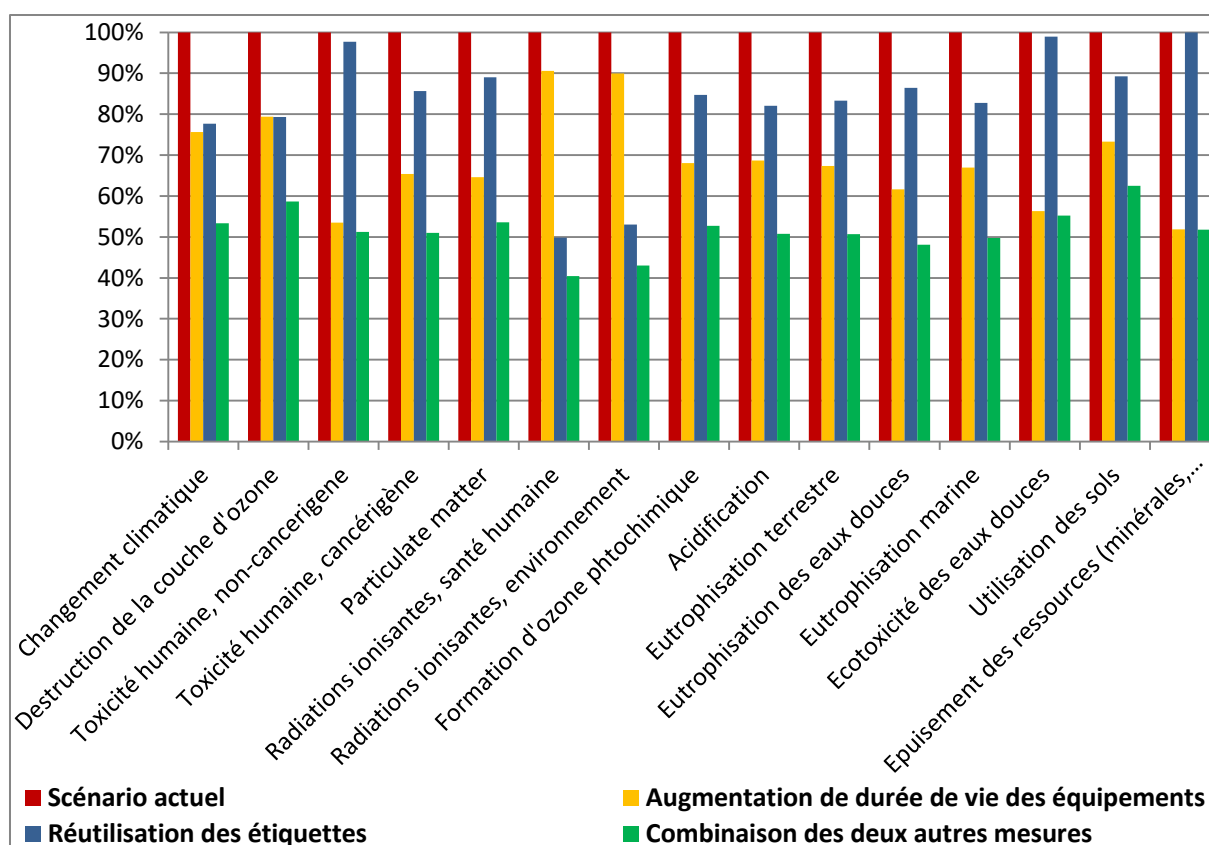


Figure 21 : Comparaison de l'efficacité de plusieurs mesures visant à réduire les impacts environnementaux du système de paiement cashless.

Comme on peut le constater dans ce tableau, chaque mesure, prise indépendamment, offre des résultats variables. En revanche, la combinaison de ces deux mesures permet de diminuer les impacts de 40 à 60 % par rapport à leur ampleur actuelle pour toutes les catégories d'impacts.

La combinaison de ces deux mesures, si elle est possible, permettrait donc de diminuer fortement les impacts liés au système de paiement cashless.

11 Conclusion et perspectives

L'objectif de ce travail était de mesurer les impacts environnementaux générés par le système de paiement cashless. Pour cela, des informations ont été récoltées auprès du festival LaSemo et de Emisys, qui lui fournit le système de paiement. Sur base de ces informations et de données fournies par deux articles scientifiques, une analyse de cycle de vie a été réalisée.

Voici les questions de recherche et les objectifs posés dans la partie introductive de ce travail et les réponses que ce travail a permis d'y apporter.

La première des questions de recherche visait à identifier les impacts environnementaux du système de paiement cashless en festival et à quelles étapes du cycle de vie ils surviennent. S'il est possible de définir l'ampleur de ces impacts et de les chiffrer, il est difficile de réellement évaluer quels sont les impacts les plus importants. En revanche, on constate qu'à l'échelle d'un festival, les impacts générés sont assez faibles. On constate également que les étapes du cycle de vie générant le plus d'impacts sont la fabrication des équipements (étiquettes, lecteurs et tablettes) et leur transport entre leur lieu de stockage et le site du festival.

Le deuxième objectif était de déterminer quels sont les composants qui génèrent le plus d'impacts. Dans le cas du système de paiement cashless, les tablettes, les lecteurs d'étiquettes RFID et les étiquettes elles-mêmes occasionnent des impacts d'ampleurs comparables.

Enfin, le dernier objectif était de proposer des mesures permettant une diminution des impacts du système. Comme présenté dans la partie discussion, les deux mesures qui devraient être privilégiées seraient de mettre en place un système de réutilisation des cartes ainsi que de tenter de prolonger la durée de vie des équipements.

La réalisation de ce mémoire a été compliquée par le manque de données disponibles et la difficulté d'obtenir des réponses à certaines questions. Cela permet de souligner un élément en plus, qui ne faisait pas partie du questionnement à l'origine de ce mémoire : alors que la technologie RFID est aujourd'hui utilisée massivement dans de nombreux domaines et ses mérites environnementaux sont vantés dans plusieurs de ces domaines, il n'existe actuellement presque aucune analyse de cycle de vie complète de cette technologie. En effet, la quasi-totalité des études réalisées ne tente pas de mesurer les impacts liés à la fabrication, au transport et aux autres étapes du cycle de vie des étiquettes et des équipements utilisés pour les faire fonctionner. Cette lacune, déjà soulignée par Bottani *et al.* en 2014, n'a toujours pas été comblée.

Ce manque de données a été une des principales difficultés dans la réalisation de ce mémoire. D'autres obstacles m'ont contraint à faire un certain nombre d'hypothèses et d'approximations. Il faut donc garder à l'esprit que les résultats présentés dans ce mémoire ne constituent qu'une approximation des

impacts environnements du système de paiement étudié. Dès lors, si de nouvelles recherches devaient être menées sur ce sujet, il serait intéressant de faire attention à plusieurs aspects.

Tout d'abord, il faudrait avoir des informations précises et complètes sur la composition et les processus de fabrication des composants du système (étiquettes, lecteurs et tablettes). Cela permettrait de réaliser une analyse du cycle de vie de ces composants qui soit fiable plutôt que basée sur des hypothèses. Cela permettrait aussi de choisir d'autres méthodes d'analyse, notamment de pouvoir utiliser des indicateurs endpoints, qui permettraient d'avoir une perception plus globale des impacts environnementaux du système. Le choix d'une autre méthode d'analyse permettrait également d'éviter le problème rencontré avec la méthode d'évaluation des impacts sur les ressources en eau. Ensuite, il serait intéressant de connaître les impacts exacts générés par un groupe électrogène, pour pouvoir déterminer de manière plus exacte l'ampleur des impacts qu'occasionne la consommation électrique du système.

Pour clôturer ce mémoire, soulignons que si les résultats obtenus ne constituent qu'une approximation des impacts réels, ils constituent tout de même la meilleure estimation des impacts environnementaux du système de paiement cashless en festival qui existe actuellement. Il ne me semble pas pertinent de les appliquer à un autre festival que LaSemo car de nombreux facteurs peuvent varier, tels que le nombre de festivaliers, le nombre de lecteurs d'étiquette ou encore le fait de réutiliser les étiquettes RFID d'année en année. En revanche, le fait d'augmenter la durée de vie du matériel est une mesure qui serait bénéfique pour l'environnement, quel que soit le festival dans lequel ce matériel est utilisé. Quant à la réutilisation des cartes pour plusieurs éditions, il pourrait s'agir d'une solution intéressante à mettre en place pour tous les festivals qui ne le feraient pas encore.

Bibliographie

Articles scientifiques

Aliaga, C., Ferreira, B., Hortal, M., Pancorbo, M.A., Lopez, J.M., Navas, F.J. (2011). Influence of RFID tags on recyclability of plastic packaging. *Waste Management*, 31, 1133–1138.

Amienyo, D., Azapagic, A. (2016). Life Cycle Environmental Impacts and Costs of Beer Production and Consumption in the UK. *The international journal of life cycle assessment*, 21(4), 492–509.

Andersson, T.D., Lundberg E. (2013). Commensurability and Sustainability: Triple Impact Assessments of a Tourism Event. *Tourism management (1982)*, 37, 99–109.

Bättig, M., Ökobilanz, Einwegbecher-Mehrwegbecher, Kurzbericht. 2002. (Cité par Jolliet et al. 2015).

Björk, A., Erlandsson, M., Häkli, J., Jaakkola, K., Nilsson, A., Nummila, K., Puntanen, V., Sirkka, A. (2011). Monitoring Environmental Performance of the Forestry Supply Chain Using RFID. *Computers in industry*, 62(8), 830–841.

Bose, I., Shipeng, Y. (2011). The Green Potential of RFID Projects: A Case-Based Analysis. *IT professional*, 13(1), 41–47.

Bottani, E., Manfredi, M., Vignali, G., & Volpi, A. (2014). Life cycle assessment of RFID implementation in the fresh food supply chain. *International Journal of RF Technologies*, 6(1), 51-71.

Burgess, A.A., & Brennan, D.J. (2001). Application of Life Cycle Assessment to Chemical Processes. *Chemical Engineering Science*, 56(8), 2589–2604.

Collins, A., Calvin, J., & Munday, M. (2009). Assessing the Environmental Impacts of Mega Sporting Events: Two Options? *Tourism management (1982)*, 30(6), 828–837.

Della Lucia, M. (2013) Economic Performance Measurement Systems for Event Planning and Investment Decision Making. *Tourism management (1982)*, 34, 91–100.

Draetta, L., Musiani, F., & Tessier, D. (2014). La RFID à l'épreuve de l'innovation responsable : des pistes pour un « compromis positif ». *Debating Innovation*, 4(1), 1-8

Duroc, Y., & Kaddour D. (2012). RFID Potential Impacts and Future Evolution for Green Projects. *Energy procedia* 18, 91–98.

Fescioglu-Unver, N., Choi, S. H., Sheen, D., & Kumara, S. (2015). RFID in production and service systems: Technology, applications and issues. *Information Systems Frontiers*, 17(6), 1369-1380.

- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., ... Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1–21.
- Frischknecht, R., Braunschweig, A., Hofstetter, P., & Suter, P. (2000). Human health damages due to ionising radiation in life cycle impact assessment. *Environmental impact assessment Review*, 20(2), 159-189.
- Gładysz, B., Ejsmont, K., Kluczek, A., Corti, D., & Marciniak, S. (2020). A method for an integrated sustainability assessment of RFID technology. *Resources*, 9(9), 107.
- Gładysz, B., & Kluczek, A. (2019). An indicators framework for sustainability assessment of RFID systems in manufacturing. *International Scientific-Technical Conference MANUFACTURING*. 274-286. Springer, Cham.
- Gossart, C., & Draetta, L. (2010). Les enjeux environnementaux des technologies RFID. Entretien avec Laura Draetta. *Terminal. Technologie de l'information, culture & société*, 106-107.
- Green Jr, K. W., Zelbst, P. J., Sower, V. E., & Bellah, J. C. (2017). Impact of radio frequency identification technology on environmental sustainability. *Journal of Computer Information Systems*, 57(3), 269-277.
- Hauschild, M. Z., Goedkoop, M., Guinée, J., Heijungs, R., Huijbregts, M., Jolliet, O., ... & Pant, R. (2013). Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), 683-697.
- i Canals, L. M., Romanya, J., & Cowell, S. J. (2007). Method for assessing impacts on life support functions (LSF) related to the use of 'fertile land' in life cycle assessment (LCA). *Journal of Cleaner Production*, 15(15), 1426-1440.
- Kanth, R. K., Wan, Q., Kumar, H., Liljeberg, P., Chen, Q., Zheng, L., & Tenhunen, H. (2012). Evaluating sustainability, environment assessment and toxic emissions in life cycle stages of printed antenna. *Procedia engineering*, 30, 508-513.
- Konecka, S., & Maryniak, A. (2020). RFID as An Element of Economy 4.0 Used to Create Sustainable Supply Chains. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1487(1) 12-35.
- Krauchi, P. H., Wager, P. A., Eugster, M., Grossmann, G., & Hilty, L. M. (2005). End-of-life impacts of pervasive computing: Are RFID tags a threat to waste management?. *IEEE Technology & Society Magazine, Special Issue on Sustainable Pervasive Computing*, 24(1).

- Léonard, A., Belboom, S., Gerbinet, S., Gros Lambert, S., & Merchan, A. (2020). L'analyse du cycle de vie: un outil multicritères et quantitatif pour l'évaluation des impacts environnementaux. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*.
- Lindgreen, E. R., van Schendel, M., Jonker, N., Kloek, J., de Graaff, L., & Davidson, M. (2018). Evaluating the environmental impact of debit card payments. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(9), 1847-1861.
- Milburn, T., & Guertin-Martin, F. A. (2020). Tapping into environmental harm in brewing: An exploration of pollution and waste in beer production. *Critical Criminology*, 28(3), 407-423.
- Mortensen, A., Erdbrink, A., Rullkotter, C., Chusny, K., & Kortjes, J. G. (2016). Cashless payment at festivals through unified hapay bracelet conducting bluetooth in combination with NFC technology.
- Owsianiak, M., Laurent, A., Bjørn, A., & Hauschild, M. Z. (2014). IMPACT 2002+, ReCiPe 2008 and ILCD's recommended practice for characterization modelling in life cycle impact assessment: a case study-based comparison. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(5), 1007-1021.
- Risch, E., Roux, P., Boutin, C., & Héduit, A. (2012). L'analyse de cycles de vie des systèmes d'assainissement: un outil complémentaire d'aide à la décision. *Sciences Eaux & Territoires*, 9, 82.
- Salaun, V. (2016). Quelles évolutions pour la logistique événementielle ? L'impact du cashless dans les festivals musicaux. *Logistique & Management*, 24(3-4), 207-214.
- Spadaro, J. V., & Rabl, A. (2004). Pathway analysis for population-total health impacts of toxic metal emissions. *Risk Analysis: An International Journal*, 24(5), 1121-1141.
- Thomas, V. M. (2008). Environmental implications of RFID. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 1-5.
- Toniolo, S., Mazzi, A., Fedele, A., Aguiari, F., & Scipioni, A. (2017). Life Cycle Assessment to support the quantification of the environmental impacts of an event. *Environmental impact assessment review*, 63, 12-22.
- van Zelm, R., Huijbregts, M. A., den Hollander, H. A., Van Jaarsveld, H. A., Sauter, F. J., Struijs, J., ... & van de Meent, D. (2008). European characterization factors for human health damage of PM10 and ozone in life cycle impact assessment. *Atmospheric Environment*, 42(3), 441-453.
- Subramanian, V., Fréchet, J. M., Chang, P. C., Huang, D. C., Lee, J. B., Moles, S. E., ... & Volkman, S. K. (2005). Progress toward development of all-printed RFID tags: materials, processes, and devices. *Proceedings of the IEEE*, 93(7), 1330-1338.

Vercalsteren, A., Spirinckx, C., & Geerken, T. (2010). Life cycle assessment and eco-efficiency analysis of drinking cups used at public events. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(2), 221-230.

Wong, I. A., Wan, Y. K. P., & Qi, S. (2015). Green events, value perceptions, and the role of consumer involvement in festival design and performance. *Journal of Sustainable Tourism*, 23(2), 294-315.

Yang, L., Staiculescu, D., Zhang, R., Wong, C. P., & Tentzeris, M. M. (2009). A novel “green” fully-integrated ultrasensitive RFID-enabled gas sensor utilizing inkjet-printed antennas and carbon nanotubes. *2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 1-4.

Yang, X., Moore, P., & Chong, S. K. (2009). Intelligent products: From lifecycle data acquisition to enabling product-related services. *Computers in Industry*, 60(3), 184-194.

Zelbst, P.J., Green Jr., K.W., Sower, V.E., & Reyes, P. (2012). Impact of RFID utilization on manufacturing effectiveness and efficiency. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(3), 329–350.

Ouvrages

Berthoud, F., Balin, P., Bohas, A., Charbuillet, C., Drezet, E., Dubois, J. D., ... & Parry, M. (2012). Impacts écologiques des technologies de l'information et de la communication: les faces cachées de l'immatérialité. Les Ulis: EDP Sciences.

Dobkin, D. M. (2012). *The rf in RFID: uhf RFID in practice*. Oxford : Newnes.

Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2018). *Life cycle assessment*. New York : Springer International Publishing, Cham.

Jolliet, O., Saadé-Sbeih, M., Crettaz, P., Jolliet-Gavin, N., Shaked, S., Soucy, G., & Houillon, G. (2017). *Analyse du cycle de vie : comprendre et réaliser un écobilan* (3e édition mise à jour et augmentée.). Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.

Perret, E. (2014). *Identification par radiofréquence: de la RFID à la RFID sans puce*. Londres : ISTE Group.

Perrouy, P.A. (sous la direction de) (2009). L'état des droits de l'homme en Belgique – rapport 2008, Ligue des droits de l'Homme. Bruxelles : Aden.

Mayes, K. E., & Markantonakis, K. (Eds.). (2008). *Smart cards, tokens, security and applications* (Vol. 1). New York: Springer.

Rapports, documents de travail, livres blancs

ADEME (Lhotellier, J., Less, E., Bossanne, E., & Pesnel, S.). (2018). Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipement–Rapport. 186 pages. Consulté sur : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/acv-biens-equipements-201809-rapport.pdf> le 10 juin 2021.

ADEME. (2007). Guide des éco-manifestations en Poitou-Charentes, Région de Poitou-Charentes. Consulté sur : <https://communication-responsable.ademe.fr/sites/default/files/guide-eco-manifestation-poitou-charentes.pdf> le 21 mars 2021.

AFSSET. (2009). Les systèmes d'identification par radiofréquences (RFID).

Alexandre, C., Gérard, A., Goedkoop, M., & Ponsioen, T. C. (2014). Indicateurs d'impact environnementaux en acv: état de l'art, retour d'expériences et recommandations (Doctoral dissertation, SCORE LCA).

CITC. (2015). Recyclabilité et puces RFID. *Les livres blancs du CITC*, 3.

Eneris. (2011). Événements & environnement : Les meilleures pratiques environnementales des festivals de musique. Chapron, G., & Pontabry, D.

Fantke, P., Huijbregts, M. A. J., Margni, M., Hauschild, M. Z., Joliet, O., Mckone, T. E., ... & Van De Meent, D. (2015). USEtox 2.0 User Manual (Version 2). *UNEP/SETAC Life Cycle Initiative*.

Frischknecht, R., Steiner, R., & Jungbluth, N. (2008). The Ecological Scarcity Method – Eco-Factors 2006. A method for impact assessment in LCA. Environmental studies, 906. Federal Office for the Environment (FOEN), Bern: 188 pp.

Joint Research Centre de la Commission européenne. (2010). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General Guide for Life Cycle Assessment - Detailed Guidance. *Publications Office of the European Union*.

Joint Research Centre de la Commission européenne. (2012). Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods. Database and Supporting Information. First edition. Luxembourg : Publications Office of the European Union

ISO. (2012). Des événements « durables » avec ISO 20121.

OCDE. (2008). L'identification par radiofréquence (RFID) : Sécurité de l'information et protection de la vie privée. *Documents de travail de l'OCDE sur l'économie numérique*, 138, Paris : Éditions OCDE.

Sala, S., Benini, L., Castellani, V., Vidal Legaz, B., De Laurentiis, V., & Pant, R. (2019). Suggestions for the update of the Environmental Footprint Life Cycle Impact Assessment. Impacts due to resource use, water use, land use and particulate matter. *Publications Office of the European Union*. Consulté sur : https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/JRC_DRAFT_EFLCIA_resources_water_landuse.pdf le 1 août 2021.

Schindler, H. R., Schmalbein, N., Steltenkamp, V., Cave, J., Wens, B., & Anhalt, A. (2012). SMART TRASH: Study on RFID tags and the recycling industry: Executive Summary of Final Report (D6) in English, with German and French translations.

SCENIHR, R. (2009). Health effects of exposure to EMF.

Weezevent. (2018). Comment le cashless s'est invité dans le cockpit de l'organisation ? » Livre blanc sur le cashless. Consulté sur : <https://weezevent.com/fr/cashless-livre-blanc/> le 5 juin 2021.

WHO. (2015). International EMF Project - Progress reports - June 2014-2015.

Comptes-rendus de conférences

Perasso, E.L. (2013). Analyse du cycle de vie : ILCD handbook et indicateurs environnementaux. 19 février 2013.

Roux, C., Schalbart, P., & Peuportier, B. (2016). Analyse de cycle de vie conséquentielle appliquée à l'étude d'une maison individuelle. *Proceedings of the Conférence IBPSA*. Mai 2016

Norme

ISO 14040 : (2006). Environmental management. Life cycle assessment : Principles and framework. Consulté sur : <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:fr> le 23 février 2021.

Mémoire

Lepage, S. (2016). Bilan carbone de l'édition 2015 du festival LaSemo, mémoire de fin d'études, Bruxelles : ULB.

Articles de journaux

La Libre (2017). Le cashless commence à se faire une place dans nos festivals. Consulté sur : <https://www.lalibre.be/culture/musique/le-cashless-commence-a-se-faire-une-place-dans-nos-festivals-5964fc67cd70d65d24b38b13> le 03 mars 2021.

Mirelli, A. (2018). Savez-vous combien de temps vous passez sur votre smartphone ? RTBF. Consulté sur : https://www.rtb.be/tendance/techno/detail_savez-vous-combien-de-temps-vous-passez-sur-votre-smartphone?id=9879014 le 2 août 2021.

RTBF Belga. (2015, 8 juillet). Le festival LaSemo à Enghien obtient un label ISO pour sa gestion durable. Consulté sur : https://www.rtb.be/info/regions/hainaut/detail_le-festival-lasemo-a-enghien-obtient-un-label-iso-pour-sa-gestion-durable?id=9027708 le 21 mai 2021.

Sites internet

All Batteries : <https://www.all-batteries.fr/batterie-tablette/hp/x2-210-g2.html> consulté le 10 juin 2021.

CO2 neutral company. Consulté sur : <https://www.co2-neutral-label.org/> le 21 mars 2021.

Durée du vol. Consulté sur : <https://www.duree-du-vol.fr/Zaventem-a-Shanghai-Pudong-International-Airport> le 16 juin 2021.

Emisys. Consulté sur : <https://www.emisys.com/festival/> le 10 juin 2021.

Event eco citoyen. (2021). Consulté sur <https://www.eventecocitoyen.be/> le 25 avril 2021.

HP, offres d'emplois. Consulté sur : <https://jobs.hp.com> le 16 juin 2021.

LaSemo. Consulté sur : <https://www.lasemo.be/> le 10 février 2021.

Microsoft HP <https://support.hp.com/be-fr/document/c04854511> consulté le 10 juin 2021.

Sower, V., Bellah, J., Zelbst, P., Green, K. (2013). RFID and Environmental Sustainability: An Unlikely Partnership. RFID J. Consulté sur : <https://www.rfidjournal.com/rfid-and-environmental-sustainability-an-unlikely-partnership> le 8 décembre 2020.

IQ magazine. (2013). European festival report 2013. Consulté sur : https://issuu.com/gregiq/docs/european_festival_report_2013 le 03 mars 2021

IQ magazine. (2019). International ticketing yearbook. Consulté sur : <https://www.iq-mag.net/publications/the-international-ticketing-yearbook/#.YD-a52hKjIU> le 03 mars 2021.

SPF transport, données statistiques des aéroports. Consulté sur : https://mobilit.belgium.be/fr/transport_aerien/aeroports_et_aerodromes/statistiques le 16 juin 2021.

Wallonie demain. Consulté sur : <https://www.walloniedemain.be/walloniedemain/les-festivals-walloniedemain/> le 21 mars 2021.

Entretiens

Entretien visioconférence avec Samuel Chappel, directeur du festival LaSemo. 9 avril 2021.

Entretien téléphonique avec Xavier Ghyssens, co-fondateur de Emysis. 18 juin 2021.

Échange de mail avec Erik Roos Lindgreen. Juin 2021

Logiciels

SimaPro version 8.5

Références des illustrations

La figure 1 est une illustration personnelle réalisée sur base d'informations et d'illustrations issues de Duroc et Kaddour (2012) et CITC (2015).

La figure 2 est une photo tirée de la page facebook du festival LaSemo : <https://www.facebook.com/FestivalLaSemo/photos> en novembre 2020.

La figure 3 est une illustration issue de la norme ISO 14 040, trouvée sur le site <http://eco3e.eu/boite-a-outils/acv/> en novembre 2020.

Les autres illustrations sont des graphiques ou des images personnelles. Les tableaux utilisent parfois des données issues d'articles scientifiques. Lorsque c'est le cas, les références sont citées dans la légende du tableau.

Annexes

Annexe 1 : Composition d'une étiquette RFID

Composant	Matériel	Description	Poids (g)	%
Face matériel	Polymère	PET	0.024	11.27
Colle	Colle	Acrylate	0.036	16.89
IC	Ceramique	Si	0.000149	0.07
ACA	Colle	Matériau à base d'epoxy	0.000021	0.01
Antenne	Metal	Al	0.00963	4.52
Colle	Colle	Acrylate	0.0072	3.38
Substrat	Polymère	PET	0.1	46.96
Colle	Colle	Acrylate	0.036	16.89

Tableau 6 : Composition d'une étiquette RFID (d'après Bottani *et al.*, 2014).

Annexe 2 : calcul de la durée d'utilisation moyenne d'une étiquette par un festivalier

	valeur	Formule	Unité
durée du festival	3	J	Jours
nombre moyen de festivaliers/jour	9500	P/J	personnes par jour
nombre (théorique) de cartes qu'il faudrait pour un festivalier pour une journée de festival	1	$C/(P/J)$	carte par personne et par jour
nombre de cartes qu'il faudrait si chaque festivalier n'utilisait sa carte un seul jour	28500	$(C/(P/J)) * (P/J) * J$	cartes*jours
nombre de cartes réellement utilisées	15000	C	cartes
durée moyenne d'utilisation d'une carte	1.9	$((C/(P/J)) * (P/J) * J) / C$	Jours

J = nombre de jours
P = nombre de personnes
C = nombre de cartes

Tableau 7 : Calcul de la durée moyenne d'utilisation d'une étiquette RFID

Le festival accueille 14 000 personnes durant 3 jours. Toutefois si on additionne les personnes présentes dans le festival chaque jour, on arrive à 28 500 personnes.

Il y a environ 15 000 cartes à puces utilisées par le festival. Si chaque carte ne servait qu'un seul jour, il en faudrait 28 500 (une carte par festivalier et par jour).

En divisant le nombre qu'il faudrait si elles étaient utilisées seulement un jour par le nombre de cartes utilisées, on obtient la durée moyenne d'utilisation d'une carte.

28 500 correspond donc au nombre de journées durant lesquelles il faut utiliser les cartes, et 15 000 correspond au nombre de cartes, on obtient l'équation 28 500 Jours/15 000 Cartes

Ce qui nous donne 1,9 Jour/Carte

Une carte est donc utilisée en moyenne 1,9 jour. Pour connaître les impacts générés par une carte durant une journée, il faudrait diviser les impacts d'une carte par 1,9

Les cartes commandées par LaSemo, mais pas utilisées durant le festival sont réutilisées l'année suivante, elles ne sont donc pas comptabilisées dans ces calculs.

Annexe 3 : Composition du lecteur d'étiquettes RFID

Matériaux	Poids	Processus sélectionnée dans Simapro
Power supply	1 par terminal (+/- 80 g)	Power supply unit, for desktop computer {GLO}
Lithium battery	+/- 30 g	Battery cell, Li-ion {GLO}
Top case: PC (polycarbonate)	63.2 g	Polycarbonate {GLO}
Bottom case: PC (polycarbonate)	59.8 g	Polycarbonate {GLO}
Privacy shield 1: PC (polycarbonate)	5 g	Polycarbonate {GLO}
Privacy shield 2: Santoprene (assumed to mainly consist of polypropylene)	5 g	Polypropylene, granulate {GLO}
Plastic frame: polyone (polyamide compound filled with 30% glass fiber)	4.15 g	Glass fiber reinforced plastic, polyamide, injection molded {GLO}
Contact plate: PC (polycarbonate)	0.55 g	Polycarbonate {GLO}
Holder: PC (polycarbonate)	3.51 g	Polycarbonate {GLO}
SAM door: PC (polycarbonate)	10.3 g	Polycarbonate {GLO}
Liquid crystal display (+/- 5 * 5 * 0.3 cm)	10 g	Liquid crystal display, minor components, auxiliaries and assembly effort {GLO; glass, for liquid crystal display {GLO}
Copper wire	10 g	Copper, cathode {GLO}
Printed circuit boards	30 g	Printed wiring board, mounted mainboard, desktop computer, Pb free
Samsung s3c2410al-20 (CPU, +/- 10 * 10 mm)	0.5 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
Cy62177dv30II (SRAM, +/- 3 * 3 mm)	0.03 g	Integrated circuit, memory type {GLO}
Mrd531b triple channel F2F Decoder IC (decoder, +/- 5 * 5 mm)	0.1 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
TDA8020HL dual IC card interface (IC communication, 5 * 5 mm)	0.774 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
AX88772 USB2.0 fast ethernet controller (10 * 10 mm)	0.5 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
TUSB2046B 4 port USB hub (6 * 6 mm)	0.174 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
Verifone 08233-01-r (7 * 12 mm)	0.5 g	Integrated circuit, logic type {GLO}

Tableau 8 : Composition du lecteur de cartes de banques tel que modélisé dans Simapro (adapté de Lindgreen et al. 2018).

Annexe 4 : Composition du lecteur de cartes de banque

Matériaux	Poids	Processus sélectionnée dans Simapro
Power supply	1 par terminal (+/- 80 g)	Power supply unit, for desktop computer {GLO}
Lithium battery	+/- 30 g	Battery cell, Li-ion {GLO}
Top case: PC (polycarbonate)	63.2 g	Polycarbonate {GLO}
Bottom case: PC (polycarbonate)	59.8 g	Polycarbonate {GLO}
Privacy shield 1: PC (polycarbonate)	5 g	Polycarbonate {GLO}
Privacy shield 2: Santoprene (assumed to mainly consist of polypropylene)	5 g	Polypropylene, granulate {GLO}
Plastic frame: polyone (polyamide compound filled with 30% glass fiber)	4.15 g	Glass fiber reinforced plastic, polyamide, injection molded {GLO}
Contact plate: PC (polycarbonate)	0.55 g	Polycarbonate {GLO}
Holder: PC (polycarbonate)	3.51 g	Polycarbonate {GLO}
SAM door: PC (polycarbonate)	10.3 g	Polycarbonate {GLO}
Keypad: PC (polycarbonate)	9.7 g	Polycarbonate {GLO}
Keypad: silicon	21.98 g	Silicone product {RER} production
Liquid crystal display (+/- 5 * 5 * 0.3 cm)	10 g	Liquid crystal display, minor components, auxiliaries and assembly effort {GLO; glass, for liquid crystal display {GLO}
Copper wire	10 g	Copper, cathode {GLO}
Printed circuit boards	30 g	Printed wiring board, mounted mainboard, desktop computer, Pb free
Samsung s3c2410al-20 (CPU, +/- 10 * 10 mm)	0.5 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
Cy62177dv30II (SRAM, +/- 3 * 3 mm)	0.03 g	Integrated circuit, memory type {GLO}
Mrd531b triple channel F2F Decoder IC (decoder, +/- 5 * 5 mm)	0.1 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
8007b_c3 double multiprotocol IC card interface (IC communication, 3 * 3 mm)	0.03 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
TDA8020HL dual IC card interface (IC communication, 5 * 5 mm)	0.774 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
AX88772 USB2.0 fast ethernet controller (10 * 10 mm)	0.5 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
TUSB2046B 4 port USB hub (6 * 6 mm)	0.174 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
Verifone 08233-01-r (7 * 12 mm)	0.5 g	Integrated circuit, logic type {GLO}
Paper rolls	58 g	Paper, wood-free, coated {RER}

Tableau 9 : Composition du lecteur de cartes de banques tel que modélisé dans Simapro (d'après Lindgreen *et al.*, 2018).

Annexe 5 : Processus de fabrication des lecteurs de cartes de banques et RFID

Processus sélectionné dans Simapro	quantité	unité
Assembly of liquid crystal display, auxiliaries and energy use {GLO}	32	g
Injection moulding {GLO}	80	g
Metal working, average for copper product manufacturing {GLO}	10	g
Mounting, surface mount technology, Pb-containing solder {GLO}	100	cm2

Tableau 10 : Processus de fabrication des lecteurs de cartes de banques et RFID (d'après Lindgreen, communication personnelle).

Annexe 6 : consommation électrique du système de paiement cashless pendant le festival

	Lecteur de carte de banque				Tablette	
	Lecteur RFID/NFC	Tablettes				
Nombre d'appareil	13	116	78			
Nombre d'heures de fonctionnement d'un appareil	56	56	56	nombre d'heures de fonctionnement de tous les appareils	4368	
nombre d'heures de fonctionnement de tous les appareils	728	6496	4368	consommation moyenne d'un tablette	1.36	
nombre d'opérations	57000	133140		consommation totale durant le festival (en wh)	5940.48	

Lecteur de cartes de banque						
mode	durée	durée cumulée de toutes les opérations		consommation (en W)	consommation totale de chaque mode durant le festival (en wh)	consommation totale des lecteurs de cartes durant le festival (en Wh)
		en secondes	en heures			
mode standby	/	1936800	538	0.2	107.6	788.18
affichage du message "présenter carte"	6	342000	95	3.438	326.61	
transaction	6	342000	95	3.726	353.97	

Lecteurs RFID						
mode	durée	durée cumulée de toutes les opérations		consommation (en W)	consommation totale de chaque mode durant le festival (en wh)	consommation totale des lecteurs de cartes durant le festival (en Wh)
		en secondes	en heures			
mode standby	/	21787920	6052.2	0.2	1210.44	2800.1316
affichage du message "présenter carte"	6	798840	221.9	3.438	762.8922	
transaction	6	798840	221.9	3.726	826.7994	

Consommation totale de l'ensemble du système	9528.7916 Wh
	9.5287916 Kwh

Figure 22 : Données concernant la consommation électrique du système de paiement cashless durant le festival

Annexe 7 : Résultats de l'analyse de cycle de vie du système de paiement cashless

	Impact total	lecteur nfc rfid			tablette			lecteur banque			puce rfid			Conso d'énergie durant le festival	Transport lieu de stockage - festival	Unité
		fin de vie	fabrication	transport	fin de vie	fabrication	transport	fin de vie	fabrication	transport	fin de vie	fabrication	transport			
Climate change	5.03E-02	1.62E-05	1.03E-02	2.77E-05	6.30E-05	1.16E-02	1.19E-03	1.81E-06	1.16E-03	3.11E-06	5.03E-04	1.62E-02	1.44E-06	3.05E-04	8.88E-03	kg CO2 eq
Ozone depletion	4.91E-09	5.28E-13	7.54E-10	4.46E-12	6.98E-13	9.48E-10	2.18E-10	5.92E-14	8.60E-11	5.00E-13	2.52E-11	1.49E-09	3.49E-28	5.52E-11	1.33E-09	kg CFC-11 eq
Human toxicity, non-cancer effects	7.76E-08	9.61E-12	2.77E-08	3.10E-12	5.22E-11	4.12E-08	3.16E-11	1.08E-12	3.14E-09	3.48E-13	2.43E-11	2.62E-09	1.17E-26	7.48E-12	2.78E-09	CTUh
Human toxicity, cancer effects	6.91E-09	8.71E-13	2.23E-09	8.37E-13	3.06E-12	2.30E-09	7.22E-12	9.76E-14	2.51E-10	9.38E-14	2.67E-11	1.46E-09	1.81E-27	1.84E-12	6.36E-10	CTUh
Particulate matter	3.82E-05	8.51E-09	1.11E-05	2.76E-08	4.62E-09	1.44E-05	2.50E-07	9.53E-10	1.25E-06	3.10E-09	1.58E-07	6.11E-06	1.36E-16	1.94E-07	4.82E-06	kg PM2.5 eq
Ionizing radiation HH	1.18E-02	9.60E-07	1.03E-03	2.34E-06	5.31E-07	1.01E-03	7.93E-05	1.08E-07	1.16E-04	2.62E-07	4.92E-05	8.90E-03	4.40E-07	2.03E-05	6.11E-04	kBq U235 eq
Ionizing radiation E (interim)	3.94E-08	3.32E-12	3.50E-09	1.27E-11	2.37E-12	3.47E-09	5.35E-10	3.72E-13	3.94E-10	1.42E-12	1.53E-10	2.76E-08	1.32E-23	1.36E-10	3.54E-09	CTUe
Photochemical ozone formation	1.63E-04	2.61E-08	5.01E-05	3.51E-07	4.48E-08	4.13E-05	5.82E-06	2.93E-09	5.64E-06	3.94E-08	9.33E-07	3.63E-05	1.59E-14	1.09E-06	2.12E-05	kg NMVOC eq
Acidification	2.98E-04	7.82E-08	8.68E-05	5.93E-07	5.01E-08	8.12E-05	5.87E-06	8.76E-09	9.77E-06	6.65E-08	1.75E-06	7.75E-05	2.55E-13	3.05E-06	3.09E-05	molc H+ eq
Terrestrial eutrophication	5.16E-04	9.56E-08	1.45E-04	1.33E-06	1.77E-07	1.51E-04	2.15E-05	1.07E-08	1.63E-05	1.49E-07	3.45E-06	1.25E-04	5.88E-13	3.60E-06	4.90E-05	molc N eq
Freshwater eutrophication	6.17E-05	4.49E-09	1.80E-05	3.47E-09	2.07E-09	2.72E-05	2.83E-08	5.03E-10	2.04E-06	3.88E-10	1.57E-07	1.24E-05	1.25E-15	6.20E-09	1.83E-06	kg P eq
Marine eutrophication	5.71E-05	1.01E-08	1.47E-05	1.19E-07	1.86E-08	1.90E-05	1.96E-06	1.13E-09	1.66E-06	1.34E-08	5.52E-07	1.41E-05	1.02E-15	3.28E-07	4.54E-06	kg N eq
Freshwater ecotoxicity	2.20E+00	3.34E-02	6.36E-01	8.07E-05	3.51E-02	1.14E+00	6.66E-04	3.74E-03	7.20E-02	9.04E-06	8.65E-04	3.38E-02	2.66E-05	2.26E-04	2.42E-01	CTUe
Land use	7.84E-02	1.23E-05	2.08E-02	6.70E-05	1.84E-05	1.53E-02	2.98E-03	1.38E-06	2.34E-03	7.51E-06	2.29E-04	1.24E-02	6.74E-08	7.44E-04	2.35E-02	kg C deficit
Water resource depletion	1.29E-05	1.30E-08	-8.38E-06	2.84E-09	-2.26E-09	-7.83E-06	1.63E-07	1.46E-09	-9.30E-07	3.19E-10	4.32E-07	2.96E-05	1.95E-14	4.00E-07	-5.63E-07	m3 water eq
Mineral, fossil & ren resource depletion	5.85E-05	1.97E-09	4.76E-05	7.56E-10	6.71E-10	3.45E-06	2.85E-09	2.21E-10	5.34E-06	8.47E-11	1.23E-09	6.09E-08	1.54E-22	5.23E-10	2.07E-06	kg Sb eq

Tableau 11 : Impacts environnementaux du système de paiement cashless du festival LaSemo 2.