

Chaire de recherche et d'intervention en Éco-conseil



ÉTUDE DE FAISABILITE SUR LA REUTILISATION DES PILES USAGEES

Réalisée par :

Jonathan Perreault, M.Sc, éco-conseiller diplômé Chargé de projet

Pierre-Luc Dessureault, BSc, éco-conseiller diplômé

Judith Havenne, Valoriste

Avec la collaboration de :

M Sibi Bonfils, Ph.D. Chercheur-associé

Hervé Larose, Biologiste, éco-conseiller diplômé©

Carl Maltais, MSc

Sous la direction de Claude Villeneuve

Professeur

Université du Québec à Chicoutimi

Juillet 2010

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Le présent travail de recherche a été réalisé par la Chaire en Éco-Conseil à la demande de Recyc-Québec. Il vise, à travers une étude préliminaire, à caractériser le potentiel énergétique des piles primaires usagées au Québec par la mesure de la tension résiduelle et à identifier des utilisations permettant de réduire à la source une proportion de ces piles en augmentant leur vie utile. L'étude a été effectuée sur 3958 piles recueillies dans des sites de collecte et auprès de deux institutions du Saguenay-Lac-St-jean. Comme les piles alcalines de type AA et AAA représentent 86% du total collecté, l'étude a porté exclusivement sur ces deux types de piles.

L'étude a permis de déterminer que:

- la majorité des piles collectées contiennent un potentiel énergétique qui permettrait de les utiliser encore pendant une durée intéressante dans des appareils à faible consommation électrique.
- il est possible d'estimer rapidement le temps d'utilisation d'une pile dans un appareil si l'on connaît la résistance interne ou la tension de rupture et l'intensité nécessaire de l'appareil.
- des piles AA de bonne qualité usagées avec une tension résiduelle supérieure à 1,2 volt présentent des courbes de décharge permettant un temps d'utilisation comparable avec des piles neuves de moindre qualité.
- des utilisations en cascade de piles dans des appareils peuvent permettre d'épuiser totalement leur potentiel énergétique.
- il sera difficile d'envisager la vente des piles usagées au Québec compte tenu des opérations nécessaires à leur mise en marché et de leur coût comparé à celui des piles neuves.
- des utilisations en cascade de piles pourraient être planifiées dans certaines institutions qui en consomment beaucoup à condition que les appareils dont elles disposent le permettent.
- une utilisation en cascade des piles dans des appareils domestiques est tout à fait possible. Il suffirait de mettre à la disposition des usagers l'information nécessaire.
- dans une optique de cycle de vie, le remplacement des piles primaires par des piles rechargeables présente des avantages certains sur le plan des émissions de gaz à effet de serre. Cependant, les piles rechargeables ne peuvent pas remplacer les piles primaires dans tous les appareils, car elles ont une tension inférieure à ces dernières.
- le potentiel de remplacement des piles primaires par des piles rechargeables pourrait être amélioré si les fabricants indiquaient sur les appareils que ceux-ci peuvent fonctionner avec des piles rechargeables.
- les hôpitaux semblent être une importante source de piles usagées de qualité. La majorité des piles usagées de cette source peuvent être considérées comme neuves et pourraient être redistribuées plutôt que jetées. La redistribution aux employés et

bénéficiaires serait la plus simple, mais une redistribution organisée dirigée vers des groupes communautaires, des écoles, des familles à faible revenu, etc. est tout à fait envisageable.

Sommaire

Introduction	8
Contexte.....	8
Objectifs.....	9
Chapitre 1 : Fondements théoriques	11
Comment fonctionne une pile primaire?.....	11
Et les piles rechargeables ?	12
Le mode de stockage influence-t-il le potentiel énergétique?	14
Temps.....	15
Température	15
Humidité et rouille	15
Création d'un circuit dans le stockage	16
Comment mesurer le potentiel énergétique d'une pile ?	16
Comment calculer la différence de potentiel et l'intensité lorsqu'il y a plusieurs piles dans un appareil ?.....	17
Comment mesurer la résistance des appareils?	17
Quelles sont les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation des piles ?	18
Chapitre 2 : Caractérisation des piles usagées	21
Description de l'échantillon	21
Lieux.....	21
Méthode pour déterminer la tension résiduelle des piles	22
Résultats relatifs à la tension résiduelle des piles usagées	22
Piles domestiques de format AA.....	22
Piles domestiques de format AAA	23
Piles institutionnelles de format AA et AAA.....	25
Institutionnelles vs domestiques	27
Chapitre 3 : Résistance des appareils et évolution de la tension des piles usagées lors de leur décharge	30
Méthode utilisée pour déterminer la résistance des appareils	30
Résultats relatifs à la résistance des appareils et à l'évolution de la tension dans les courbes de décharge.....	30
Méthode utilisée pour déterminer l'évolution de la tension dans les courbes de décharge des piles	31
Résultats relatifs à la décharge des piles neuves et usagées.....	32
La variation de la tension durant la décharge dans les premières secondes.....	32
Le temps de décharge des piles usagées	33

Résistance de 24 Ohms	35
Résistance 42 Ohm	36
Comparaison des marques de pile	37
<i>Chapitre 4 : Évaluation des émissions de gaz à effet de serre pour les piles primaires et secondaires.....</i>	<i>39</i>
Méthode pour comparer les gaz à effet de serre émis par les piles primaires et les piles secondaires	39
Les caractéristiques des piles.....	39
L'unité fonctionnelle	39
Les frontières du système et méthode utilisée.....	40
Résultats relatifs aux émissions de gaz à effet de serre pour les piles primaires et secondaires	41
Une pile primaire VS une pile secondaire	41
Piles primaires VS piles secondaires dans un contexte d'utilisation.....	41
<i>Chapitre 5 : Analyse et recommandations.....</i>	<i>43</i>
Quelle est la tension résiduelle des piles récupérées par type de piles et par voie de disposition ?	43
Domestique.....	43
Institutionnelle.....	43
Qualité des piles.....	43
Le mode de stockage influence-t-il le potentiel énergétique ?.....	44
Comment peut-on rapidement et à faible coût connaître le potentiel énergétique d'une pile ?.....	44
Quels sont les usages possibles de cette énergie résiduelle ?	45
Utilisation en cascade	45
Usage collectif.....	46
Limites.....	47
Est-ce possible d'imaginer un potentiel commercial ?	47
En identifiant les étapes du cycle de vie d'une pile, quel serait l'impact sur les émissions de CO₂ d'utiliser uniquement des piles rechargeables au Québec ?.....	50
Comparaison d'une pile primaire et d'une pile secondaire.....	50
Comparaison des piles primaires et secondaires lors de 1 000 heures d'utilisation dans un appareil de résistance de 4 Ohms.....	50
<i>Chapitre 6 : Conclusion et pistes de recherche.....</i>	<i>52</i>
<i>Références</i>	<i>53</i>

Liste des annexes

<i>Annexe 1 : Échantillons collectés.....</i>	<i>54</i>
<i>Annexe 2 : Évaluation des GES émis par la fabrication d'une pile.....</i>	<i>56</i>
<i>Annexe 3 : Résultats de l'analyse des piles institutionnelles.....</i>	<i>58</i>

Liste des figures

Figure 1 Cycle de vie simplifié des piles montrant les alternatives faisant partie de l'étude..... 9

Figure 2 Évolution du voltage durant la décharge d'une pile AA d'Énergizer..... 12

Figure 3 Évolution du voltage durant la décharge d'une pile AA Duracell Procell..... 12

Figure 4 Courbe de décharge des piles rechargeables Nickel métal hybride (2500mAh) d'Énergizer 13

Figure 5 Capacité énergétique des piles rechargeables (NiMH) en fonction du temps de stockage..... 14

Figure 6 La capacité énergétique en pourcentage en fonction de la température de stockage 15

Figure 7 Relation entre la capacité de décharge (Cd) et le voltage initial (Vi) de piles usagées..... 16

Figure 8 Hiérarchie décroissante de la résistance des appareils selon Énergizer 18

Figure 9 Comparaison de l'impact des piles primaires et secondaires avec l'électricité du réseau..... 19

Figure 10 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle pour le format AA des piles du Café Cambio..... 23

Figure 11 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle pour les piles AA de l'îlot multimatières..... 23

Figure 12 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle pour le format AAA des piles du Café Cambio..... 24

Figure 13 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle pour les piles AAA de l'îlot multimatières 24

Figure 14 Pourcentage de chaque catégorie de tension des piles de format AA Duracell Procell du Service de l'audiovisuel 25

Figure 15 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle de tous les départements de l'hôpital de Dolbeau-Mistassini pour le format de pile AA..... 26

Figure 16 Pourcentage de chaque catégorie de tension des piles de format AA Duracell Procell du Service des immeubles et équipements 26

Figure 17 Pourcentage de chaque catégorie de tension des piles de format AAA Duracell Procell du Service de l'audiovisuel 26

Figure 18 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle de tous les départements de l'hôpital pour le format de pile AAA 27

Figure 19 Pourcentage de chaque catégorie de tension des piles de format AAA Duracell Procell du Service des immeubles et équipements 27

Figure 20 Dates de péremption des piles alcalines récoltées à l'îlot multimatières 28

Figure 21 Variation de la tension durant la décharge de la pile dans les 40 premières secondes avec une résistance de 10 Ohms..... 33

Figure 22 Variation de la tension durant la décharge de la pile dans les 20 premières secondes avec une résistance de 42 Ohms..... 33

Figure 23 Décharge des piles de catégorie 1,5 volt et plus, 1,4 volt, 1,3 volt, 1,2 volt avec une résistance de 4 Ohms..... 34

Figure 24 Décharge des piles de catégories 1,5 volt, 1,4 volt, 1,3 volt, 1,2 volt avec une résistance de 10 Ohms 35

Figure 25 Décharge des piles de catégories 1,5 volt, 1,4 volt, 1,3 volt, 1,2 volt avec une résistance de 24 Ohms 36

Figure 26 Décharge des piles de catégories 1,5 volt, 1,4 volt, 1,3 volt, 1,2 volt avec une résistance de 42 Ohms 37

Figure 27 Comparaison de différentes marques de piles : Duracell industrielle, Énergizer commerciale, Panasonic commerciale avec une résistance de 24 Ohms..... 38

Figure 28 Cycle de vie étendu d'une pile primaire permettant une utilisation plus optimale de son potentiel énergétique 49

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 Vente des piles au Québec en 2006</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 2 Quantité de piles AA et AAA par lieu de collecte</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 3 Synthèse de la qualité des piles domestiques de format AA et AAA</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 4 Synthèse de la qualité des piles industrielles à l'UQAC et à l'Hôpital de Dolbeau-Mistassini</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 5 Caractéristiques des appareils évalués</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 6 Moyenne de l'écart-type de la tension de chaque catégorie de pile avec une résistance 4 Ohms</i>	<i>34</i>
<i>Tableau 7 Moyenne de l'écart-type de la tension de chaque catégorie de pile avec une résistance 10 Ohms</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 8 Moyenne de l'écart-type de la tension de chaque catégorie de pile avec une résistance 24 Ohms</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 9 Moyenne de l'écart-type de la tension de chaque catégorie de pile avec une résistance 42 Ohms</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 10 Impact des GES pour chacune des phases du cycle de vie, en considérant que le chargeur à pile équivaut une fois la fabrication des piles</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 11 Impact des GES pour chacune des phases du cycle de vie, en considérant le réseau électrique du Québec et que celles-ci sont utilisées dans un appareil (4 Ohms) pendant 1 000 heures</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 12 Impact des GES pour chacune des phases du cycle de vie, en considérant le réseau électrique de l'Alberta et que celles-ci sont utilisées dans un appareil (4 Ohms) pendant 1 000 heures</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 13 Impact des GES pour chacune des phases du cycle de vie, en considérant le réseau électrique de l'Ontario et que celles-ci sont utilisées dans un appareil (4 Ohms) pendant 1 000 heures</i>	<i>42</i>

INTRODUCTION

Contexte

La croissance des ventes d'appareils portatifs (lecteurs MP3, consoles de jeux portatives, appareils photo, etc.) sur le marché augmente sans cesse la consommation des piles primaires (non rechargeables) et secondaires (rechargeables). En effet, de grandes quantités de piles sont vendues chaque année au Canada. Selon une étude réalisée par Kelleher (2009) pour le compte d'Environnement Canada, 707 millions de piles primaires (671 M) et rechargeables (36 M) ont été vendues au Canada en 2007. Selon cette même étude, la quantité de piles mises en marché au Québec en 2006 était de 119,6 millions de piles primaires et rechargeables (Tableau 1). De plus, autant au Canada qu'au Québec, les ventes de piles connaissent un fort taux de croissance. Pour le Québec, entre 2004 et 2006, la vente de piles primaires a subi une hausse de 12,5 % alors que celle des piles rechargeables augmentait de 22 %. (Kelleher, 2009). Le tableau 1 montre que les piles primaires alcalines dominent largement le marché avec 70% du total des ventes.

Tableau 1 Vente des piles au Québec en 2006

TYPE DE PILES	NOMBRE (milliers d'unités)	MASSE (tonnes)	MASSIQUE GLOBAL %
Piles primaires			
Carbone-zinc	19 942	538,4	13,3
Alcalines	83 616,8	2 341,3	57,9
Zinc-air	11,3	0,2	0
Lithium	1 677,7	26,8	0,7
Piles bouton (oxyde d'argent et zinc-air)	8 693,1	8,6	0,1
Piles secondaires			
Nickel-cadmium	3 548,5	720,3	17,8
Nickel-hydrure métallique	1 297,2	120,6	3
Ions-lithium	507,6	20,2	0,5
Polymère de lithium	49,4	1,9	0
PPSPA	256,9	268,4	6,6
Sous-total rechargeable	5 659,6	1 131,4	28
GRAND TOTAL	119 600,5	4 047	100

Tiré de : Fiche d'information sur les piles domestiques de RECYC-Québec

Toutefois, RECYC-Québec estimait en 2006 un taux de récupération d'à peine 5,6 % pour les piles non rechargeables et de 6 % pour les piles rechargeables. Non seulement ces taux de récupération sont extrêmement faibles, mais certaines piles jetées aux ordures conservent encore une charge résiduelle qui pourrait servir au fonctionnement de certains appareils.

L'utilisation optimale du potentiel énergétique des piles primaires avant leur mise au rebut permettrait de valoriser leur plein potentiel. On peut supposer que dans une stratégie de réduction à la source préconisée par le projet de politique québécoise sur les matières résiduelles 2010-2015, l'utilisation optimale des piles primaires et leur remplacement par des piles secondaires

pourraient constituer un progrès notable pour éviter que ces matières résiduelles ne soient envoyées à l'enfouissement.

Objectifs

C'est ce constat qui a conduit la Chaire de recherche et d'intervention en Éco-Conseil et Recyc-Québec à initier un projet de recherche sur la réutilisation des piles primaires. Ainsi, les questions essentielles auxquelles veut répondre cette étude sont les suivantes :

1. Est-ce que les piles usagées ont un potentiel énergétique intéressant pour la réutilisation ?
2. Si oui, comment peut-on réutiliser ce potentiel énergétique afin de diminuer à la source la demande de piles?

Voici les objectifs de recherche de cette étude tels que définis par Recyc-Québec :

1. Quelle est la tension résiduelle des piles récupérées par type de piles et par voie de disposition ?
2. Le mode de stockage influence-t-il le potentiel énergétique dans le temps ?
3. Comment peut-on rapidement et à faible coût connaître la tension d'une pile ?
4. Quels sont les usages possibles de cette énergie résiduelle ?
5. Est-ce possible d'imaginer un potentiel commercial ?
6. En identifiant les étapes du cycle de vie d'une pile, quel serait l'impact sur les émissions de CO₂ d'utiliser uniquement des piles rechargeables au Québec ?

Tel qu'illustré dans le cycle de vie simplifié présenté à la figure 1, deux options ont été étudiées pour favoriser l'utilisation des piles à leur plein potentiel avant leur disposition. La première concerne le développement d'une filière commerciale permettant la revente des piles usagées une fois testées et classées par charge résiduelle. La seconde consiste en une utilisation optimale des piles à l'aide d'un principe de cascade, où les piles seraient utilisées dans des appareils correspondant à leur état de fonctionnement par l'acheteur original ou suite à une redistribution. Ce principe permettrait d'augmenter l'espérance de vie de ce produit et de diminuer sa demande sur le marché si on suppose un scénario de référence où chaque appareil est systématiquement alimenté par des piles neuves.

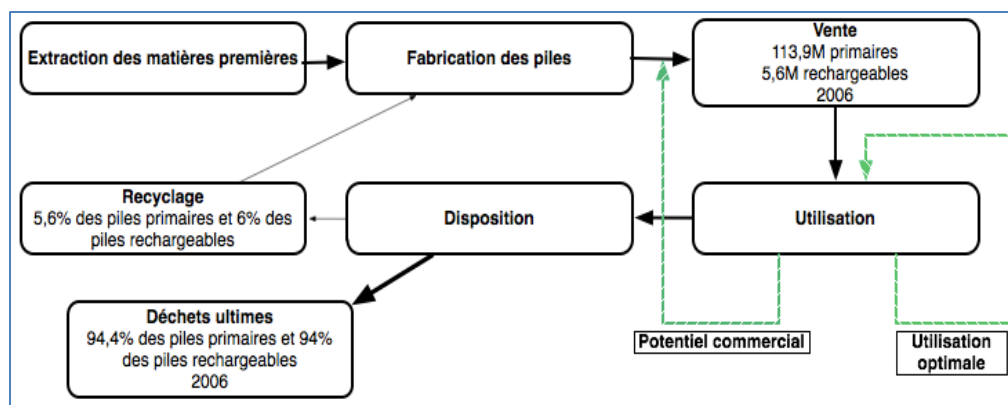


Figure 1 Cycle de vie simplifié des piles montrant les alternatives faisant partie de l'étude

Ce rapport présente donc un chapitre sur les fondements théoriques relatifs aux piles, suivi de trois chapitres relatifs à nos expérimentations : la caractérisation des piles usagées, la résistance des appareils, l'évolution de la tension et les gaz à effet de serre relatifs aux piles primaires et secondaires. De plus, nous y trouverons les réponses aux questions de RECYC-Québec dans le chapitre analyse et recommandations, puis une conclusion.

CHAPITRE 1 : FONDEMENTS THÉORIQUES

Dans ce chapitre, nous passerons en revue les éléments nécessaires à la compréhension du comportement des piles primaires lors de leur utilisation et de leur stockage. Puis nous passons en revue des éléments de littérature sur les émissions de gaz à effet de serre dans le cycle de vie des piles.

Comment fonctionne une pile primaire?

Une pile fonctionne grâce à une réaction chimique appelée « oxydoréduction ». Ce type de réaction nécessite l'utilisation :

- d'une anode (donneuse d'électron) : $An(s) \longrightarrow An^{x+} + xe^{-}$
- d'une cathode (receveuse d'électron) : $Ct^{y+} + ye^{-} \longrightarrow Ct(s)$
- d'un fil conducteur (permet le transfert d'électron (e^{-}))
- d'un canal échangeur d'ion (les anions doivent pouvoir circuler librement pour que la réaction se produise)

Pour ce faire, on fabrique deux compartiments qui possèdent une version solide et ionique (électrolyte) d'un élément chimique différent et on les rejoint par un fil électrique et un canal ionique. La différence de potentiel de réduction (E°) entre ces métaux dictera le rôle de chacun d'eux (celui avec la valeur la plus élevée sera la cathode). Cette valeur s'exprime en volt et la différence de potentiel (ddp) d'une pile sera dictée par la différence entre ces deux valeurs. Notons que les électrons circulent de l'anode vers la cathode, inversement au courant conventionnel. La réaction se terminera lorsque l'anode sera presque complètement ionisée (oxydation) pendant que la partie solide de la cathode sera augmentée par une relation stœchiométrique (réduction) et que la différence de potentiel de la pile sera nulle.

Concrètement, les piles primaires cylindriques sont une version esthétique et pratique d'un tel dispositif. La cathode est un mélange de dioxyde de manganèse (MnO_2) et l'anode, de la poudre de zinc (Zn). L'électrolyte est une solution d'hydroxyde de potassium (KOH). Finalement, une tige de laiton conduit l'électricité à l'extérieur. Une pile doit être un circuit incomplet pour éviter la réaction. Elle s'amorcera lorsque la pile sera insérée dans un dispositif qui complètera le circuit. À ce moment, l'oxydoréduction se produit et les électrons libérés par l'anode qui s'oxyde passent dans le circuit électrique pour alimenter l'équipement qui en a besoin et terminent leur périple en atteignant la cathode qui sera ainsi réduite. Voici l'équation d'oxydoréduction qui correspond à ce cas :



C'est une tige de laiton qui transmet l'électricité vers l'extérieur de la pile. Au fur et à mesure que la pile est utilisée, son anode se détériore graduellement, réduisant ainsi la disponibilité des charges, ce qui diminue le voltage de la pile.

La charge résiduelle d'une pile est généralement exprimée en milliampère heure et représente l'intensité qu'une pile peut générer en une heure. En quelque sorte, cette indication est comparable à la résistance d'un appareil. Ainsi, il suffit de connaître la tension de coupure de l'appareil pour nous permettre d'évaluer la durée d'utilisation de la pile. Par exemple, la figure 2 présente une courbe de décharge, produite par la compagnie Énergizer, d'une pile alcaline AA/LR6. Pour la décharge, ils ont utilisé une résistance d'environ 15 Ohms (1,6/100mA). Ainsi, si l'appareil ne fonctionne plus à partir de 100mA et à un seuil de 0,8 volt, la pile a une durée d'environ 25 heures (figure 2). Bref, si on connaît la tension de rupture (voltage) et le taux de fuite nécessaire pour que l'appareil fonctionne, on peut déterminer un temps de réutilisation. Toutefois, cette indication est rarement inscrite sur les appareils. En fait, il n'y a que les appareils qui peuvent se brancher au réseau électrique qui ont ces indications.

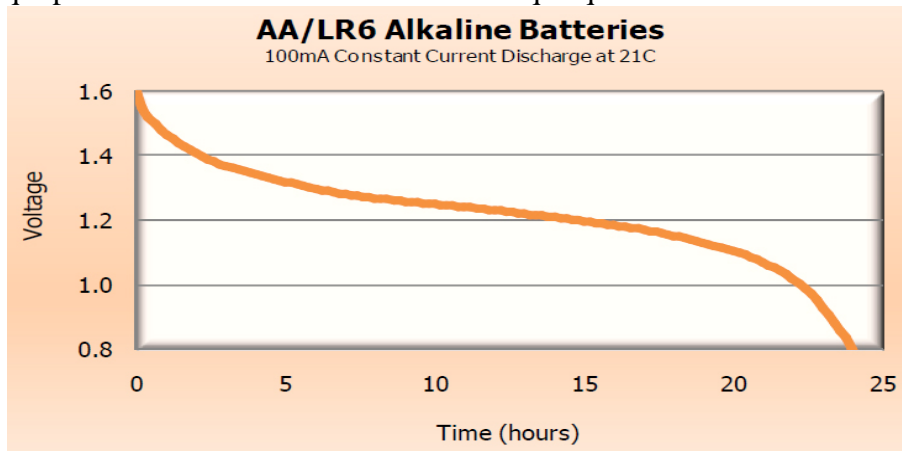


Figure 2 Évolution du voltage durant la décharge d'une pile AA d'Énergizer

Source : www.energizer.com

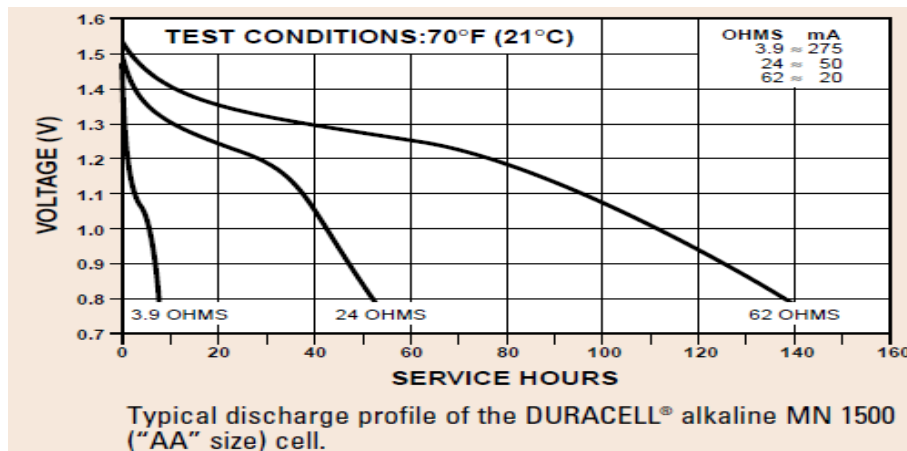


Figure 3 Évolution du voltage durant la décharge d'une pile AA Duracell Procell

Source : www.duracell.com

Et les piles rechargeables ?

Une pile rechargeable est en quelques mots un accumulateur électrochimique d'énergie. En effet, celle-ci peut stocker l'énergie électrique en énergie chimique et la restituer ultérieurement en

énergie électrique. Pour ce faire, on utilise la propriété qu'ont certains couples chimiques d'accumuler une certaine quantité d'électricité en modifiant leur structure moléculaire, et ce, de manière réversible. Par ailleurs, les matériaux qui les composent sont presque similaires à ceux des piles primaires à l'exception de l'anode, la cathode et l'électrolyte.

La compagnie Energizer explique la réaction chimique de sa pile rechargeable au nickel métal hybride (NiMH) comme suit :

Durant la période de charge de la pile :

Du côté de la borne négative, l'eau contenue dans l'électrolyte en contact avec l'alliage (anode), est décomposée en ion d'hydrogène (H^+) et d'hydroxyde (OH^-) sous l'induction de l'énergie électrique. Puis, l'alliage absorbe l'hydrogène.



Du côté de la borne positive, le nickel est oxydé par les ions d'hydroxyde :

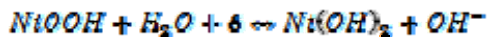


Ensuite, lorsque la pile est en décharge :

Du côté de la borne négative, l'hydrogène est désorbé de l'alliage et se combine avec un ion d'hydroxyde pour former de l'eau tout en contribuant à un électron dans le circuit.



Du côté de la borne positive, le nickel oxyhydroxyde est réduit à son état de valence inférieur, dihydroxyde de nickel.



Au niveau de l'utilisation, la différence majeure entre les piles rechargeables et non rechargeables est que ces dernières ont une tension maximale plus grande. La figure 4 montre l'évolution de la tension durant la décharge d'une pile secondaire à différents niveaux d'intensité, représentée par les différentes couleurs.

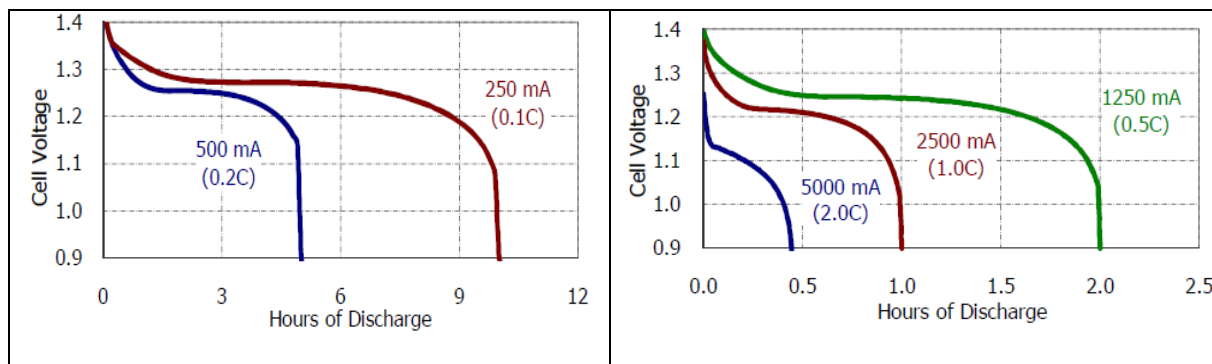


Figure 4 Courbe de décharge des piles rechargeables Nickel métal hybride (2500mAh) d'Energizer

Source : www.Energizer.com

En outre, les piles rechargeables peuvent être réutilisées plusieurs fois. Selon Parsons (2007), une pile NiMH a une durée de vie réaliste de 50 cycles de rechargement¹. De plus, il mentionne qu'en moyenne dans sa durée de vie cette pile n'est capable de livrer que 76 % de sa capacité nominale. Par ailleurs, ce type de piles s'autodécharge beaucoup plus rapidement qu'une pile primaire². En effet, dans l'espace d'un mois, une pile rechargeable aura perdu un potentiel énergétique significatif. C'est la température (figure 5) durant le stockage qui est la cause principale de l'autodécharge selon la compagnie Energizer. De plus, lorsque la pile est déchargée et mise en veille d'une façon prolongée et dans un environnement non adéquat, sa composition chimique peut changer et altérer sa capacité de charge prévue.

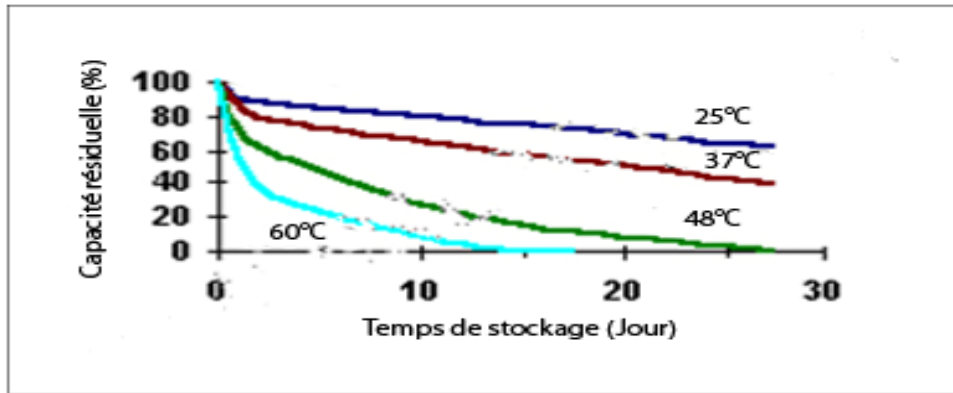


Figure 5 Capacité énergétique des piles rechargeables (NiMH) en fonction du temps de stockage

Source : www.energizer.com

Toutefois, il est important de noter qu'un remplacement total des piles non rechargeables par des piles rechargeables serait techniquement impossible avec les technologies actuellement disponibles sur le marché, car certains équipements ne fonctionnent pas de manière optimale avec des piles rechargeables. C'est que les piles rechargeables et les piles primaires de type AA et AAA ont une tension qui diffère sensiblement. En effet, les piles primaires alcalines neuves ont une tension d'environ 1,5 volt, tandis que celle des piles rechargeables est généralement de 1,25 volt. Malgré cette différence, la plupart des appareils peuvent quand même être utilisés avec des piles rechargeables. Toutefois, certains appareils à forte demande énergétique cessent de fonctionner lorsque les piles n'offrent plus un voltage suffisant. Équipés avec des piles rechargeables, ces appareils ne peuvent être utilisés de façon convenable.

Le mode de stockage influence-t-il le potentiel énergétique?

Les conditions de stockage influencent non seulement la tension résiduelle des piles primaires et secondaires, mais elles peuvent également rendre celles-ci non fonctionnelles, et ce, peu importe leur niveau de voltage.

¹ Dans les conditions optimales, la pile peut atteindre 400 rechargements.

² Une pile primaire peut prendre des années à se décharger, tandis qu'une pile secondaire prend quelques mois Parsons (2007).

Temps

Le processus à l'origine de l'énergie électrique contenue dans une pile est une réaction de nature chimique entre l'anode et la cathode. Même lorsque les piles ne sont pas utilisées, l'air a une conductivité non nulle et peut ainsi laisser cours à la réaction chimique qui consommera les ingrédients qui l'alimentent. Avec le temps, le dispositif n'est plus en mesure de fournir la capacité électrique originale de la pile. Pour cette raison, une pile perd de son efficacité suite à un stockage prolongé, à moins de la préserver en milieu inerte (ce qui est coûteux). La thésaurisation, soit le stockage à plus ou moins long terme des piles avant d'en disposer, affecte donc le potentiel énergétique des piles usagées récoltées.

Température

La température influence quant à elle la vitesse à laquelle se produisent les réactions chimiques. L'augmentation de la température fait accélérer les réactions chimiques, donc plus la température est élevée, plus la durée de vie d'une pile s'en trouve diminuée. Le graphique suivant illustre comment la température influence la capacité d'une pile neuve en stockage. De plus, si on ne considère qu'une seule température, 20°C par exemple, ce graphique illustre également l'influence du temps sur la capacité d'une pile.

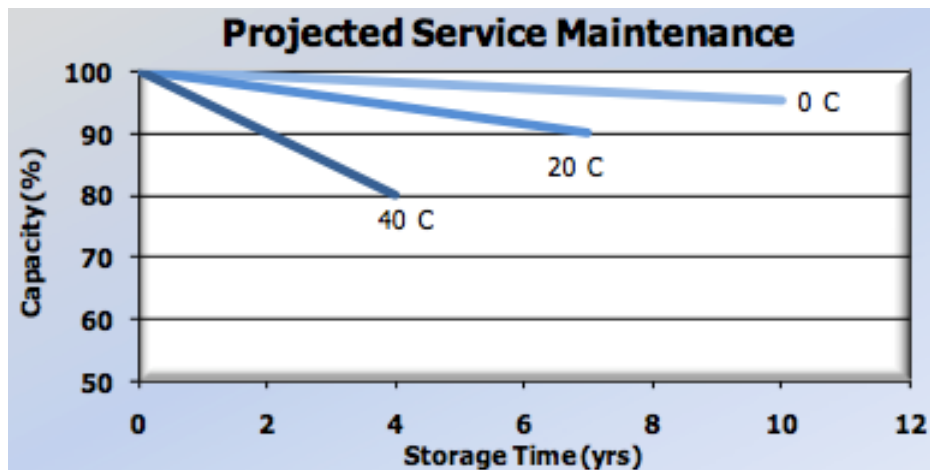


Figure 6 La capacité énergétique en pourcentage en fonction de la température de stockage

Source : www.energizer.com

Il est toutefois important de noter que l'effet du temps et de la température varient selon le type de pile. Ces informations par types de piles peuvent généralement être retrouvées sur le site web des manufacturiers³.

Humidité et rouille

L'humidité est un autre facteur pouvant influencer la durée de vie utile d'une pile. En provoquant la rouille sur les contacts d'une pile, l'humidité peut en effet rendre inutilisables tous les types de piles, et ce, même si leur capacité de charge est intacte.

³ Par exemple chez Énergizer à l'adresse suivante: <http://data.energizer.com/PDFs/temperat.pdf>

Création d'un circuit dans le stockage

Lorsque les piles sont stockées pêle-mêle, certaines d'entre elles peuvent se toucher de façon à créer un circuit. Ces piles se déchargeront tant et aussi longtemps qu'elles seront connectées entre elles ou jusqu'à ce que leur potentiel énergétique soit épuisé. Malgré que ce phénomène soit rare, les piles impliquées peuvent surchauffer et présenter des écoulements.

Comment mesurer le potentiel énergétique d'une pile ?

Pour connaître le potentiel énergétique d'une pile, on doit procéder par mesure indirecte, car une mesure directe équivaut à mettre fin à la vie de la pile. Nous devons donc utiliser une méthode non destructive, mais approximative du potentiel énergétique. Pour ce faire, il faut utiliser un instrument qui emprunte peu de courant, donc qui a une forte résistance. Cet appareil se nomme le voltmètre. Lorsqu'on le met en connexion avec deux points du circuit, il induit une dérivation du courant. Ce dernier dépend de la différence de potentiel entre ces deux points. Le voltmètre doit être construit avec des éléments connus qui permettent de calculer la différence de potentiel.

De ce côté, Zinniker (2003) a utilisé une méthode qui consiste à mesurer le voltage initial d'une pile en lui appliquant un courant constant de 120 mA (équivalent à une résistance de 10 Ohms) pour une durée de 30 secondes et ensuite d'en lire le voltage initial. Dans son texte original, Zinniker explique la mesure du voltage initial comme suit :

" ... the initial voltage was measured using the following procedure: apply a constant current load of 120mA (roughly corresponding to a resistive load of 10 Ohms), wait 30 seconds, read the initial voltage V_i from the digital voltmeter (DVM)."

Cette mesure du voltage initial peut ensuite servir à estimer la capacité de décharge de la pile grâce au graphique présenté à la figure 7.

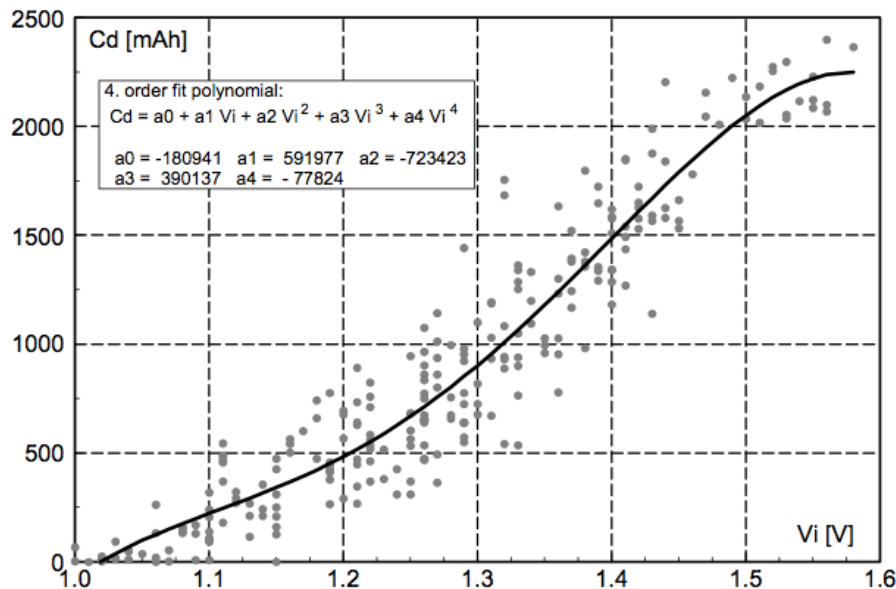


Figure 7 Relation entre la capacité de décharge (Cd) et le voltage initial (Vi) de piles usagées

Source : Zinniker (2003)

Comment calculer la différence de potentiel et l'intensité lorsqu'il y a plusieurs piles dans un appareil ?

Les piles de format AA ont généralement une tension moyenne à l'état neuf entre 1,4 et 1,6 Volt. Comme la force électromotrice (tension) et l'intensité des piles sont généralement trop faibles pour faire fonctionner des appareils, on les associe en groupes de deux ou plus.

Lorsque nous montons les piles en série, leurs tensions (V) s'additionnent. Toutefois, le courant induit par ces piles passe par les résistances (r) internes des autres piles du circuit. Par conséquent, l'équation du courant (I) qui circule dans un circuit fermé (R) doit tenir compte de la somme de ses résistances :

$$I = \frac{nV}{R + nr}$$

Pour ce qui est du montage en parallèle, la force électromotrice ne s'additionne pas, mais la résistance interne moyenne des piles est divisée par le nombre de piles :

$$I = \frac{V}{R + \frac{r}{n}}$$

Lorsque nous utilisons ces deux types de montage, les deux phénomènes s'appliquent. L'équation s'écrit donc :

$$I = \frac{nV}{R + \frac{nr}{m}}$$

Où n est le nombre de piles en série et m le nombre de piles en parallèle.

Comment mesurer la résistance des appareils?

Les matériaux qui conduisent l'électricité ont chacune une résistance qui leur est propre. Celle-ci sert à réduire l'intensité du courant. Ainsi, plus la résistance est grande, moins il laisse passer le courant. Inversement, une résistance de zéro permet à une source d'énergie d'avoir un débit maximum pour ainsi vider son potentiel énergétique. La loi d'Ohm vient des deux expressions de la puissance

$$\text{Puissance (Watt)} = \text{Résistance (ohm)} \times [\text{Courant (ampère)}]^2 = \text{Tension (volt)} \times \text{Courant (ampère)}$$

Ainsi, on obtient l'équation suivante :

$$\text{Résistance (ohm)} = \frac{\text{Tension (volt)}}{\text{Courant (ampère)}}$$

Cette relation est vérifiée à la condition que l'énergie soit entièrement convertie en chaleur (effet Joule); elle ne l'est pas si le circuit implique d'autre(s) forme(s) d'énergie (exemple une force électromotrice convertissant l'énergie en mouvement).

Par ailleurs, la puissance (W) produite a une double action : elle fournit une force électromotrice (v) par exemple et fournit une puissance qui passe dans la résistance (R) où se produit l'effet Joule. Par conséquent, l'équation de la puissance s'écrit comme suit où I est le courant:

$$W = VI = vI + RI^2$$

Ou

$$I = \frac{V - v}{R}$$

Comme il est difficile de mesurer l'énergie de la force électromotrice, la seule façon de mesurer la résistance d'un tel appareil est d'attendre qu'il ne fonctionne plus. Chez Énergizer, on appelle ce phénomène la tension de coupure (voltage) et l'intensité nécessaire. En somme, la résistance d'un appareil est égale à sa tension de coupure (volt) divisée par l'intensité nécessaire (ampère) pour faire fonctionner l'appareil. La figure 8 présente une hiérarchie dans la demande des appareils. Les appareils qui demandent le plus sont ceux qui présentent la moindre résistance.

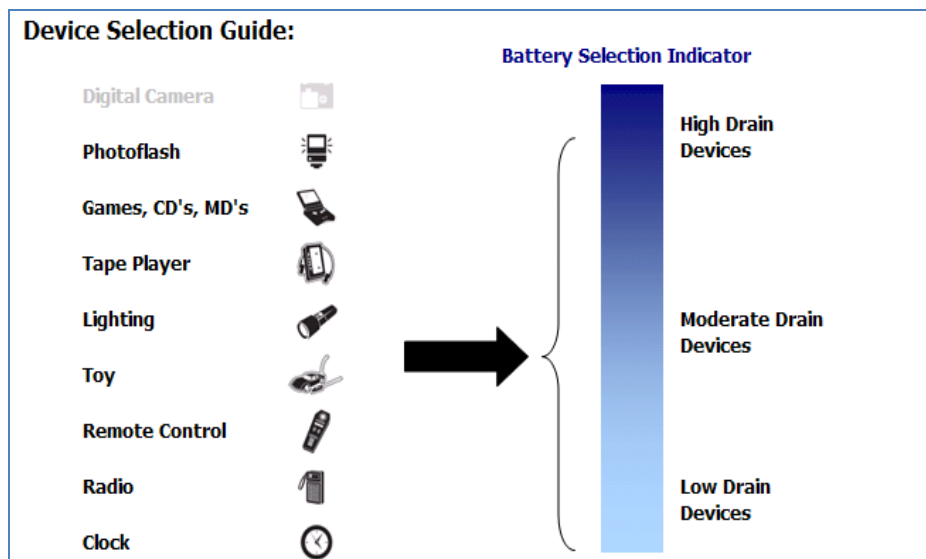


Figure 8 Hiérarchie décroissante de la résistance des appareils selon Énergizer

Source : www.energizer.com

Quelles sont les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation des piles ?

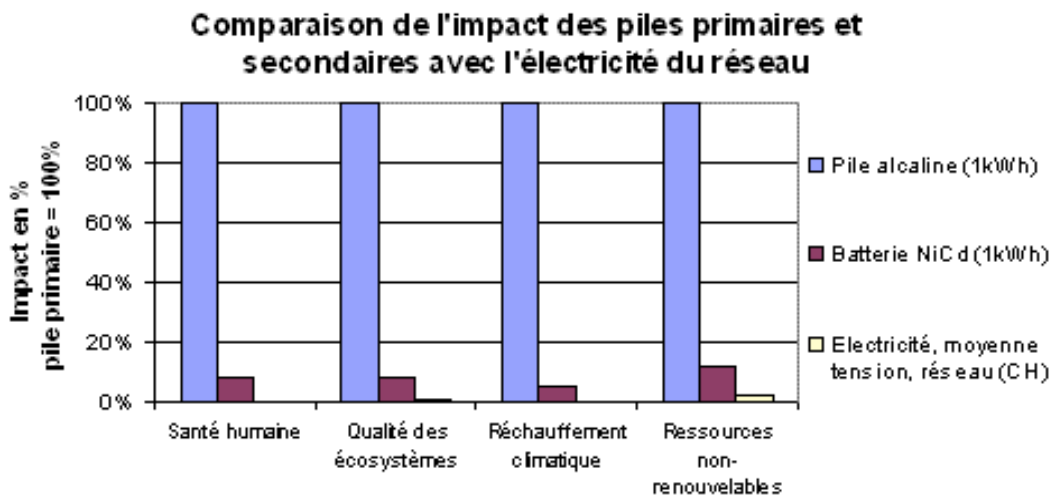
Le Québec produit une électricité qui émet très peu de gaz à effet de serre (GES). En 2008 par exemple, selon l'inventaire national des GES de Ressources naturelles Canada (Ressources naturelles Canada 2010), l'électricité produite au Québec avait émis 2 grammes de CO₂éq. par kilowattheure. Dans ce contexte, on s'est posé comme question : « dans quelle mesure il serait intéressant de remplacer les piles primaires par des piles rechargeables? ». En effet, en raison de leur usage unique, l'énergie contenue dans les piles primaires impose un coût important en termes de GES par kilowattheure de puissance. Ainsi, ce remplacement pourrait-il contribuer significativement à l'effort nécessaire pour atteindre l'objectif gouvernemental de réduction des émissions de GES de 20% en 2020 par rapport à 1990?

Toutefois, un aspect complique le calcul des émissions de GES liés aux piles primaires, leur provenance. Par exemple, parmi les piles récoltées dans l'îlot multimatières, des piles provenant de la Chine, de la Corée, du Japon, de l'Indonésie, des États-Unis, du Canada, de la Malaisie, du Brésil, du Mexique et de l'Espagne ont pu être identifiées. Cette grande diversité des provenances en plus des différents types de piles primaires (alcalines, zinc air, carbone-zinc, lithium, etc.) rend l'estimation des GES associés à la production de la pile des piles primaires extrêmement difficile à quantifier et une évaluation précise de la contribution éventuelle d'un remplacement des piles primaires par des piles rechargeables dépasse le mandat de cette étude.

Nos recherches ont permis de trouver trois études de cycle de vie qui discutent des dommages des piles sur l'environnement et la santé humaine. La première qui a été diffusée sous la forme d'un communiqué de presse par Uniross⁴, un fabricant de piles rechargeables, mentionne que les impacts en termes de changements climatiques (CO₂éq) occasionnés par les piles rechargeables sont d'un facteur 28 fois inférieur aux piles primaires. Cette étude, réalisée par une tierce partie et vérifiée par un institut indépendant, a été faite dans le contexte du Royaume-Uni en comparant une pile rechargeable nickel-métal hydrure et son chargeur à une pile primaire de nature indéterminée.

La deuxième étude traitant de cet aspect a été trouvée sur le site internet du canton de Vaud en Suisse et a comme source IDEMAT (www.idemat.nl). Toutefois, les résultats de cette étude sont exprimés sous forme de graphiques sans plus de détails, du moins en ce qui a trait à l'aspect des changements climatiques.

Selon le graphique repris à la figure 9, nous pouvons observer que cette étude démontre que les piles rechargeables au nickel-cadmium ont un impact de 95% (ou 19 fois) inférieur aux piles alcalines.



Données : IDEMAT Méthode : IMPACT 2002+ v2.0 Short Term

Figure 9 Comparaison de l'impact des piles primaires et secondaires avec l'électricité du réseau

Source : <http://www.vd.ch>

⁴ <http://www.remanufacturing.org.uk/pdf/story/1p85.pdf>.

La troisième étude consultée était: « The Environmental impact of disposable versus Rechargeable batteries for consumer use », de David Parsons en 2007. Cette étude, dont la documentation était beaucoup plus détaillée que les deux autres, en est venue à des conclusions similaires soit : les piles rechargeables sont plus avantageuses sur tous les indicateurs de dommages (Santé humaine, changements climatiques, qualité des écosystèmes, utilisation des ressources) que les piles primaires. En effet, c'est sa durée d'utilisation qui joue en sa faveur. Ainsi, on consomme moins de piles et cela nous permet d'en fabriquer moins. D'ailleurs, cette étude stipule que 80% des dommages globaux, en ce qui a trait aux piles rechargeables, sont encourus dans la phase fabrication des composants des piles et du chargeur.

Les trois études référées ci-dessus présentent des cas de figure dont les résultats ne peuvent donner qu'une indication générale des différences entre les piles primaires et rechargeables en terme d'émissions de gaz à effet de serre et par conséquent ne sont pas transposables directement à la réalité québécoise.

CHAPITRE 2 : CARACTÉRISATION DES PILES USAGÉES

Ce chapitre présente les caractéristiques des échantillons de piles usagées, le matériel et les méthodes utilisées pour les caractériser et les résultats obtenus.

Description de l'échantillon

Il y a eu au total 3 958 piles de toutes marques et de tous formats échantillonnés et caractérisés⁵ pour l'étude. De ces piles, seules celles de format AA et AAA ont été analysées dans la partie résultat, car elles représentaient 86 % de l'échantillon et étaient les plus susceptibles d'être réutilisées.

Pour ce qui est des autres formats présents, ils étaient généralement en trop faible quantité pour être considérés comme des échantillons représentatifs. Dans le cas des institutions, notre attention s'est portée uniquement sur les piles achetées et utilisées par l'institution (type industriel). Les piles ayant été apportées de la maison par les employés ont donc été exclues de ces analyses.

Lieux

Les piles d'origine domestique ont été obtenues à l'aide de boîtes de collecte présentes à deux endroits accessibles à tout public, soit un Café-bistro de la rue Racine à Chicoutimi, le Café Cambio et l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC). Nous avons choisi ces endroits car ils étaient à proximité du lieu de caractérisation et parce que les stocks étaient représentatifs et facilement accessibles. Ainsi au Café Cambio nous avons collecté, au mois de septembre et de décembre 2009, 468 piles au total dont 106 étaient de format AAA et 278 de format AA. Du côté de l'UQAC, nous avons effectué trois collectes pour un total de 1 110 piles échantillonnées où 643 étaient de format AA et 262 étaient de format AAA.

Pour ce qui est des piles d'origine institutionnelle, nous les avons recueillies à l'UQAC et à l'Hôpital de Dolbeau-Mistassini. Nous avons choisi ces lieux car leurs échantillons étaient représentatifs d'une réalité où beaucoup de piles primaires sont consommées et parce qu'il y avait aussi présence d'un éco-conseiller qui facilitait la cueillette. En ce qui a trait à l'UQAC, nous avons échantillonné 1 844 piles au total avec deux collectes au service de l'audiovisuel (1133 piles) et deux collectes au service des Immeubles et équipements (711 piles). Là aussi, nous avons caractérisé toutes les piles, mais seuls les formats de piles AA (477 piles pour les Immeubles et équipements et 967 piles pour l'audiovisuel) et AAA (112 piles pour les Immeubles et équipements et 95 piles pour audiovisuel) ont été analysés. Du côté de l'Hôpital, nous avons caractérisé⁶ un échantillon de 536 piles envoyé au mois de février 2010 et qui a été séparé par département, soit : électrophysiologie (107 piles AA et 144 piles AAA), soins de longue et de courte durée (99 piles AA et 38 piles AAA), physiologie (15 piles AA et 15 piles AAA), réception (13 piles AA et 53 piles AAA). L'annexe 1 présente en détail tous les échantillons collectés.

⁵ Ici le terme caractérisé signifie que nous avons déterminé la tension résiduelle des piles et les caractéristiques de celles-ci.

Méthode pour déterminer la tension résiduelle des piles

L'évaluation de la tension d'une pile sert à déterminer le pourcentage des piles usagées réutilisables pour chacun des points de collecte. Pour ce faire, nous avons utilisé un multimètre de marque Escort modèle 3136A et mesuré le voltage des piles en circuit ouvert, c'est-à-dire sans résistance autre que celle de la pile et du multimètre.

Pour chacune des mesures prises, nous avons indiqué : la provenance, le format, la marque, le type, l'année d'expiration, l'état physique (bonne ou brisée) et le voltage résiduel.

Pour ce qui a trait à l'agrégation des données, nous avons regroupé les piles en catégorie de voltage (1,5 volt et plus, de 1,4 à 1,5 volt, de 1,3 à 1,4 volt, de 1,2 à 1,3 volt et de moins de 1,2 volt). Ces catégories ont été choisies dans la perspective de réutiliser les piles et de les jumeler avec les courbes de décharge.

Résultats relatifs à la tension résiduelle des piles usagées

Dans cette section, nous présentons les résultats de la caractérisation des piles usagées collectées. Nous avons divisé les résultats en deux catégories; piles domestiques et piles industrielles. Le tableau 2 présente la quantité de piles qui a été collectée pour la caractérisation.

Tableau 2 Quantité de piles AA et AAA par lieu de collecte

Lieux de collecte	Nombre de piles AA	Nombre de piles AAA
Café Cambio	278	106
Îlot de récupération des piles à l'UQAC	234	245
Service des Immeubles et équipements à l'UQAC	477	112
Service des audiovisuels à l'UQAC	967	95
Hôpital de Dolbeau-Mistassini	234	245

Piles domestiques de format AA

La tension résiduelle des piles AA non endommagées retrouvées au Café Cambio (figure 10) et dans l'îlot multimatières de l'UQAC (figure 11) est très semblable. Tout d'abord, tel que le démontrent les figures 10 et 11, 13% des piles du Café Cambio et 14% des piles de l'îlot multimatières peuvent être considérées comme étant neuves avec un voltage égal ou supérieur à 1,5 volt. Si on ajoute à cet échantillon les piles ayant un voltage entre 1,4 et 1,5 ce sont 37% des piles du Café Cambio et 33% de celles de l'îlot multimatières qui peuvent être considérées comme étant de bonnes piles.

Les piles de qualité moyenne, soit celles dont le voltage se mesure entre 1,2 et 1,4 volt, représentent 30% des piles du Café Cambio et 24% des piles de l'îlot multimatières. De leur côté,

les piles n'ayant qu'un voltage de 1,2 volt et moins représentaient 33% du total des piles du Café Cambio et 43% de celles retrouvées dans l'îlot multimatières.

Nous pouvons donc considérer que 67% des piles retrouvées au Café Cambio et 57% des piles de l'îlot multimatières n'ont pas été utilisées de façon optimale et offrent encore un certain potentiel d'utilisation.

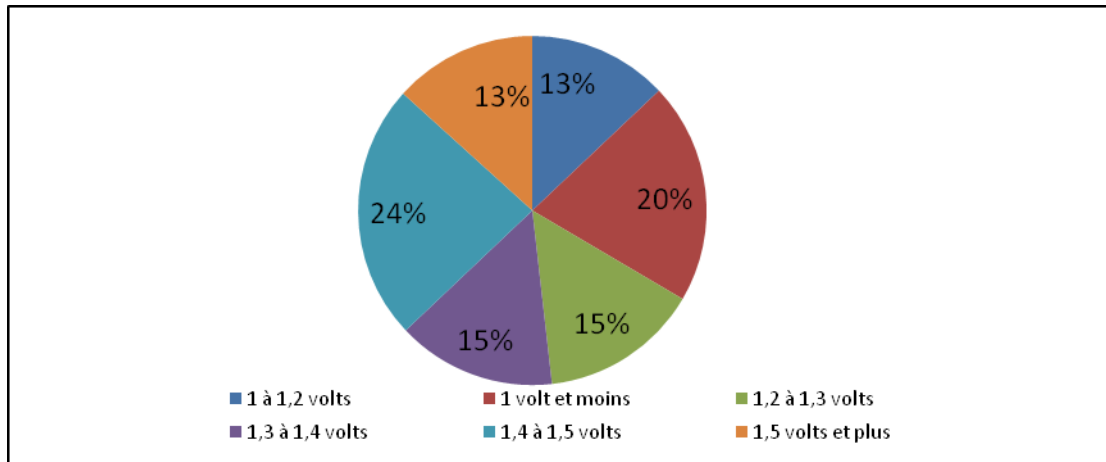


Figure 10 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle pour le format AA des piles du Café Cambio

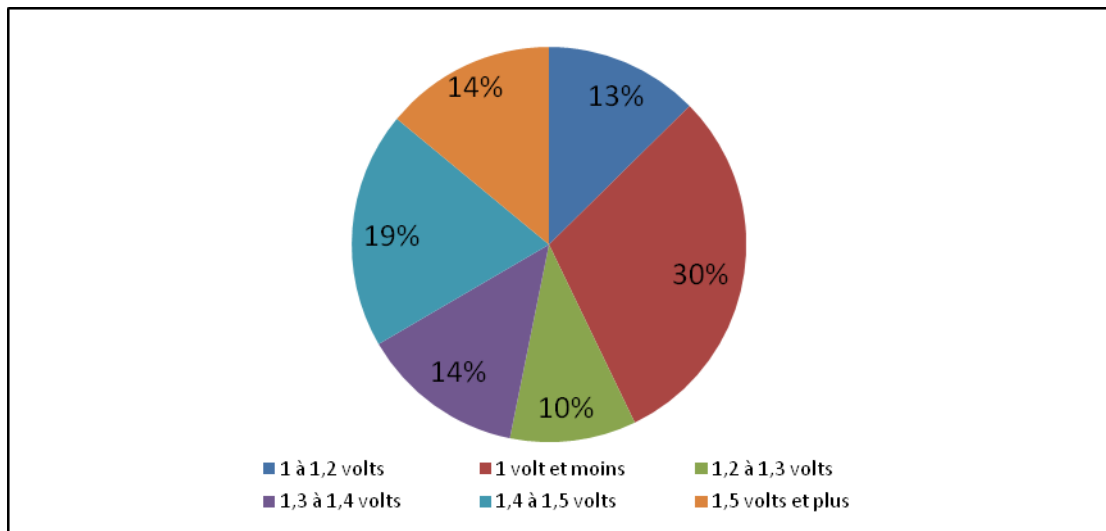


Figure 11 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle pour les piles AA de l'îlot multimatières

Piles domestiques de format AAA

Les piles de format AAA provenant de ces deux mêmes sources publiques démontrent elles aussi des similitudes pour la plupart des tranches de voltage mesurées à l'exception de celles de 1 à 1,2 volt et de 1,5 volt et plus (figures 12 & 13). La principale différence se retrouve dans la proportion de piles testées à 1,5 volt et plus. Alors que cette catégorie se situe à 27% des piles au Café Cambio (figure 12), elle ne représente que 11% des piles de l'îlot multimatières (figure 13).

De toutes les piles de format AAA, 41% de celles récoltées au Café Cambio peuvent être considérées comme étant en excellent état avec 1,4 volt et plus alors que pour l'îlot multimatières, seulement 26% des piles faisaient parties de cette catégorie. Les piles pouvant toujours être utilisées pour des usages d'une intensité moyenne, 1,2 à 1,4 volt, correspondaient à 25% des piles du Café Cambio et 26% de celles déposées dans l'îlot multimatières. Les piles ayant moins de 1,2 volt, quant à elles, comptaient pour 34% des piles du Café Cambio et 48% de celles de l'îlot multimatières.

Pour le format AAA, la proportion de piles ayant toujours un potentiel d'utilisation correspond à 66% des piles déposées par le public dans la boîte de collecte du Café Cambio et 52% des piles de l'îlot multimatières de l'UQAC.

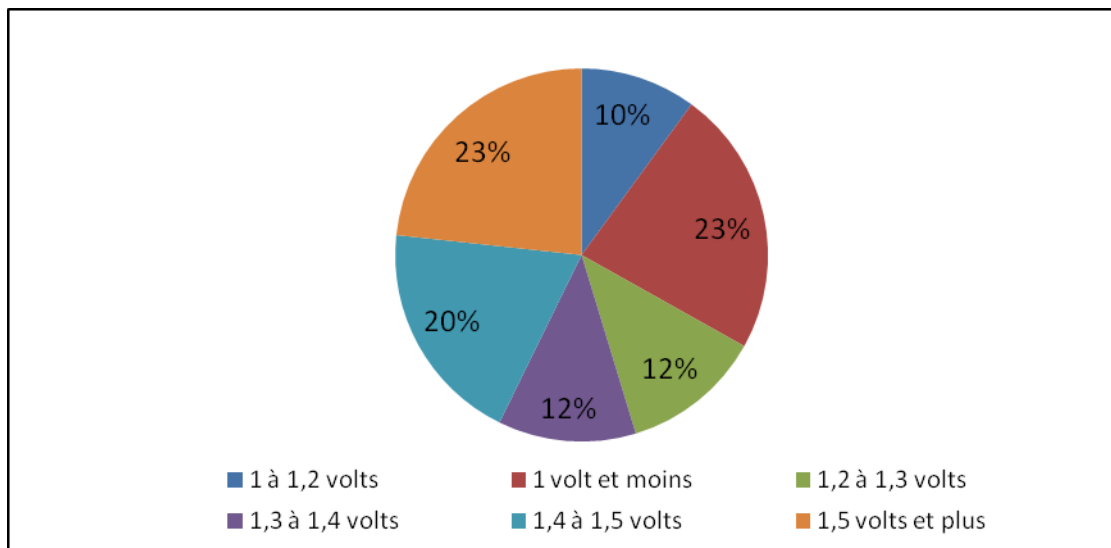


Figure 12 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle pour le format AAA des piles du Café Cambio

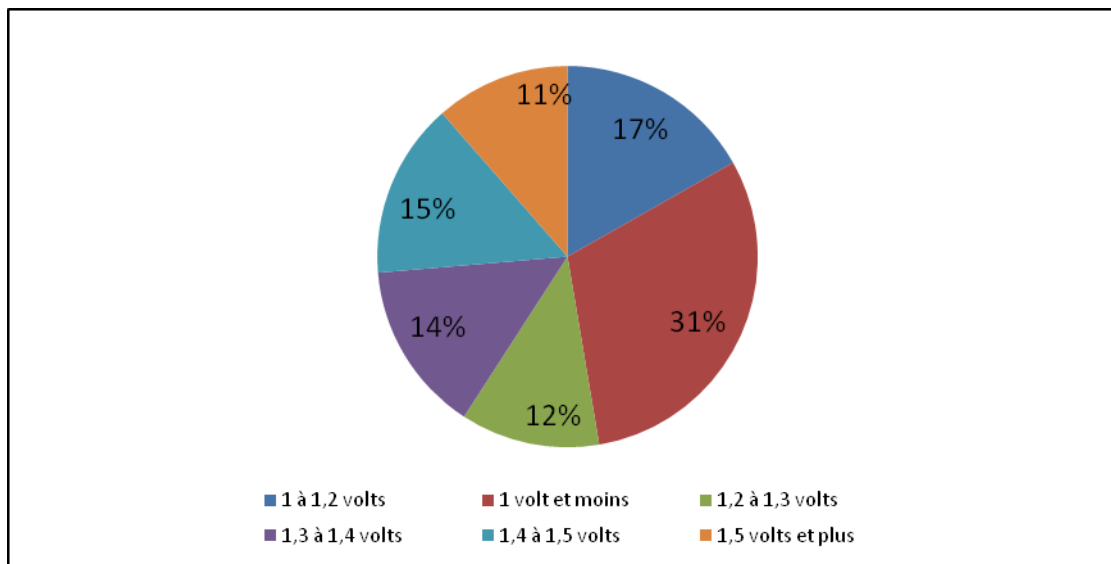


Figure 13 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle pour les piles AAA de l'îlot multimatières

Ces deux échantillons nous permettent d'observer que plus de la moitié des piles AA et AAA de sources publiques déposées dans les points de chute prévus à cet effet ont encore une tension importante qui leur permettrait d'être utilisées dans la vaste majorité des appareils domestiques (tableau 3). L'utilisation des piles domestiques ne peut donc pas être considérée comme étant optimale.

Tableau 3 Synthèse de la qualité des piles domestiques de format AA et AAA

Qualité des piles (volt)	Café Cambio	Îlot Multimatières
	AA	AA
Excellente (1,4 et +)	37%	33%
Moyenne (1,2 à 1,4)	30%	24%
Basse (1,2 et -)	33%	43%
	AAA	AAA
Excellente (1,4 et +)	41%	26%
Moyenne (1,2 à 1,4)	25%	26%
Basse (1,2 et -)	34%	48%

Piles institutionnelles de format AA et AAA

Dans le cas des piles de sources institutionnelles, les figures 14 à 19 ainsi que le tableau 3 nous permettent d'observer que la qualité des piles récoltées varie de façon importante selon l'institution qui en a fait usage.

Par exemple, alors que le service audiovisuel de l'UQAC (figure 14) et l'hôpital de Dolbeau Mistassini (figure 15) ont respectivement généré 48 et 73% de piles AA ayant un voltage supérieur à 1,4 volt, cette catégorie au service des immeubles et équipements de l'UQAC (figure 16) n'est que de 16%. Pour les batteries AAA, la proportion de piles ayant 1,4 volt et plus se situe quant à elle à 50% des piles du service de l'audiovisuel (figure 17) et 57% des piles de l'hôpital (figure 18), alors que le service des immeubles et équipements n'a généré aucune pile de cette catégorie.

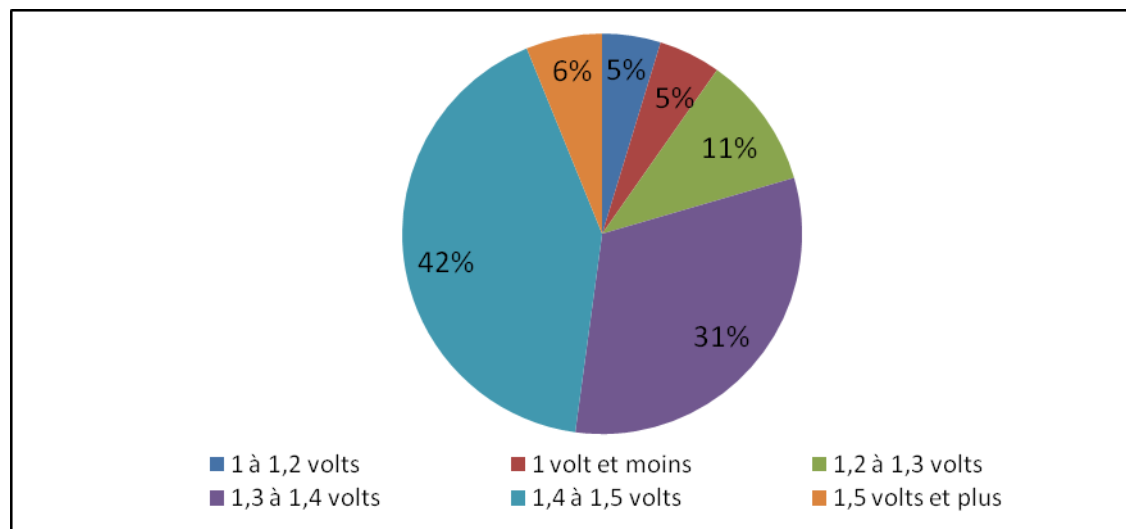


Figure 14 Pourcentage de chaque catégorie de tension des piles de format AA Duracell Procell du Service de l'audiovisuel

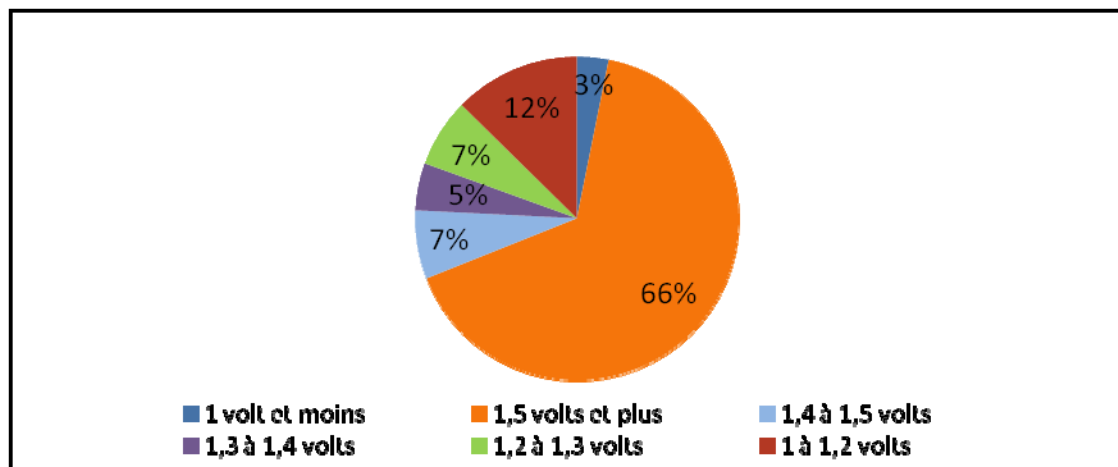


Figure 15 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle de tous les départements de l'hôpital de Dolbeau-Mistassini pour le format de pile AA

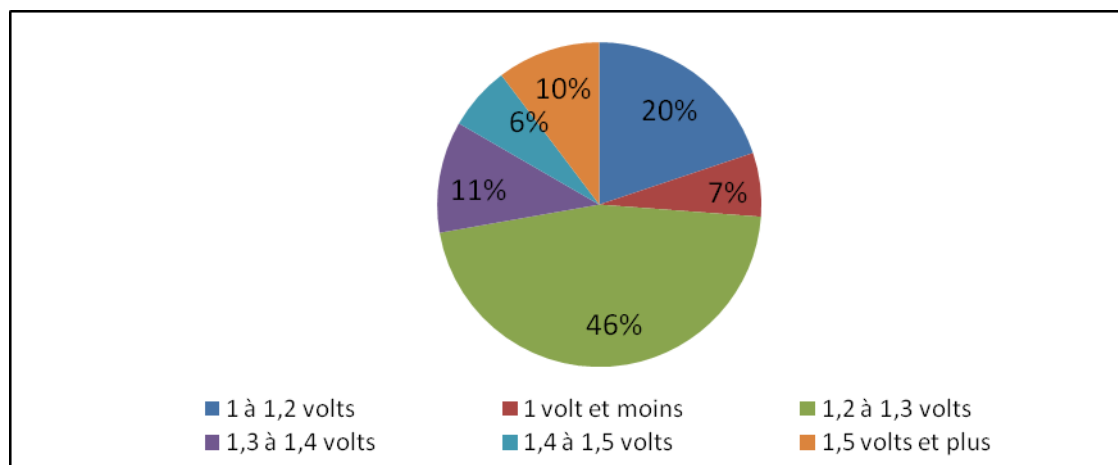


Figure 16 Pourcentage de chaque catégorie de tension des piles de format AA Duracell Procell du Service des immeubles et équipements

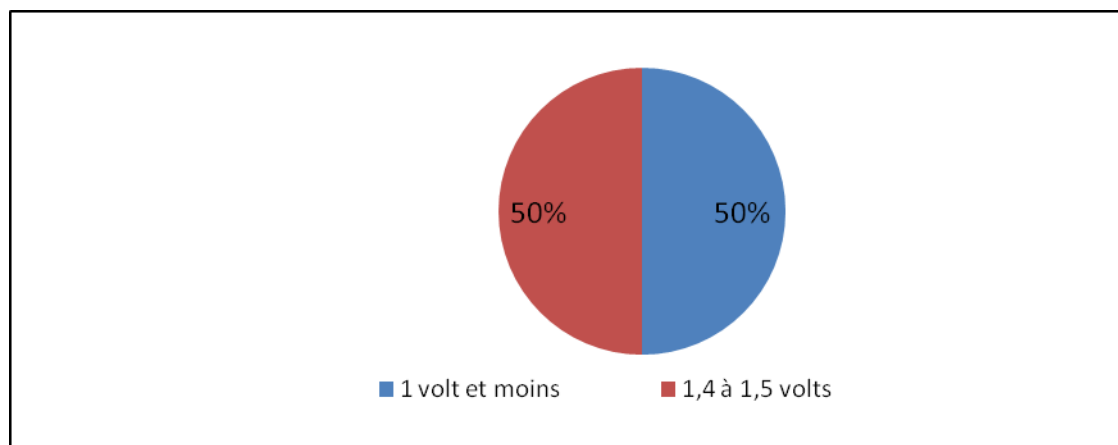


Figure 17 Pourcentage de chaque catégorie de tension des piles de format AAA Duracell Procell du Service de l'audiovisuel

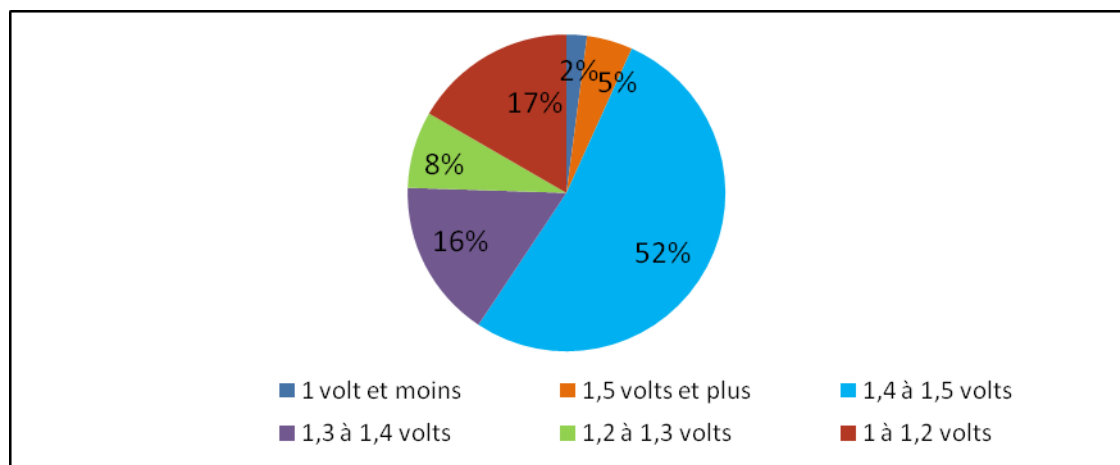


Figure 18 Pourcentage de chaque catégorie de tension résiduelle de tous les départements de l'hôpital pour le format de pile AAA

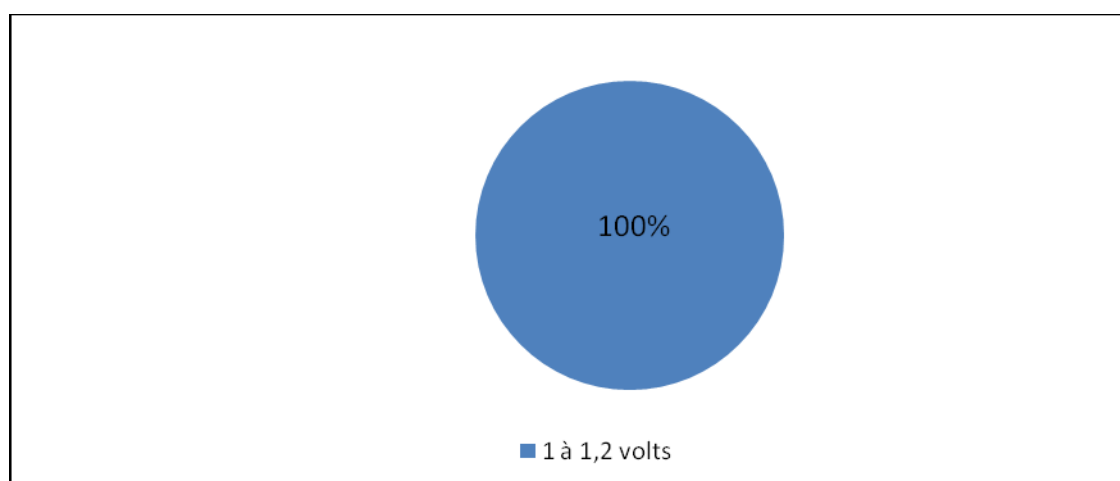


Figure 19 Pourcentage de chaque catégorie de tension des piles de format AAA Duracell Procell du Service des immeubles et équipements

Si on ajoute les piles de 1,2 à 1,4 volt aux piles ayant 1,4 volt et plus, la proportion des piles ayant toujours un potentiel d'utilisation devient alors de 90% pour les piles de l'audiovisuel, 73% de celles des immeubles et équipements et 85% des piles de l'hôpital pour les piles AA. Alors qu'aucune pile AAA générée par le service des immeubles et équipements n'a plus de 1,2 volt, ce sont 50 et 81% des piles retrouvées dans les échantillons de l'audiovisuel et de l'hôpital dont la vie utile pourrait être prolongée. On peut voir à l'annexe 3 tous les résultats d'analyses.

Notre échantillonnage démontre que la qualité des batteries générées par des institutions est d'une grande variabilité. Alors que certains services des institutions observées génèrent jusqu'à 90% de piles pouvant encore être utilisées, d'autres ne produisent que des piles pratiquement vidées de leur potentiel énergétique.

Institutionnelles vs domestiques

En comparant les échantillons de piles provenant de sources domestiques à ceux récoltés dans des institutions, trois aspects nous semblent pertinents à relever.

Une première caractéristique qui différencie les sources de piles domestiques et institutionnelles est la forte proportion de piles endommagées retrouvées dans les points de collecte des piles domestiques. En effet, 7% des piles, toutes catégories confondues, récoltées au Café Cambio étaient endommagées, alors que cette proportion s'élevait à 14% pour les piles retrouvées dans l'îlot multimatières de l'UQAC. Pour ce type de piles, la quantité qui est endommagée et donc non inutilisable est par conséquent non négligeable. Un mauvais entreposage favorisant la rouille et les écoulements est probablement la cause principale des bris des piles.

Dans le cas des échantillons institutionnels, la proportion de piles endommagées peut être considérée comme négligeable avec seulement 2% des piles de l'audiovisuel, 0,43% des piles de l'hôpital et aucune du service des immeubles et équipements.

La seconde différence consiste en l'ampleur de la fourchette des dates de péremption des piles. Alors que du côté institutionnel la majorité des piles générées n'avaient pas encore atteint leur date de péremption, les piles des échantillons domestiques affichaient des dates de péremption allant de 1988 à 2022. La thésaurisation des piles par les consommateurs explique cette importante marge. La figure 20 illustre les dates de péremption des piles alcalines récoltées à l'îlot multimatières.

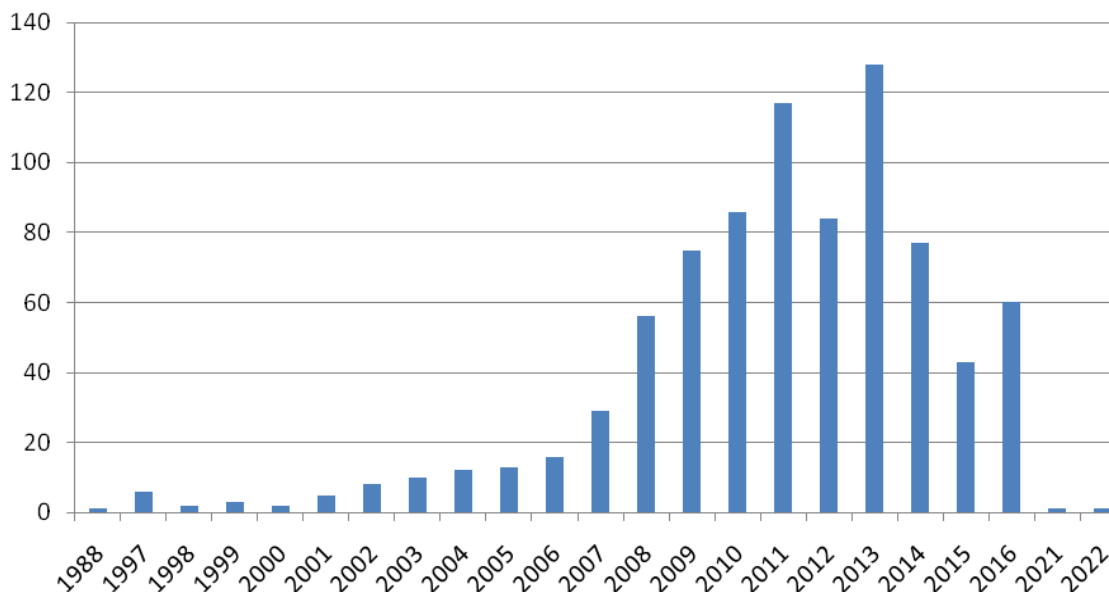


Figure 20 Dates de péremption des piles alcalines récoltées à l'îlot multimatières

Les piles n'ayant pas de date ont été omises (171 piles) de ce graphique. En troisième lieu, nous avons pu observer que les piles d'origine publique étaient d'une plus grande diversité. En effet, alors que les piles institutionnelles sont généralement seulement des piles alcalines industrielles, pratiquement tous les types de piles (carbone-zinc, alcalines, Lithium, Zinc-Air, Oxyde d'argent, Nickel-cadmium, Nickel-hydrure métallique, Ions lithium, PPSPA) ont été retrouvés dans les points de collectes publiques.

Tableau 4 Synthèse de la qualité des piles industrielles à l'UQAC et à l'Hôpital de Dolbeau-Mistassini

Qualité des piles (volt)	Audiovisuel	Service des immeubles et équipements	Hôpital
	AA	AA	AA
Excellente (1,4 et +)	48%	16%	73%
Moyenne (1,2 à 1,4)	42%	57%	12%
Basse (1,2 et -)	10%	27%	15%
	AAA	AAA	AAA
Excellente (1,4 et +)	50%	0%	57%
Moyenne (1,2 à 1,4)	0%	0%	24%
Basse (1,2 et -)	50%	100%	19%

CHAPITRE 3 : RÉSISTANCE DES APPAREILS ET ÉVOLUTION DE LA TENSION DES PILES USAGÉES LORS DE LEUR DÉCHARGE

Ce chapitre présente la méthode utilisée pour caractériser les appareils et les résultats obtenus. De plus, celui-ci présente la méthode et les résultats des tests de décharge des piles neuves et usagées. Ainsi, ces deux expérimentations permettront de, un, valider dans quels appareils les piles usagées caractérisées pourront être utilisées et de, deux, valider s'il est possible d'utiliser les courbes de décharge des fabricants pour évaluer le temps d'utilisation possible dans un appareil donné.

Méthode utilisée pour déterminer la résistance des appareils

Afin de connaître la résistance des appareils, nous avons déchargé plusieurs piles dans ces derniers et avons mesuré le voltage (V) et l'intensité (I) au moment où l'appareil cesse de fonctionner. Ensuite, nous avons calculé la résistance (R) avec l'équation suivante :

$$R = \frac{V}{I}$$

Toutefois, il est à noter que la résistance obtenue pour un appareil est variable, car étant donné que nous sommes généralement dans un circuit fermé complexe. En fait, la résistance de l'appareil va dépendre des fonctions utilisées. Par exemple, lorsque nous utilisons un GPS, nous pouvons ajuster la luminosité de l'écran et donc, consommer plus ou moins d'énergie.

Ainsi, pour des fins de vérification, nous avons comparé l'évolution de la tension dans les courbes de décharge⁶ des appareils avec l'évolution de la tension des courbes des batteries couplées à des résistances connues pour confirmer nos résultats.




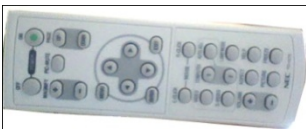
Résultats relatifs à la résistance des appareils et à l'évolution de la tension dans les courbes de décharge

Cette section présente une caractérisation de quelques appareils dans lesquels nous avons placé des piles pour atteindre leur tension de coupure.

Il est à noter que dans certains appareils, comme l'horloge et la télécommande, les piles n'ont pu être complètement déchargées. Dans ces cas, pour établir leur résistance, nous les avons comparés à nos résultats avec des diagrammes de décharge des résistances. Le tableau 5 présente les résultats obtenus :

⁶ Voir la section Méthode utilisée pour déterminer les courbes de décharge des piles.

Tableau 5 Caractéristiques des appareils évalués

	<p>Petite horloge de poche Cet appareil a besoin d'une pile AA pour fonctionner. Nous n'avons pas pu atteindre la tension de coupure. Sa résistance est donc supérieure à 42 Ohms.</p>
	<p>Dictaphone Zoom du modèle hand recorder 2 La compagnie, qui produit l'appareil, mentionne que celui-ci a besoin de 300 mA et de deux piles AA pour fonctionner. La compagnie indique aussi que celui-ci a une autonomie de 4 à 4,5 heures.</p> <p>Nous avons évalué une résistance entre 4 à 10 Ohms selon les fonctions utilisées. La tension de rupture se situe à environ 2 volts avec deux piles AA (1 volt par pile).</p>
	<p>GPS Garmin de modèle Legend Etrex La compagnie mentionne 18 heures d'utilisation avec deux piles AA. La résistance que nous avons calculée joue entre 10 à 15 Ohms selon les fonctions utilisées.</p>
	<p>Manette de projecteur Cet appareil a besoin de deux piles AA pour fonctionner. Nous n'avons pas atteint la tension de rupture de l'appareil donc nous avons évalué la résistance entre 24 Ohms et 42 Ohms en mode utilisation.</p>

Méthode utilisée pour déterminer l'évolution de la tension dans les courbes de décharge des piles

L'évolution de la tension durant la décharge consiste à évaluer le comportement de la pile dans le temps avec différents appareils qui sont représentés dans notre montage par des résistances et de la comparer à la pile neuve. Pour un même voltage aux bornes de la pile, la consommation d'énergie d'un appareil sera plus grande pour une moindre résistance et la décharge de la pile sera plus rapide. Ainsi, une résistance se rapprochant de 4 Ohms équivaut à des appareils qui demandent un courant élevé comme un appareil photo. À l'autre extrême, une résistance se rapprochant de 42 Ohms équivaut à un appareil de moindre consommation comme une horloge ou une télécommande. En résumé, cette expérimentation compare l'évolution de la tension durant la décharge des piles neuves avec celles des piles usagées pour établir grossièrement le temps potentiel de réutilisation des piles usagées.

Par conséquent, les piles ont été déchargées avec quatre résistances (4 Ohms, 10 Ohms, 24 Ohms et 42 Ohms) induites avec un appareil à résistance variable. C'est-à-dire un appareil avec lequel nous pouvons ajuster la résistance de 0 à 100 KOhm. Pour les mesures de voltage, nous avons utilisé l'appareil « USB-based Analog and Digital I/O Module, PMD-1208FS » qui permet de transférer directement les mesures voltage à l'ordinateur et de moduler la fréquence de prise de

données. Bref, les piles formaient un circuit fermé simple avec l'appareil à résistance variable et le voltmètre (PMD-1208FS) transférait les résultats à l'ordinateur.

Pour établir nos courbes de référence, nous avons choisi cinq catégories de piles à décharger (tableau 6) :

- quatre piles neuves industrielles;
- quatre piles usagées industrielles ayant une tension de 1,5 volt;
- quatre piles usagées industrielles ayant une tension de 1,4 volt;
- quatre piles usagées industrielles ayant une tension de 1,3 volt;
- quatre piles usagées industrielles ayant une tension de 1,2 volt.

Il est à noter que nous avons sélectionné les piles usagées qui ont une tension au-dessus de 1,2 volt, car nous estimons qu'en dessous de cette limite, celles-ci ne nous semblaient plus présenter d'intérêt pour un usage commercial.

Les mesures de tension lors de la décharge ont été prises à chaque seconde pour les résistances 4 Ohms, aux deux secondes pour une résistance de 10 et 24 Ohms et aux dix secondes pour les résistances 42 Ohms.

Comme chacune des mesures a été prise avec quatre piles de tension similaire, nous avons fait des moyennes avec celle-ci et calculé l'écart-type. Cette opération a été répétée pour chaque catégorie de piles et pour chacune des résistances.

Résultats relatifs à la décharge des piles neuves et usagées

La variation de la tension durant la décharge dans les premières secondes

Les tests de décharge des piles avec les différentes résistances nous ont permis de caractériser le comportement des piles lors de leur utilisation. L'un des premiers phénomènes que nous avons observés est une forte baisse de voltage dans les cinq premières secondes d'utilisation après quoi la tension remonte et se stabilise. La figure 21 nous indique le comportement des piles avec une résistance de 4 Ohms alors que la figure 22 nous indique le même phénomène avec une résistance de 10 Ohms. Nous pouvons constater à l'analyse des figures 21 et 22 que plus la tension de la pile est élevée, moins sa variation de tension initiale est grande. Par ailleurs, nous avons remarqué que cette variation est moins grande lorsque la résistance est élevée. Ainsi, la rapide baisse de tension en début d'utilisation de la pile nous indique que les courbes de l'évolution de la tension de décharge des piles usagées ne peuvent pas se superposer à celles des piles neuves et donc, ces dernières ne peuvent être utilisées pour évaluer le temps d'utilisation des piles usagées. Ces résultats nous amènent à penser que pour évaluer correctement la tension résiduelle d'une pile, il faut la mesurer pendant au minimum dix secondes.

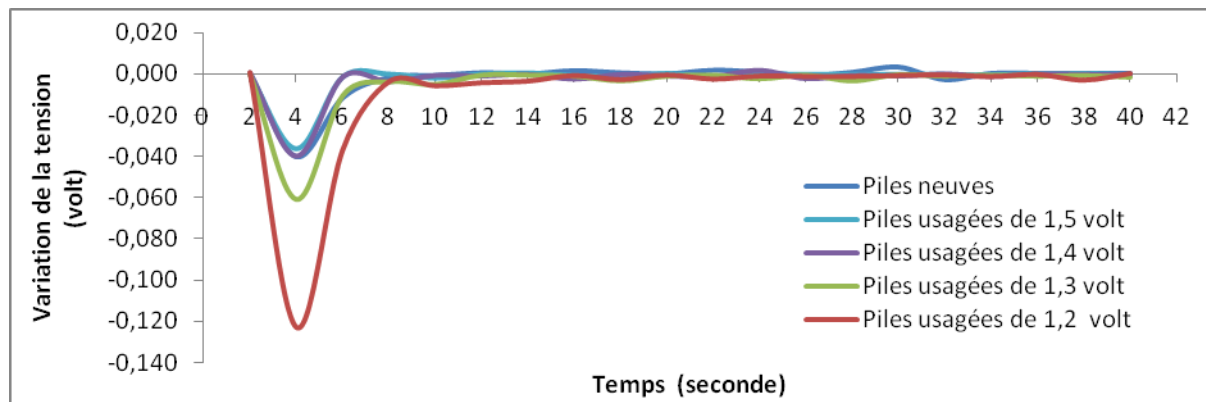


Figure 21 Variation de la tension durant la décharge de la pile dans les 40 premières secondes avec une résistance de 10 Ohms

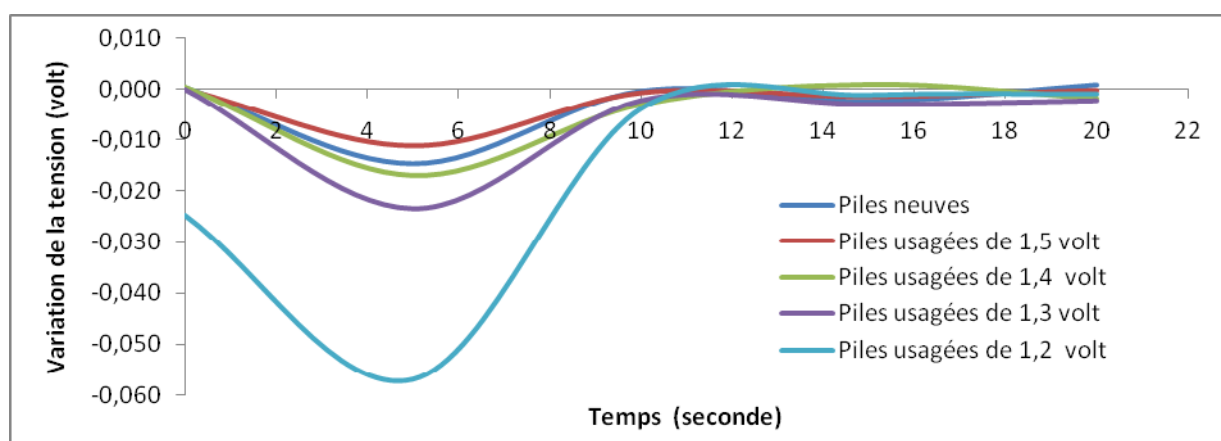


Figure 22 Variation de la tension durant la décharge de la pile dans les 20 premières secondes avec une résistance de 42 Ohms

Le temps de décharge des piles usagées

Résistance de 4 Ohms

Le temps moyen de décharge des piles neuves avec une résistance de 4 Ohms a été d'environ 7h10 au total, et ce, avec un écart-type moyen de $\pm 0,04$ volt entre les piles déchargées chaque heure d'échantillonnage (figure 23 et tableau 6). Par la suite, nous remarquons à la figure 23 que l'évolution de la tension des piles usagées de 1,5 volt suit pratiquement la même courbe que les neuves jusqu'à l'avant-dernière heure. Toutefois, nous notons une différence avec les catégories de piles usagées qui ont une tension résiduelle inférieure à 1,5 volt. Par ailleurs, la résistance de 4 Ohms se rapproche d'un appareil de haute intensité (300 mA) qui consomme les piles jusqu'à environ 1,2 volt. Par conséquent, très peu de piles usagées peuvent être utilisées par ce type d'appareil. En effet, dans les catégories inférieures à 1,5 volt, la diminution du voltage est trop rapide (moins d'une heure) jusqu'à la limite de 1,2 volt et du 300 mA.

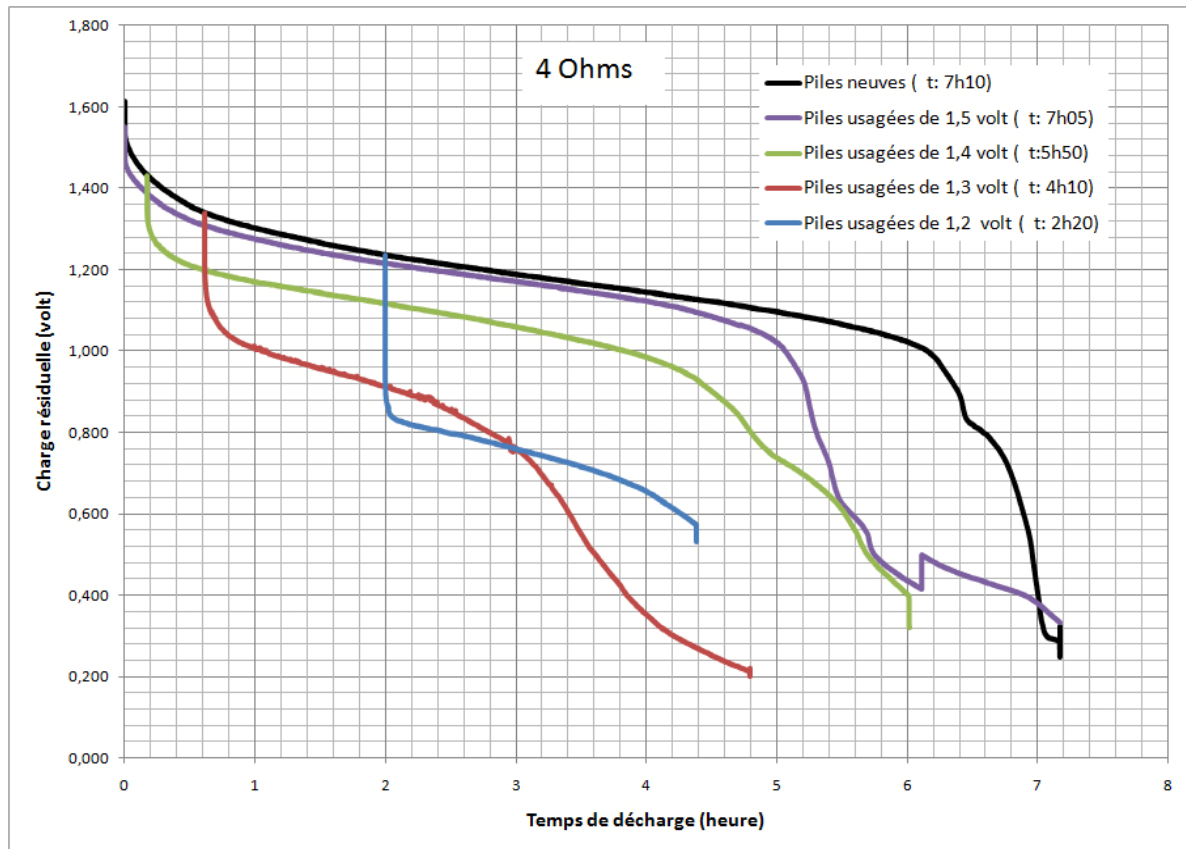


Figure 23 Décharge des piles de catégorie 1,5 volt et plus, 1,4 volt, 1,3 volt, 1,2 volt avec une résistance de 4 Ohms

Tableau 6 Moyenne de l'écart-type de la tension de chaque catégorie de pile avec une résistance 4 Ohms

Catégorie de voltage	Moyenne de l'écart-type
Neuve	$\pm 0,04$ volt/heure
1,5 volt	$\pm 0,12$ volt/heure
1,4 volt	$\pm 0,07$ volt/heure
1,3 volt	$\pm 0,05$ volt/heure
1,2 volt	$\pm 0,09$ volt/heure

Résistance de 10 Ohms

Lorsque nous appliquons une résistance de 10 Ohms à des piles AA industrielles neuves, leur temps de décharge moyen pour atteindre 1,07 volt est de 17h45 avec un écart-type moyen de $\pm 0,01$ volt entre les piles caractérisées chaque heure d'échantillonnage (figure 24 et tableau 7). De plus, nous remarquons que la courbe des piles usagées ayant une tension résiduelle de plus de 1,5 volt est la même courbe que les neuves. Il est aussi intéressant de constater qu'une pile usagée de 1,4 volt aura une charge suffisante pour maintenir une charge jusqu'à 1 volt⁷ pendant environ 10 heures. Pour ce qui est des catégories de piles qui ont une tension de 1,4 à 1,2 volt, elles vont fonctionner un petit moment jusqu'à 1 volt, mais leurs durées d'utilisation sont peu intéressantes.

⁷ Nous avons pris la valeur de 1 volt, car les appareils ayant une résistance de 10 Ohms s'éteignent généralement autour de 1 volt.

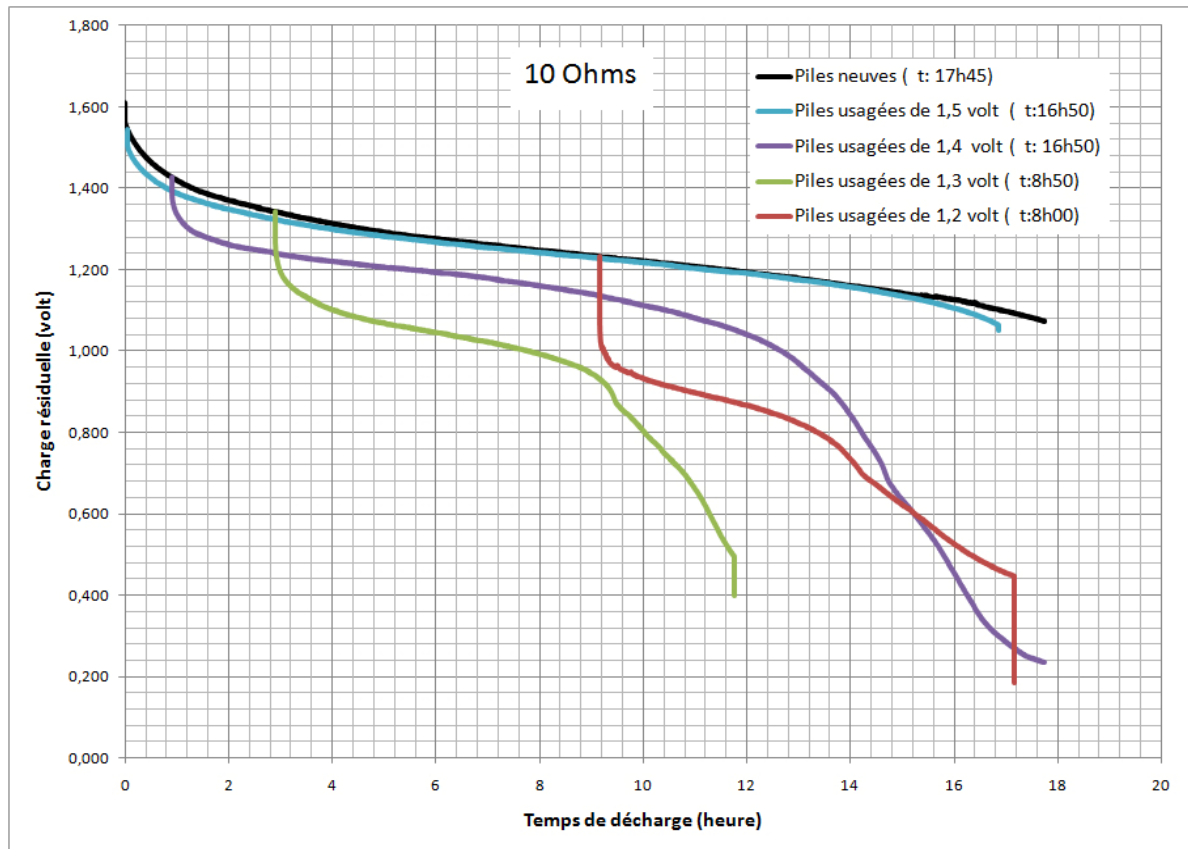


Figure 24 Décharge des piles de catégories 1,5 volt, 1,4 volt, 1,3 volt, 1,2 volt avec une résistance de 10 Ohms

Tableau 7 Moyenne de l'écart-type de la tension de chaque catégorie de pile avec une résistance 10 Ohms

Catégorie de voltage	Moyenne de l'écart-type
Neuve	$\pm 0,01$ volt/heure
1,5 volt	$\pm 0,01$ volt/heure
1,4 volt	$\pm 0,06$ volt/heure
1,3 volt	$\pm 0,08$ volt/heure
1,2 volt	$\pm 0,10$ volt/heure

Résistance de 24 Ohms

Les piles neuves auxquelles nous avons appliqué une résistance de 24 Ohms ont eu une longue durée de vie. En effet, lors de l'expérimentation, la prise de données a été arrêtée (intervention humaine hors expérimentation) avant la fin soit après 17h45 (figure 25). Toutefois, nous pouvons imaginer, en regardant la courbe de la pile d'une tension résiduelle de 1,4 volt, que le temps restant à la décharge aurait duré au moins six heures de plus avant d'atteindre la limite de 1,2 volts et une vingtaine d'heures supplémentaires pour atteindre la limite de 1 volt. Encore une fois, l'évolution de la tension dans la courbe de décharge des piles usagées de 1,5 volt et plus était similaire à celle des neuves. Pour ce qui est des autres catégories de piles usagées, celles-ci ont

des durées de vie plus intéressantes allant d'une quarantaine d'heures à deux heures d'utilisation pour un voltage résiduel d'environ 1 volt⁸.

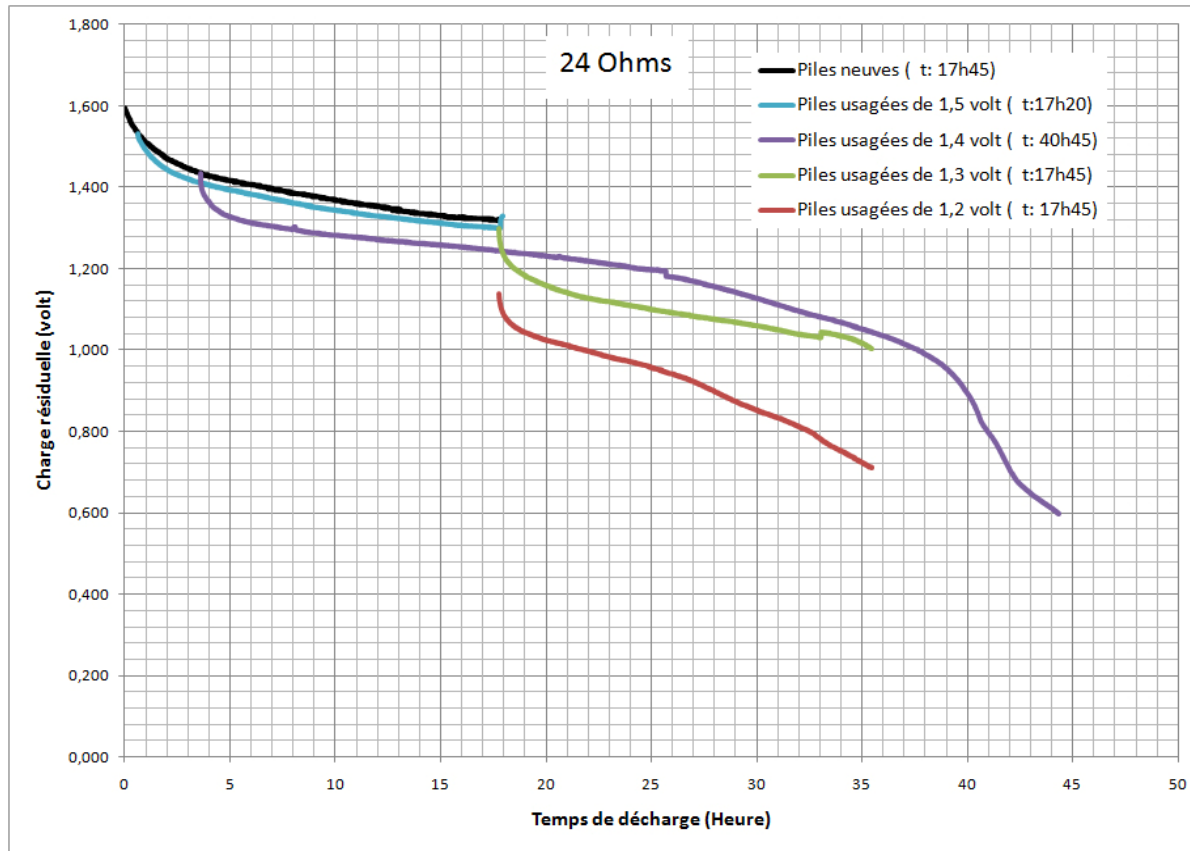


Figure 25 Décharge des piles de catégories 1,5 volt, 1,4 volt, 1,3 volt, 1,2 volt avec une résistance de 24 Ohms

Tableau 8 Moyenne de l'écart-type de la tension de chaque catégorie de pile avec une résistance 24 Ohms

Catégorie de voltage	Écart-Type moyen
Neuve	±0,02 volt/heure
1,5 volt	±0,004 volt/heure
1,4 volt	±0,06 volt/heure
1,3 volt	±0,02 volt/heure
1,2 volt	±0,01 volt/heure

Résistance 42 Ohm

Lorsque nous appliquons une résistance de 42 Ohms aux piles neuves (figure 26), celles-ci ont une très longue durée de vie (plus de 100 heures). Comme pour la résistance de 24 Ohms, nous n'avons pas fait l'expérimentation jusqu'à la fin. De plus, l'évolution de la tension dans les courbes de décharge des catégories de piles usagées est beaucoup plus similaire à la courbe des piles neuves avec cette résistance. En effet, ce graphique suggère que toutes les catégories de piles fonctionneraient dans un appareil avec une telle résistance.

⁸ Nous avons pris la valeur de référence 1 volt, car c'est la valeur la plus basse commune avec les trois catégories sur le graphique.

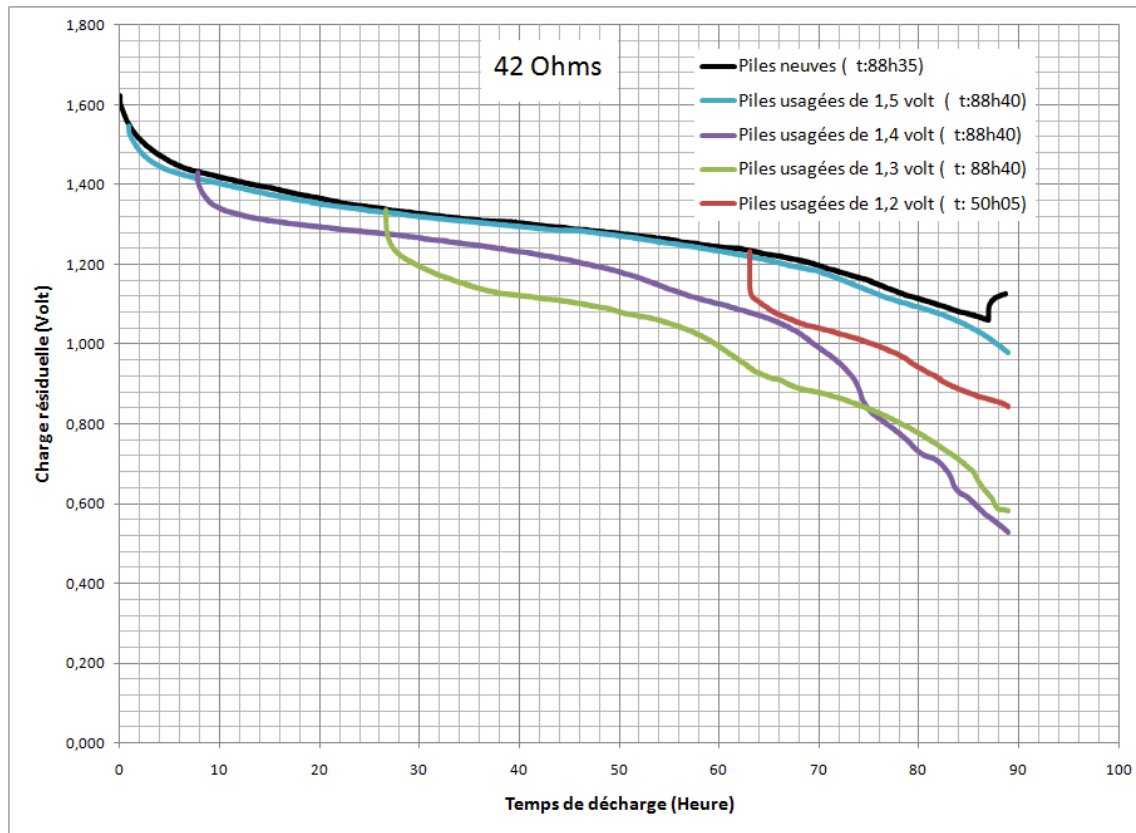


Figure 26 Décharge des piles de catégories 1,5 volt, 1,4 volt, 1,3 volt, 1,2 volt avec une résistance de 42 Ohms

Tableau 9 Moyenne de l'écart-type de la tension de chaque catégorie de pile avec une résistance 42 Ohms

Catégorie de voltage	Moyenne de l'écart-Type
Neuve	$\pm 0,006$ volt/heure
1,5 volt	$\pm 0,006$ volt/heure
1,4 volt	$\pm 0,07$ volt/heure
1,3 volt	$\pm 0,05$ volt/heure
1,2 volt	$\pm 0,05$ volt/heure

Comparaison des marques de pile

Pour des fins de comparaison entre les différentes marques de piles ainsi que pour répondre à la question : "est-ce que les piles de faible qualité vont durer plus longtemps qu'une pile usagée de bonne qualité?", nous avons comparé des piles neuves Duracell Procell (industrielles) avec des piles Energizer (commerciales) et des piles Panasonic (commerciales) de moindre qualité. La figure 27 présente les moyennes des résultats obtenus lors de la décharge. Nous pouvons y remarquer que les piles industrielles et commerciales de bonne qualité s'équivalent avec une résistance de 24 Ohms. De plus, la figure montre que les piles Panasonic de moindre qualité sont beaucoup moins performantes que les deux autres. Par ailleurs, lorsque nous comparons la courbe de décharge des Panasonic avec celle des Duracell Procell usagées de la figure 25, nous remarquons que les piles usagées Duracell de 1,2 volt ont une durée de vie de 15 heures jusqu'à 0,8 volt, tandis que les piles neuves Panasonic ont une durée de vie de 20 heures. Ce résultat

laisse penser qu'une pile usagée ayant une tension résiduelle supérieure à 1,2 volt, de qualité, équivaut à une pile neuve de moindre qualité.

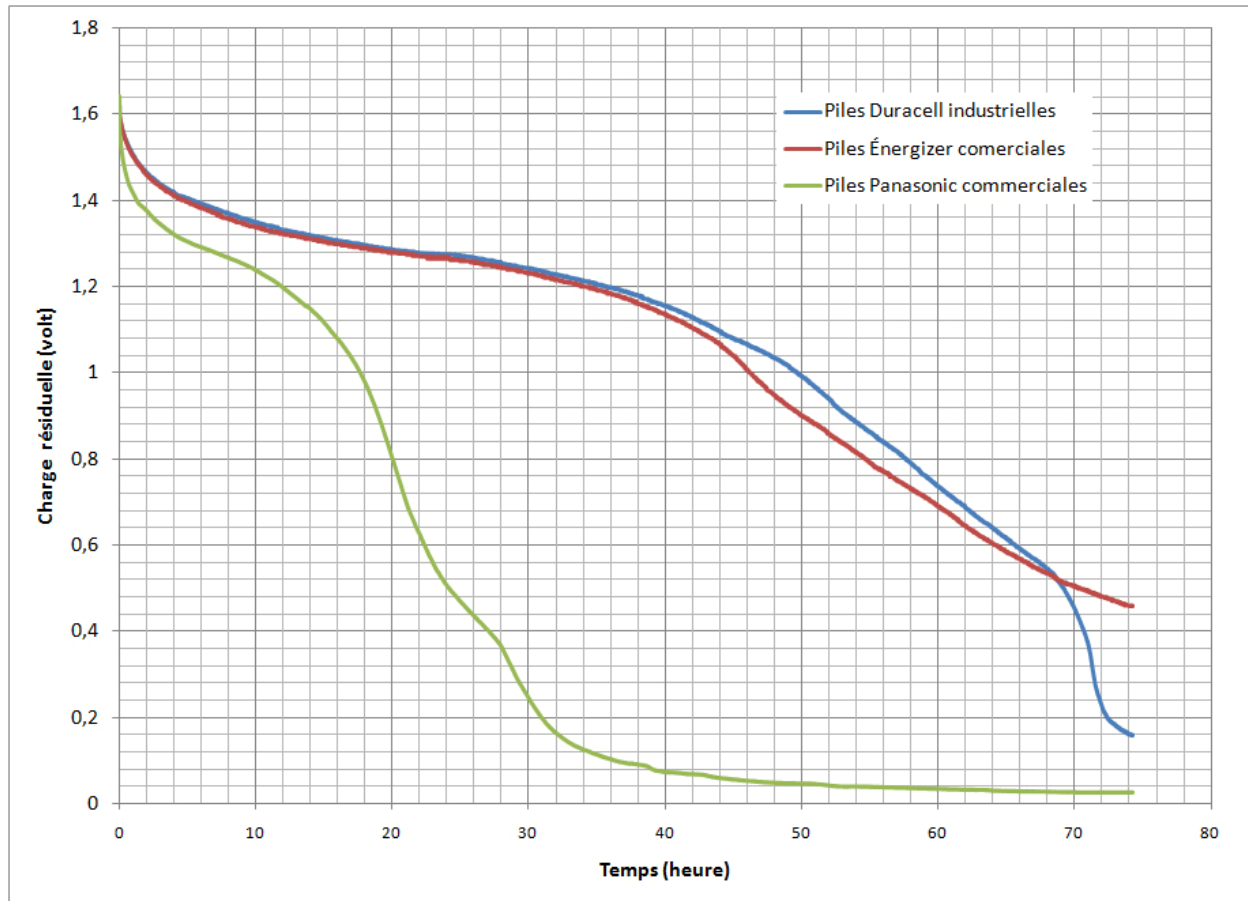


Figure 27 Comparaison de différentes marques de piles : Duracell industrielle, Énergizer commerciale, Panasonic commerciale avec une résistance de 24 Ohms

CHAPITRE 4 : ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE POUR LES PILES PRIMAIRES ET SECONDAIRES

Ce chapitre présente la méthode utilisée pour évaluer les émissions de gaz à effet de serre dans le cycle de vie d'une pile et les résultats obtenus.

Méthode pour comparer les gaz à effet de serre émis par les piles primaires et les piles secondaires

Cette section présente les prémisses et les hypothèses de calcul utilisées afin d'effectuer une comparaison des gaz à effet de serre (GES) émis par une pile primaire et une pile secondaire tout au long de leur cycle de vie.

Les caractéristiques des piles

La pile primaire analysée est la Duracell Procell Alkaline de format AA⁹. Celle-ci induit un courant maximal de 2850mA pendant 1 heure et sa tension maximale est de 1,5 volt. De plus, la pile a été fabriquée aux États-Unis à St-Louis au Missouri.

La pile secondaire, de son côté, vient de la compagnie Énergizer et est le modèle NiMH de format AA. De plus, celle-ci induit un courant maximal de 2500mA pendant 1 heure et à une tension maximale de 1,2 volt. Celle-ci est fabriquée au Japon.

Par ailleurs, les deux piles pèsent chacune 30 grammes.

L'unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle de notre système est d'induire 0,250 watt pendant 1 000 heures. En d'autres termes, nous voulons faire fonctionner un appareil qui a besoin d'une pile et qui consomme 250 mA à une tension de coupure de 1 V. Nous estimons que l'appareil a une durée de vie de 1 000 heures. Celui-ci a donc une résistance d'environ 4 Ohms.

Selon la compagnie Énergizer, une pile rechargeable de ce type dure environ 10 heures¹⁰ (figure 4) dans ces conditions. Toutefois, selon la même compagnie, la capacité énergétique de la pile n'est pas stable et varie dépendamment des conditions de stockage et d'utilisation. Selon Parsons (2007), le potentiel énergétique de la pile équivaut généralement à 76 % de ce qui est indiqué sur l'emballage. Donc, nous allons utiliser une durée d'utilisation similaire à celle de la pile primaire afin d'être prudents dans nos analyses. De plus, cette pile est normalement rechargée 50 fois (Parsons 2007). Ainsi, nous aurons besoin de quatre piles durant la durée de vie de l'appareil.

Selon la compagnie Duracell, la pile Duracell Procell dure moins de 10 heures (figure 3). Par ailleurs, nous avons évalué la décharge de cette pile (figure 23) et nous sommes arrivés à une

⁹ <http://www1.duracell.com/procell/pdf/ATB-full.pdf>

¹⁰ Il est à noter que la pile est en condition optimale. De plus, Parsons (2007) considère que ce genre de pile a une capacité d'intensité par heure souvent inférieure à ce qui est mentionné sur la pile, soit 76 %.

valeur d'environ 6 heures, ce qui semble correspondre aux dires du fabricant. Ainsi, nous aurons besoin de 167 piles pour faire fonctionner l'appareil pendant 1 000 heures.

Les frontières du système et méthode utilisée

Pour ce qui est de la fabrication, nous avons émis l'hypothèse que les deux types de piles ont le même impact. Nous avons inclus dans le système les matériaux utilisés¹¹, le transport de ceux-ci et l'énergie d'assemblage. Pour ce faire, nous avons évalué les poids des principaux matériaux et utilisé la méthode Impact 2002+, la base de données « Écoinvent Unit process mix grid nord américain » et le logiciel SimaPro 7 Copyright © Pré Consultants 2008.

De plus, nous avons évalué les GES émis par la fabrication d'un chargeur à batteries à un dixième de celles d'une pile. Cette évaluation nous semble conservatrice, car nous supposons que ce chargeur est utilisé pour plus de quatre piles soit un scénario hypothétique de quarante piles par chargeur.

Pour ce qui a trait à l'emballage, nous considérons que les deux types de pile étaient emballés en paquet de deux. Les composants sont du carton (10 g) et une fine pellicule de plastique transparent (5 g) et ceux-ci ont voyagé 2000 km en bateau et 500 km en camion avant d'être assemblés. Pour ce dernier, nous le considérons comme négligeable.

Les GES émis par le transport des piles, du producteur au détaillant, ont été estimés avec le logiciel SimaPro 7 Copyright© Pré Consultants 2008. Comme la pile secondaire provenait du Japon, nous avons estimé à 7 000 km le parcours en bateau, à 3 500 km celui en train et à 100 en camion. Pour ce qui est de celle primaire, nous avons estimé qu'elle parcourra 2050 km en camion.

Pour les GES émis par le transport des piles, du détaillant à l'utilisateur, nous avons estimé que ce dernier parcourt en moyenne 5 km aller-retour pour acheter un paquet de piles¹². De plus, il utilise une automobile de type compact qui consomme¹³ environ 10,2 litres d'essence au 100 km et va acheter des piles un paquet à la fois, puis celui-ci représente 10% de ses achats. Nous avons utilisé le calculateur de Carbone Boréal¹⁴ pour effectuer les calculs.

Au niveau de l'utilisation des piles, il n'y a pas de GES émis lorsque nous utilisons des piles primaires. Toutefois, pour les piles secondaires il en va autrement. Nous devons les recharger à plusieurs reprises (50 fois par pile). Selon la compagnie Énergizer, un « chargeur » utilise au maximum 85 watts par heure¹⁵. La durée de charge maximale de ce type de pile secondaire est d'environ 20 minutes. Donc, le chargement d'une pile a besoin d'environ 28 wattheures. En outre, nous allons effectuer un test de sensibilité avec les facteurs d'émission¹⁶ des différents

¹¹ Les composants ont été tirés de la compagnie Duracell (www.duracell.com) et de la compagnie (www.energizer.com). Toutefois, la quantité de chacun des matériaux n'était pas indiquée, donc nous les avons estimés. Voir annexe 2

¹² Chlorophylle a évalué la distance parcourue par ses clients à 5 km aller-retour et nous croyons que cette estimation est transposable dans l'achat de piles.

¹³ <http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools>

¹⁴ <http://carboneboreal.uqac.ca/calculateur.php>

¹⁵ Fiche descriptive du chargeur d'Énergizer: NiMH Battery Charger (CH15MN).

¹⁶ Climate Registry, Canadian Emissions Factors for Grid Electricity by province 03/02/09

réseaux électriques du Canada soit le Québec (0,01 kg de CO₂ éq par kWh), l'Alberta (0,925 kg de CO₂ éq par kWh) et l'Ontario (0,181 kg de CO₂ éq par kWh).

Pour ce qui est de la phase de disposition, nous supposons que les piles primaires et secondaires sont récupérées et traitées par pyrométallurgie. De plus, les piles seront transportées sur 500 km en camion. Pour ce faire, nous avons utilisé un modèle établi par Hirschier & al (2007), qui se trouve dans la base de données « Écoinvent Unit process mix grid nord-américain » de SimaPro 7 Copyright© Pré Consultants 2008.

Résultats relatifs aux émissions de gaz à effet de serre pour les piles primaires et secondaires

Cette section présente les résultats de la comparaison des gaz à effet de serre émis par les deux types de piles durant leur cycle de vie. Il est à noter que les valeurs de GES attribuées à chacune des étapes sont approximatives pour les raisons mentionnées au chapitre 1.

Une pile primaire VS une pile secondaire

Nous remarquons, dans les tableaux 11, que la quantité de GES émis au total par la pile primaire représente environ 0,705 kg de CO₂ éq dont 85 % des émissions proviennent de la phase de fabrication. Tandis que les émissions d'une pile secondaire représentent 0,765 kg de CO₂ éq soit 1,1 fois supérieure aux émissions des piles primaires. Nous remarquons que pour la pile secondaire (tableau 10) que minimum 86% des émissions proviennent de la fabrication de la pile et du chargeur.

Tableau 10 Impact des GES pour chacune des phases du cycle de vie, en considérant que le chargeur à pile équivaut une fois la fabrication des piles

Étapes du cycle de vie	Pile primaire (1)		Pile secondaire (1)	
Fabrication de la pile	0,600	85,1%	0,600	78,5%
Fabrication du chargeur	0,000	0,0%	0,060	7,8%
Fabrication de l'emballage	0,017	2,4%	0,017	2,2%
Transport au détaillant	0,008	1,1%	0,008	1,0%
Transport chez l'utilisateur	0,060	8,5%	0,060	7,8%
Rechargement de la pile	0,000	0,0%	0,000	0,0%
Recyclage	0,020	2,9%	0,020	2,7%
Total	0,705	100,0%	0,765	100,0%

Piles primaires VS piles secondaires dans un contexte d'utilisation

Lorsque nous analysons les deux types de piles dans un contexte d'utilisation de 1000 heures (voir méthodologie), les résultats ne sont pas les mêmes. En effet, les piles secondaires peuvent être utilisées plusieurs fois (50 fois par pile), tandis que les piles primaires ont un usage unique. De plus, nous remarquons, aux tableaux 11, 12 et 13, qu'indépendamment du facteur d'émission du réseau électrique les piles rechargeables sont toujours préférables aux piles primaires. Ainsi, si le réseau électrique est celui du Québec, une pile rechargeable émet 41 fois moins de GES qu'une pile primaire. En contrepartie, si nous sommes en Alberta ou en Ontario, une pile rechargeable émettra 40 fois à 41 fois moins qu'une pile primaire. Bref, dans ces conditions d'utilisation, le réseau électrique change peu de choses à la performance des piles secondaires.

Ainsi, ces résultats suggèrent, au Québec et dans ces conditions d'utilisation, qu'utiliser des piles secondaires permettrait d'éviter environ 115 kg de CO₂ éq. pour alimenter un appareil consommant 250 mA à une tension de 1 V pendant 1000 heures.

Tableau 11 Impact des GES pour chacune des phases du cycle de vie, en considérant le réseau électrique du Québec et que celles-ci sont utilisées dans un appareil (4 Ohms) pendant 1 000 heures

Étapes du cycle de vie	Pile primaire (167)		Pile secondaire (4)	
	kg de CO ₂ éq		kg de CO ₂ éq	
Fabrication de la pile	100,200	85,1%	2,400	83,4%
Fabrication du chargeur	0,000	0,0%	0,060	2,1%
Fabrication de l'emballage	2,772	2,4%	0,066	2,3%
Transport au détaillant	1,328	1,1%	0,030	1,0%
Transport chez l'utilisateur	10,020	8,5%	0,240	8,3%
Rechargement de la pile	0,000	0,0%	0,001	0,0%
Recyclage	3,390	2,9%	0,081	2,8%
Total	117,710	100,0%	2,879	100,0%

Tableau 12 Impact des GES pour chacune des phases du cycle de vie, en considérant le réseau électrique de l'Alberta et que celles-ci sont utilisées dans un appareil (4 Ohms) pendant 1 000 heures

Étapes du cycle de vie	Pile primaire (167)		Pile secondaire (4)	
	kg de CO ₂ éq		kg de CO ₂ éq	
Fabrication de la pile	100,200	85,1%	2,400	80,5%
Fabrication du chargeur	0,000	0,0%	0,060	2,0%
Fabrication de l'emballage	2,772	2,4%	0,066	2,2%
Transport au détaillant	1,328	1,1%	0,030	1,0%
Transport chez l'utilisateur	10,020	8,5%	0,240	8,0%
Rechargement de la pile	0,000	0,0%	0,105	3,5%
Recyclage	3,390	2,9%	0,081	2,7%
Total	117,710	100,0%	2,982	100,0%

Tableau 13 Impact des GES pour chacune des phases du cycle de vie, en considérant le réseau électrique de l'Ontario et que celles-ci sont utilisées dans un appareil (4 Ohms) pendant 1 000 heures

Étapes du cycle de vie	Pile primaire (167)		Pile secondaire (4)	
	kg de CO ₂ éq		kg de CO ₂ éq	
Fabrication de la pile	100,200	85,1%	2,400	82,8%
Fabrication du chargeur	0,000	0,0%	0,060	2,1%
Fabrication de l'emballage	2,772	2,4%	0,066	2,3%
Transport au détaillant	1,328	1,1%	0,030	1,0%
Transport chez l'utilisateur	10,020	8,5%	0,240	8,3%
Rechargement de la pile	0,000	0,0%	0,021	0,7%
Recyclage	3,390	2,9%	0,081	2,8%
Total	117,710	100,0%	2,898	100,0%

CHAPITRE 5 : ANALYSE ET RECOMMANDATIONS

Dans ce chapitre, nous tenterons de répondre aux questions du mandat qui nous a été proposé par RECYC-Québec en prenant appui sur les résultats de l'étude.

Quelle est la tension résiduelle des piles récupérées par type de piles et par voie de disposition ?

Domestique

Les échantillons des piles domestiques nous ont permis d'observer que plus de la moitié des piles AA et AAA de sources publiques déposées dans les points de chute prévus à cet effet ont encore un potentiel énergétique important qui leur permettrait d'être utilisées dans la vaste majorité des appareils domestiques. L'utilisation des piles domestiques ne peut donc pas être considérée comme étant optimale. Cette constatation s'ajoute au fait que la très grande majorité des piles ne sont même pas apportées au recyclage au Québec. En conséquence, il semble y avoir là un potentiel important de réduction à la source des piles si les citoyens étaient incités à mieux les utiliser et à les réutiliser en cascade dans des appareils appropriés.

Bien qu'un plus grand échantillonnage serait nécessaire pour tirer des conclusions définitives, nous croyons qu'il est justifié de penser que la variabilité de la tension des piles récoltées dans les points de collecte publics sera importante, car les facteurs influençant cette variable (utilisation(s) passée(s), temps de stockage, température, etc.) ne peuvent être connus ou contrôlés.

Institutionnelle

L'utilisation des piles dans les institutions est reliée aux activités de celles-ci et ces activités sont généralement semblables ou prévisibles au cours d'une année. Ainsi, la quantité et la qualité des piles provenant de cette source peuvent être plus facilement estimées. Il serait donc possible, avec un plus grand échantillonnage de types d'institutions, de déterminer lesquelles génèrent des piles possédant toujours une charge substantielle permettant une seconde utilisation et lesquelles utilisent leurs piles au maximum de leur potentiel. Cette possibilité d'estimer la quantité et la qualité des piles produites par les institutions pourrait permettre de cibler les actions à entreprendre afin de maximiser l'utilisation des piles. Par exemple, une institution qui se départit de ses piles alors que ces dernières possèdent toujours un potentiel énergétique utilisable pourrait être jumelée à une autre institution, voire même à un autre département de la même institution, utilisant des appareils ayant une demande énergétique moins importante. Ces chaînes d'utilisation en cascade permettraient un emploi optimal des piles institutionnelles.

Qualité des piles

La caractérisation des piles usagées publiques et institutionnelles nous a permis de constater que celles d'origine publique, comparativement à celles d'origine institutionnelle, ont une proportion endommagée non négligeable, une variation importante dans les dates de péremption et une diversité dans les marques. Ces trois différences indiquent que les piles usagées institutionnelles sont plus homogènes que celles de source publique. Cette homogénéité est un avantage important à prendre en considération pour toute mesure visant l'utilisation optimale des piles. La similarité des piles institutionnelles non seulement en termes de types de piles, mais également en termes de la tension résiduelle, de quantité, de qualité et de date de péremption permet de faciliter la collecte, le tri, les tests de la tension résiduelle et la remise en utilisation de ces piles. Grâce à ces

caractéristiques, certains services institutionnels peuvent être reconnus comme étant des sources fiables de piles de qualité appropriées à une redistribution pour une utilisation optimale. En ce qui a trait aux piles domestiques, la grande variabilité dont elles font preuve les rend d'autant plus difficiles à collecter, trier et tester. La sensibilisation du public à l'utilisation optimale des piles et à leur bonne gestion en fin de vie pourrait aider à diminuer la quantité de piles ayant une tension résiduelle potentiellement utilisable et à augmenter la qualité par le biais d'un meilleur entreposage ainsi que la quantité des piles qui se retrouvent dans les points de collecte.

Le mode de stockage influence-t-il le potentiel énergétique ?

La température, le temps de résidence, les circuits entre les piles et l'humidité peuvent agir sur les piles domestiques déposées dans les boîtes de collecte publique et leurs impacts ne peuvent être prévus. Une grande variabilité dans la qualité des piles provenant de cette source est donc à prévoir.

Les données que nous avons obtenues ne peuvent donc être considérées comme statistiquement représentatives de ce qu'une boîte de collecte de piles domestiques moyenne peut fournir. Pour cela, il faudrait un échantillonnage beaucoup plus large, permettant de disposer de données statistiquement significatives. La variation de la qualité et de la quantité des piles que fournit chaque point de collecte public variera dans le temps et dans l'espace. Des campagnes de sensibilisation pourraient, par exemple, aider à améliorer la qualité ainsi que la quantité de piles récoltées dans ces points de chute.

De leur côté, les piles à utilisation institutionnelle, comme elles sont soumises à des utilisations connues et souvent selon des protocoles précis, feront certainement preuve d'une moins grande variabilité autant dans leur quantité que dans leur qualité. Donc il est probable que la variabilité observée dans les boîtes de collecte publiques étudiées caractérise bien ce à quoi on peut s'attendre de points de collecte publics par rapport à des points de collecte institutionnels.

Par ailleurs, l'ajout d'une date de péremption sur certaines piles peut dans certains cas aider à juger de la qualité des piles récoltées. Toutefois, comme nous l'avons démontré, la diminution de la capacité de charge d'une pile dépend de plusieurs facteurs, dont la température. Par exemple, la date de péremption indiquée peut être tardive pour des piles conservées dans une voiture où la température est souvent élevée ou encore prématurée pour des piles conservées dans un congélateur, un réfrigérateur ou une chambre froide comme certains en ont l'habitude.

En résumé, la meilleure façon de stocker les piles correspond à celle proposée par les fabricants¹⁷, soit de les garder dans un endroit frais et sec. Il serait de plus pertinent de suggérer aux consommateurs de disposer de leurs piles dans des points de collecte prévus à cet effet, et ce, le plus rapidement possible après leur utilisation.

Comment peut-on rapidement et à faible coût connaître le potentiel énergétique d'une pile ?

Nous avons constaté que dans les premières secondes de la décharge d'une pile, il y a une variation importante dans le voltage. Celle-ci est indirectement proportionnelle à la tension

¹⁷ Duracell

résiduelle de la pile et proportionnelle à la résistance utilisée. C'est-à-dire qu'une pile ayant une tension résiduelle de 1,5 volt aura une variation plus faible qu'une pile de 1,2 volt pour une même résistance. Une pile de 1,5 volt aura également une variation plus faible avec une résistance de 42 Ohms qu'avec une résistance de 4 Ohms. Ce résultat nous permet d'émettre l'hypothèse que lorsque l'on mesure la tension d'une pile, il faut attendre environ dix secondes avant de prendre la lecture.

Par la suite, l'évolution de la tension dans les courbes de décharge des piles ayant une tension résiduelle inférieure à 1,5 volt ne se superpose pas à celle des piles neuves. Ainsi pour estimer le temps d'utilisation des piles usagées, nous ne pouvons pas corrélérer directement au comportement d'une pile neuve. Toutefois, la forme de la fonction de décharge est toujours la même et est similaire à celle publiée par les fabricants Energizer et Duracell, soit une fonction sigmoïde qui commence par une phase logarithmique, se stabilise ensuite selon une période plus ou moins longue et se termine par une chute exponentielle, le tout prenant la forme d'un « S ». Les courbes résultant de cette expérimentation nous permettent donc d'estimer grossièrement le temps d'utilisation résiduel des différentes catégories de piles pour une résistance connue. Ainsi, si on veut connaître le temps d'utilisation d'une pile usagée pour un appareil donné, il est possible de le faire en choisissant le graphique de la résistance correspondant à l'appareil et la courbe correspondant à la tension résiduelle de la pile. Toutefois, il faut connaître la résistance de l'appareil ou la tension de coupure et l'intensité nécessaire de l'appareil. Or, ces informations sont rarement présentes sur ces appareils.

Enfin, il y a différence dans la qualité des piles et donc chaque marque a un comportement différent. En effet, nos résultats indiquent que les piles de moindre qualité qui sont vendues moins cher ont un temps de décharge très court comparativement à des piles neuves de bonne qualité. De plus, lorsque nous comparons les piles neuves de moindre qualité avec les piles industrielles usagées de 1,2 volt, nous remarquons une différence d'environ cinq heures en faveur de la première. Ainsi, nous croyons qu'une pile usagée (supérieur à 1,2 volt) de bonne qualité à un potentiel énergétique comparable à celle d'une pile neuve de moindre qualité. La réutilisation des piles usagées réduira la quantité de piles consommées.

En somme, il est difficile de connaître le potentiel énergétique d'une pile usagée et encore plus difficile d'associer ce potentiel à un temps d'utilisation dans un appareil donné, car selon la composition de la pile, elle aura un comportement de décharge différent. Par exemple, une pile Energizer va se comporter différemment d'une pile Panasonic. Toutefois, les résultats obtenus dans cette étude permettent d'estimer le temps d'utilisation pour les piles usagées Energizer et Duracell dans des appareils ayant une résistance d'environ 4, 10, 24 et 42 ohms à partir de leurs courbes de décharge. De plus, Zinniker (2003) a publié un graphique intéressant qui permet d'évaluer grossièrement l'intensité que peut décharger une pile en heure (mAh), et ce, avec son voltage résiduel. Ainsi, ces deux valeurs peuvent nous informer du seuil maximal de résistance d'un appareil où une pile usagée peut-être utilisée, en utilisant la formule d'Ohm.

Quels sont les usages possibles de cette énergie résiduelle ?

Utilisation en cascade

L'utilisation en cascade des piles, soit à partir d'appareils à forte consommation vers des appareils à plus faible consommation est une technique qui permettrait d'utiliser complètement

l'énergie des piles. Cette technique est d'ailleurs déjà utilisée informellement dans bon nombre de foyers où par exemple les piles ayant servi pour la caméra numérique se retrouveront éventuellement dans la télécommande de la télévision ou dans une horloge.

Cette technique a toutefois ses limites. On ne peut penser qu'une télécommande et une lampe de poche permettraient d'utiliser pleinement les piles générées par une caméra numérique utilisée fréquemment. De plus, le manque d'information limite l'efficacité de cette technique et le nombre de paliers de la cascade d'utilisation. En effet, bien peu de gens sont informés de la consommation électrique de leurs biens.

Cette méthode serait donc applicable pour une personne ou une organisation qui utilisent peu d'appareils très énergivores et plusieurs appareils à faible consommation. Dans le cas inverse, cette façon de faire s'avère toutefois inefficace et nécessiterait la redistribution des piles à d'autres utilisateurs afin que leur potentiel énergétique soit utilisé complètement. L'utilisation des appareils de faible consommation doit donc permettre d'utiliser les piles rejetées par les appareils à forte consommation dans un délai inférieur à la date de péremption des piles pour que l'utilisation des piles en cascade soit un succès.

Une étude qui permettrait de mesurer la résistance de plusieurs appareils communs et de les associer aux tensions résiduelles des piles permettant de les faire fonctionner de façon acceptable et pour une durée appréciable serait pertinente. Une telle étude permettrait de réaliser un tableau représentant les types d'appareils que chaque charge résiduelle peut faire fonctionner normalement. Cet outil pourrait être diffusé par RECYC-Québec sur son site Internet et le tableau fourni pour les sites de collecte à condition qu'un voltmètre soit aussi disponible.

La pertinence d'un tel outil exige des mises à jour régulières en fonction de l'évolution des technologies et des appareils. Une alternative serait d'obliger les fabricants d'appareils fonctionnant avec des piles d'indiquer les tensions de rupture de leurs appareils.

Usage collectif

Très peu d'applications de types collectives ont pu être trouvées dans notre étude. La première consiste en un contenant de collecte pour les piles usagées qui, en puisant l'énergie résiduelle des piles usagées, sert aussi de lampadaire. Cette invention n'est toujours qu'une idée, son applicabilité nécessite une étude de faisabilité¹⁸.

La deuxième initiative provient d'Antenna Technologies, une "ONG internationale développant des solutions de technologie simple pour couvrir les besoins fondamentaux des populations d'extrême pauvreté." Elle a développé une ampoule D.E.L. permettant d'utiliser complètement la tension résiduelle des batteries usagées¹⁹. Dans ce cas, il peut s'agir d'une solution de type individuel ou collectif, selon qu'on considère l'utilisateur ou le système de collecte.

Bien que nous ne croyions pas qu'il soit pertinent de faire parvenir nos piles usagées aux gens vivant dans l'extrême pauvreté pour diverses raisons sociales, environnementales et économiques, cette technologie pourrait tout de même être utilisée dans un contexte plus local.

¹⁸ http://www.coroflot.com/public/individual_file.asp?portfolio_id=1421475&individual_id=188883

¹⁹ <http://www.antenna.ch/documents/poster.pdf>

Afin de réduire la demande à la source en piles, ces deux alternatives devraient être envisagées pour remplacer un besoin d'éclairage existant utilisant des piles et non pas l'électricité du réseau. Ces exemples d'usages collectifs ne semblent donc pas prometteurs afin de diminuer sensiblement le nombre de piles vendues et donc rejetées au Québec.

Cependant, dans le contexte où les piles qui sont vendues dans les pays en développement sont les mêmes qu'au Québec, il serait pertinent de voir si dans un cadre de coopération internationale, l'information sur les tensions résiduelles des piles et les moyens de les réutiliser ne pourrait pas être diffusée auprès d'organisations de coopération internationale qui pourraient en faire profiter des populations plus démunies à partir des piles qui sont générées dans ces pays. La main-d'œuvre peu chère et la prévalence des petits commerces dans ces pays pourraient éventuellement représenter un moyen de générer une microactivité économique utile dans certaines populations urbaines.

Limites

Pour les institutions, l'utilisation optimale des piles pourrait demander des efforts de manutention et de gestion importants. Le temps et l'argent investis dans l'utilisation des piles usagées devraient donc être considérés.

Le potentiel d'erreur dans le testage, le triage et la redistribution des piles usagées est trop élevé pour que cette pratique soit sécuritaire dans le cas des hôpitaux où les protocoles exigent pour certains appareils que des batteries neuves soient utilisées chaque jour. Une erreur dans ce contexte pourrait avoir des conséquences graves.

Cependant, suite à notre caractérisation, les hôpitaux semblent être une importante source de piles de qualité. En effet, la majorité peut être considérée comme neuve et pourrait être redistribuée plutôt que jetée. La redistribution aux employés et bénéficiaires serait la plus simple, mais une redistribution organisée dirigée à des groupes communautaires, des écoles, des familles à faible revenus, etc. serait aussi envisageable et même souhaitable.

Est-ce possible d'imaginer un potentiel commercial ?

La figure 28 montre les étapes qui caractériseraient le cycle de vie d'une pile primaire dans l'hypothèse d'une utilisation optimale de leur tension. Cette utilisation pourrait prendre deux variantes : une récupération pour revente, intitulée « usage commercial » et une réutilisation de type domestique intitulée « utilisation optimale ». On peut remarquer que l'alternative commerciale impose plusieurs étapes permettant de récupérer, trier, caractériser et emballer les piles primaires en fonction de leur tension résiduelle avant de les proposer à la revente.

Suite à nos analyses, il ne nous est pas apparu nécessaire de faire une analyse économique de cette option même si une proportion significative des piles usagées a encore une énergie résiduelle utilisable. En effet, il apparaît peu probable qu'un potentiel commercial puisse être dérivé des piles usagées. Le coût d'achat des piles neuves est tout simplement trop faible (environ 30¢ chez un grossiste et environ 1\$ dans un magasin grande surface) pour qu'un tel exercice soit rentable. En effet, les coûts impliqués par la collecte, le tri, la mesure de la tension, le classement, l'emballage et la distribution des piles ne pourraient certainement pas permettre d'atteindre le seuil de la rentabilité en vendant les piles usagées moins chères que les piles neuves. Bien entendu, vendre ces piles pour un montant supérieur aux piles neuves est impensable.

D'un autre côté, nos résultats laissent penser qu'une pile usagée de qualité équivaut à une pile neuve de moindre qualité. Ainsi, on pourrait penser que le prix de vente d'une pile de qualité usagée pourrait être équivalent à celui d'une pile neuve de faible qualité.

Il est donc possible qu'une valeur commerciale soit envisageable si les différentes étapes illustrées du côté gauche de la figure 28 sont réalisées à un très faible coût. Cela n'est toutefois possible que si les opérations sont effectuées manuellement par des bénévoles. De cette façon, certains organismes communautaires pourraient peut-être tirer un certain revenu des piles usagées. Cette possibilité pourrait aussi être étendue à des projets scolaires permettant de financer des activités étudiantes. Cependant, il est très peu probable qu'une mesure générale pour le Québec puisse donner une filière industrielle semblable à celle des peintures recyclées. La question du contrôle de la qualité des piles qui seraient ainsi mises en marché est aussi un obstacle à considérer. L'écart type entre les piles neuves et usagées testées peut varier d'un facteur quatre ou plus, ce qui indique que les piles usagées ont une plus grande variabilité de comportement au sein d'un même groupe testé pour le même voltage.

Le recours à un système où, au minimum, les étapes du tri et du testage des piles seraient automatisées présente plusieurs difficultés. La première vient du faible taux de piles mises au recyclage. Sans une importante augmentation du taux de diversion de l'enfouissement, les volumes de piles ayant un potentiel de réutilisation ne représentent pas une masse critique pour intéresser des industriels à développer les machines susceptibles d'accomplir le travail à des coûts compatibles avec la valeur résiduelle de la tension. Deuxièmement, la question du stockage des piles en attente de traitement demande des conditions permettant d'éviter les contacts entre les bornes et la création de circuits qui déchargeront une proportion des piles, cela naturellement en prenant aussi en compte les conditions de température et d'humidité qui peuvent faire varier la qualité des piles et provoquer leur obsolescence avant la date de péremption qui devrait alors être rajustée en fonction de la seconde mise en marché. Dans un tel système, les générateurs importants de piles usées de bonne qualité (certains hôpitaux en génèrent près de deux tonnes par année) pourraient être des sources d'approvisionnement intéressantes, mais comme cela ne fait pas partie de leurs priorités institutionnelles, il est vraisemblable que sans un incitatif monétaire ou réglementaire, cette option ne sera pas implantée sans difficulté.

Des avenues non commerciales pourraient en revanche être envisagées pour permettre l'utilisation optimale des piles. Ces méthodes, illustrées du côté droit de la figure 28, font appel à la sensibilisation, à l'usage en libre service d'outils de mesure et d'approches intégrées ou de redistribution pour les institutions.

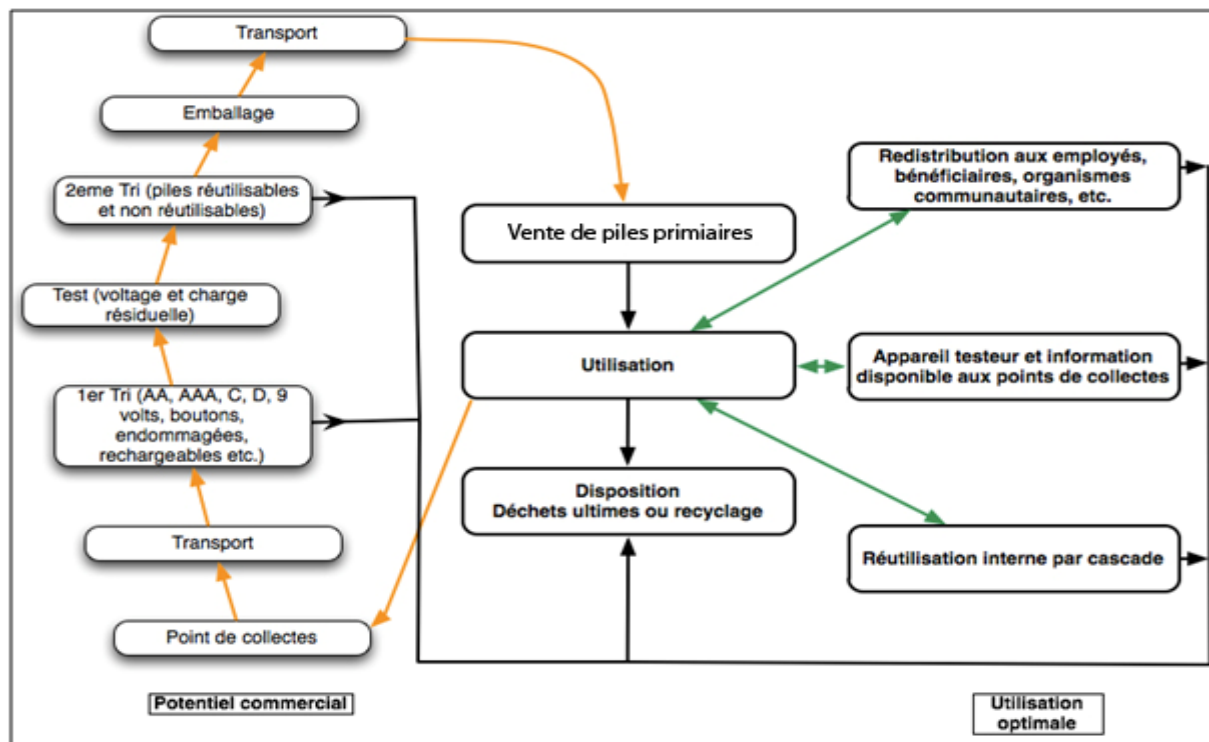


Figure 28 Cycle de vie étendu d'une pile primaire permettant une utilisation plus optimale de son potentiel énergétique

Dans ce modèle, les piles usagées seraient mises à disposition gratuitement par les institutions, soit d'un service à l'autre ou vers des employés ou citoyens désireux d'utiliser le potentiel énergétique dans des appareils moins exigeants. Pour leur part, les citoyens ou les services de certaines institutions pourraient, après avoir caractérisé la tension résiduelle de leurs propres piles, les utiliser en cascade dans des appareils de moins en moins exigeants. Cette approche risque toutefois de créer un certain engorgement, les appareils les plus exigeants devant remplacer leurs piles beaucoup plus souvent que les appareils moins exigeants.

Pour les institutions, l'utilisation des piles usagées pourrait être réalisée à l'interne sous forme d'utilisation en cascade ou à l'externe par redistribution. Par exemple, le service de l'audiovisuel et le service des immeubles et équipements de l'UQAC pourraient implanter un tel système à l'interne. Alors que le premier de ces services utilise des appareils à haute demande énergétique, mais qui n'utilisent qu'une fraction de l'énergie des piles, le service des immeubles et équipements utilise des équipements moins énergivores capables d'utiliser un plus grand pourcentage de l'énergie contenue dans les piles. Le service des immeubles et équipements pourrait donc s'approvisionner pour une partie de ses besoins en piles auprès de l'audiovisuel réduisant d'emblée le coût d'achat de piles neuves pour l'institution (environ 1 700\$ par année pour l'UQAC).

Pour maximiser ce potentiel, il faudrait interpeller les institutions qui font un usage important de piles et par des mesures de sensibilisation, les guider dans l'utilisation rationnelle de ce produit.

Par contre, pour les institutions où la gestion interne par cascade serait soit trop coûteuse, trop complexe ou encore non sécuritaire (hôpitaux), la redistribution des piles aux employés, aux

bénéficiaires de l'institution ou encore à des groupes communautaires, écoles, etc. serait une option à envisager.

Pour favoriser l'utilisation plus optimale des piles par les citoyens, il faut trouver des moyens faciles et fiables pour tester les batteries usagées. Cela pourrait être un dispositif placé près des îlots de récupération. Cette borne devrait comporter un appareil de testage et un panneau informatif sur les usages résiduels de la pile testée. Le citoyen pourrait ainsi prendre une décision éclairée avant de mettre ses piles au recyclage. Le faible taux de récupération actuellement observé pour les piles au Québec indique qu'il faudrait un effort de sensibilisation important pour dériver une portion significative des piles de l'enfouissement par ce moyen.

En identifiant les étapes du cycle de vie d'une pile, quel serait l'impact sur les émissions de CO₂ d'utiliser uniquement des piles rechargeables au Québec ?

Comparaison d'une pile primaire et d'une pile secondaire

Les résultats obtenus lors de notre analyse ont confirmé les dires de Parsons (2007), qui mentionnaient que la fabrication (pile, emballage, chargeur) des piles représentait la majorité (80%) des dommages²⁰ (santé humaine, qualité des écosystèmes, utilisation des ressources) dans le cycle de vie du produit. De notre côté, la fabrication (pile, emballage, chargeur), pour les deux types de piles, représentait une valeur, en GES, de 85%. C'est le transport du détaillant à l'utilisateur qui suit avec un pourcentage de 8 %. Pour ce qui est du recyclage, les GES ne représentent que 3 %.

Selon UNIROSS (2007), la production d'une pile rechargeable émet 28% moins qu'une pile primaire, et ce, avec le chargeur. Lorsque nous appliquons cette hypothèse, les émissions liées à la fabrication représentent encore plus de 80% pour ce qui est d'une pile rechargeable. Ainsi, les émissions de GES liées au cycle de vie d'une pile primaire ou secondaire dépendent à plus de 80% de la fabrication et plus précisément de la fabrication des composants (Parsons, 2007).

Comparaison des piles primaires et secondaires lors de 1 000 heures d'utilisation dans un appareil de résistance de 4 Ohms

Un appareil de 4 Ohms nécessite 250 mA à une tension de rupture de 1 volt. Ainsi, pour faire fonctionner l'appareil pendant 1 000 heures, celui-ci a besoin de 167 piles primaires ou 4 piles secondaires. Déjà là, nous pouvons tout de suite conclure, sachant que c'est la phase de fabrication qui est responsable de 80% des GES, qu'il est beaucoup plus avantageux d'utiliser des piles rechargeables. Plus précisément, l'utilisation de piles secondaires évite 41 fois la quantité de GES qu'auraient émis des piles primaires, et ce, peu importe où au Canada. En contrepartie, l'étude du Canton de Vaud stipule que le cycle de vie d'une pile rechargeable, NiCd, émet 19 fois moins de GES qu'une pile alcaline. En partant du principe qu'une pile, NiCd, dure environ 3 heures²¹ dans nos conditions d'utilisation, nous arrivons à des proportions similaires soit 24 fois moins de GES émis. Par ailleurs, si nous appliquons l'hypothèse de UNIROSS (2007), qu'une pile rechargeable émet 28% moins qu'une pile primaire, alors cette première est 53 fois moins émettrice dans ces conditions d'utilisation.

²⁰ Le dommage réchauffement climatique est associé à utilisation des ressources.

²¹ Selon la compagnie Energizer : www.energizer.com

Outre cela, il y a un autre facteur qui influence aussi les GES évités, c'est le temps d'utilisation de l'appareil. Si nous passons de 1 000 heures à 10 000 heures d'utilisation, les piles rechargeables émettront 48 fois moins que les piles primaires, et ce, même si l'on ajoute la fabrication d'un chargeur.

En résumé, il est très difficile de calculer les émissions de GES que nous éviterions avec l'utilisation des piles rechargeables au Québec, car celles-ci ont un comportement variable selon la marque de la pile, l'utilisation et le stockage. Toutefois, nous pouvons affirmer que celles-ci seront au minimum 19 fois moins grandes qu'avec des piles primaires (Canton de Vaud). Ainsi, si nous remplaçons les 83 millions de piles alcalines vendues en 2006 par des piles rechargeables, en utilisant le résultat obtenu par le Canton de Vaud et le nôtre, nous éviterions entre 55 000 et 57 000 tonnes de CO₂ éq. Donc, l'utilisation de piles rechargeables au Québec aurait certainement un impact sur les émissions de gaz à effet de serre, mais celui-ci ne serait pas acquis au Québec, mais plutôt en majorité dans les pays où sont fabriquées les piles primaires. Le remplacement des piles primaires par des piles secondaires ne pourrait donc pas contribuer significativement à l'atteinte de l'objectif gouvernementale.

CHAPITRE 6 : CONCLUSION ET PISTES DE RECHERCHE

Cette étude exploratoire a permis de constater que les piles usagées au Québec possèdent en majorité une énergie résiduelle qui peut leur permettre d'alimenter efficacement des appareils à faible consommation d'énergie. Une portion significative des piles usagées mises au recyclage peut même être considérée comme neuve, car les piles usagées (tension supérieure à 1,2 volt) de qualité se comportent de façon comparable aux piles neuves de moindre qualité. Cependant, de nombreux obstacles limitent la capacité de faire un usage commercial de cette énergie résiduelle. D'abord, même s'il est possible de mesurer la tension résiduelle, il est impossible de prédire la durée d'utilisation si on ne connaît ni la résistance, ni la tension de rupture ni l'intensité nécessaire de l'appareil utilisé. En deuxième lieu, les opérations de testage, de tri et de remise en marché des piles rendraient leur coût non compétitif avec les piles neuves, sans compter que les piles ont une durée de vie limitée, une proportion importante de piles devrait être éliminée en raison d'une date de péremption trop rapprochée ou dépassée.

En conséquence, le potentiel permettant la réduction à la source des piles par l'utilisation efficiente de leur potentiel énergétique réside dans leur utilisation dans une cascade d'appareils, du plus exigeant au moins exigeant. Ce potentiel peut être réalisé essentiellement dans deux domaines : le domaine institutionnel, où des cascades d'appareils peuvent être prévues et intégrées dans des procédures internes ou dans le domaine domestique, où les acheteurs de piles pourraient utiliser la tension résiduelle des piles s'ils peuvent identifier la séquence correcte des exigences de leurs appareils. Toutefois, dans l'un ou l'autre des cas, une sensibilisation et des informations factuelles sont nécessaires pour réaliser ces potentiels.

Dans l'optique d'améliorer la performance de cette filière, RECYC-Québec devrait considérer les recommandations suivantes :

- Inciter les fabricants de piles primaires à indiquer sur leurs emballages une séquence générique d'appareils avec la durée de vie des piles dans ceux-ci.
- Inciter les fabricants d'appareils à indiquer la résistance ou la tension de rupture et l'intensité nécessaire sur ceux-ci.
- Produire des outils de sensibilisation pour l'utilisation en cascade des piles au niveau domestique et institutionnel.
- Inciter les usagers à utiliser des piles secondaires lorsque l'appareil le permet.

Pour finir, des recherches plus exhaustives sur le cycle de vie des piles primaires et secondaires en considérant l'utilisation en cascade des piles primaires, et ce, dans un contexte québécois, permettraient d'apporter des éléments de réponse plus précis sur nos interrogations. De plus, une analyse plus poussée sur les émissions de GES de ces deux types de pile permettrait de mieux quantifier les impacts sur les changements climatiques de celles-ci.

RÉFÉRENCES

Canton de Vaud (1 juillet 2010). Écobilan des piles électriques. <http://www.vd.ch/fr/themes/environnement/developpement-durable/dd-au-travail/fiches-ecobilan/ecobilan-des-piles/>

Fr. Robert (1954). Physique élémentaire. Procure des frères des écoles Chrétiennes, Montréal, 932 pages.

Environnement Canada (1 juillet 2010). Le recyclage des piles au Canada. Environnement Canada, Ottawa,

<http://www.ec.gc.ca/gdd-mw/default.asp?lang=Fr&n=52DF915F-1&offset=1&toc=show>

Energizer (1 juillet 2010). How batteries work? <http://www.energizer.com/LEARNING-CENTER/Pages/how-batteries-work.aspx>

Hischier R., Classen M., Lehmann M., Scharnhorst W. (2007) Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment - Production, Use & Disposal. Final reportecoinvent Data v2.0. Volume: 18. Swiss Centre for LCI, Empa - TSL. Duebendorf and St. Gallen, CH.

Parsons D. (2007). The environmental Impact of disposable versus re-chargeable batteries for consumer use. Faculty of Engineering & Surveying, University of Southern Queensland, Toowoomba, Australia. 7 pages

Roberge Jean, (1 juillet 2010). Les piles domestiques : Fiches informatives. Recyc-Québec, Québec, www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/Fiche-piles.pdf

UNIROSS (2007). Press release: Study on the environment impact of batteries. London. <http://www.remanufacturing.org.uk/pdf/story/1p85.pdf>. 3 pages.

Zinniker R. & all (2003). Battery recycling : an other way. International Conference for Battery Recycling, Lugano, 14 pages.

Annexe 1 : Échantillons collectés

Échantillon de l'Hôpital de Dolbeau-Mistassini toutes les piles sont de nature industrielle

Départements	Types	Nombre total
Électrophysiologie	AA	107
	AAA	144
Soins de longue durée	AA	43
	AAA	29
	C	1
	D	8
Clinique externe	C	8
Réception	AA	13
	AAA	53
Physiologie	AA	15
	AAA	10
	C	1
Soins de courte durée	AA	56
	AAA	9
	C	18
	D	21
Total général		536

Échantillon industriel de l'UQAC

Départements	Nombre de Charge résiduelle (volt)
Audiovisuel	1130
9 volt	22
AA	967
AAA	95
autres	3
C	7
D	36
Meubles et équipements	709
9 volt	24
AA	477
AAA	112
autres	17
C	19
D	60
Total général	1839

Échantillons du Café Cambio

Formats de pile	Nombre de pile
9 volt	25
AA	278
AAA	106
C	23
D	30
Lithium	6
Rechargeable	1
Total général	469

Échantillon de l'îlot multimatières à l'UQAC

Formats de pile	Nombre de pile
9 volt	56
AA	643
AAA	262
C	37
D	64
Rechargeable	25
Autres	23
Total général	1110

Annexe 2 : Évaluation des GES émis par la fabrication d'une pile

Pour évaluer les GES émis par une pile primaire et secondaire, nous avons tout d'abord émis l'hypothèse que les émissions de ces piles sont similaires. La pile que nous avons modélisée est celle d'Énergizer NiMH, car nous avons les composants déjà modélisés dans Sima pro pour une pile similaire (Hischier R., 2007). Toutefois, cette pile modélisée était celle d'un ordinateur portable et donc, avait plus de composants internes que la nôtre. Ainsi, les GES émis pour 30 g de cette pile²² sont de 0,734 kg de CO₂ équivalent.

Nous avons donc créé un modèle avec les composants principaux utilisés d'une pile NiMH d'Énergizer (Tableau 1) et les composants déjà modélisés de (Hischier R., 2007).

À partir des figures 1 et 2, nous avons estimé le volume de chacun des composants. Nous avons, encore là, émis une hypothèse : tous les composants utilisent la longueur totale de la pile en utilisant un volume cylindrique ainsi que le boîtier est d'une épaisseur de 1mm et les autres de 0,5 mm. Par la suite, le logiciel nous permettait d'obtenir le poids par unité de surface du boîtier (26kg/m² pour 2 mm d'épaisseur). Ainsi, nous avons rapporté cette mesure sur un millimètre d'épaisseur et avec la densité des matériaux nous avons appliqué une règle de trois. Ainsi, nous avons obtenu la réponse suivant 0,6 kg de CO₂ éq par pile où la majorité (85%) des émissions provient de la production de l'électrode de nickel suivi du boîtier et plus précisément de l'énergie qu'ils utilisent.

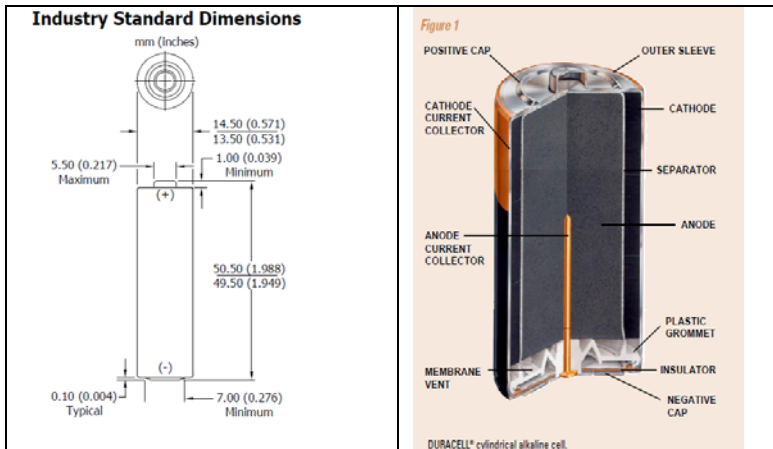
$$Surface = (Diamètre \times \pi \times longueur)$$

$$Poids = 18 \frac{kg}{m^2} \times \left(\frac{Densité\ du\ composant\ calculé}{Densité\ de\ l'acier} \right) \times Surface\ du\ composant\ calculé$$

Tableau 1 Les composants principaux de la pile et leur mesure

Composants	Densité	Mesures	Poids
Boîtier (acier)	7850 kg/m ³	0,0012 m ² X 1mm	15,0 g
Cathode (Ni)	8900 kg/m ³	0,0009 m ² X 0,5 mm	6,7 g
Isolant (polypropylène)	850 kg/m ³	0,0007 m ² X 0,5 mm	0,6 g
Anode (LaNi5)	6400 kg/m ³	0,0006 m ² X 0,5 mm	3,2 g
Électrolyte (KOH)	2040 kg/m ³	0,0005 m ² X 0,5 mm	0,8 g
Tige de laiton	8800 kg/m ³	0,0001 m ² X 0,5 mm	1,1 g
Autres (soudure)			2,7 g
		Total	30,2 g

²² Une pile rechargeable d'Énergizer à un poids de 30 g et le modèle évalue les GES par gramme de pile.



Hischier R., Classen M., Lehmann M., Scharnhorst W. (2007) Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment - Production, Use & Disposal. Final report ecoinvent Data v2.0. Volume: 18. Swiss Centre for LCI, Empa - TSL. Duebendorf and St. Gallen, CH.

Annexe 3 : Résultats de l'analyse des piles institutionnelles

Audiovisuel et immeubles et équipements

Étiquettes de lignes	Nombre de piles	Charge Moyenne (volt)	Écart type	% du nombre de pile
Audio-Visuel	1133	1,35	0,82	
9 volts	22	5,69	3,16	1,2%
AA	967	1,29	0,31	52,4%
AAA	95	1,09	0,45	5,2%
autres	6	0,93	1,50	0,3%
C	7	1,00	0,15	0,4%
D	36	1,17	0,47	2,0%
Meubles et équipements	711	1,34	0,96	
9 volts	24	4,70	3,36	1,3%
AA	477	1,21	0,39	25,9%
AAA	112	1,20	0,37	6,1%
autres	19	0,71	0,77	1,0%
C	19	1,30	0,17	1,0%
D	60	1,45	0,26	3,3%
Total général	1844	1,35	0,88	

Hôpital de Dolbeau-Mistassini

Département	Piles	Moyenne Volt	Écart type	Nombre d'échantillon
Électrophysiologie	AA	1,5	0,2	107
	AAA	1,4	0,2	144
Total Électrophysiologie		1,4	0,2	251
Soins de longue durée	AA	1,1	0,5	43
	AAA	1,0	0,4	29
	C	0,3	#DIV/0!	1
	D	0,7	0,6	8
Total Soins de longue durée		1,0		
Clinique externe	C	1,5	0,1	8
Total Clinique externe		1,5	0,1	8
Réception	AA	1,1	0,2	13
	AAA	1,1	0,3	53

Total Réception		1,1	0,3	66
Physiologie	AA	1,2	0,5	15
	AAA	0,9	0,4	10
	C	1,5	#DIV/0!	1
Total Physiologie		1,1	0,5	26
Soins de courte durée	AA	1,3	0,3	56
	AAA	1,5	0,3	9
	C	1,5	0,1	18
	D	1,1	0,5	21
Total Soins de courte durée		1,3		
Total général		1,3	0,3	536

Annexe 4 : Formule et facteurs de conversion

www.duracell.com

Formulas and Relationships:	
Cell Capacity	$Ah = I \cdot T$
Cell Energy	$Wh = PT = IVT$
Power	$P = IV = I^2R$
Resistance of a Conductor	$R = V/I$
Current (Cells in Parallel)	$I = I_1 + I_2 + \dots I_n$
Total Resistance (Cells in Parallel)	$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots 1/R_n$
Voltage (Cells in Parallel)	$V = V_1 = V_2 = \dots V_n$
Current (Cells in Series)	$I = I_1 = I_2 = \dots I_n$
Total Resistance (Cells in Series)	$R = R_1 + R_2 + \dots R_n$
Voltage (Cells in Series)	$V = V_1 + V_2 + \dots V_n$

Key:	
I =	Current expressed in amperes
V =	Electromotive force (emf) expressed in volts
P =	Power expressed in watts
R =	Resistance expressed in ohms
Wh =	Watt-hours
T =	Time expressed in hours

Electrical Conversion Factors:		
SYMBOL	UNIT	CONVERSION FACTOR
A	ampere	1 A = 1 coulomb/second
m Ω	milliohm	1 m Ω = 0.001 Ω
mA	milliampere	1 mA = 0.001 A
M Ω	megohm	1 M Ω = 1 x 10 ⁶ Ω
μ A	microampere	1 μ A = 1 x 10 ⁻⁶ A = 0.000001 ampere
nA	nanoampere	1 nA = 1 x 10 ⁻⁹ A

Ω	ohm	$\Omega = V/A$
mAh	milliampere-hour	1 mAh = 0.001 Ah
mV	millivolt	1 mV = 0.001 volts
V	volt	1 V = 1 joule/coulomb
W	watt	1 W = 1 joule/second
Wh	watt-hour	1 Wh = 3,600 joules
J	joule	1 J = 1 watt-second
kHz	kilohertz	1 kHz = 1,000 Hz

Temperature Conversion Formulas:	
Celsius $^{\circ}C$	$^{\circ}C = 5/9 (^{\circ}F - 32)$
Fahrenheit $^{\circ}F$	$^{\circ}F = 9/5 ^{\circ}C + 32$

Unit Prefixes:		
FACTOR	PREFIX	SYMBOL
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10	deka	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p