

BATTERIE, PILE ET AUTONOMIE

Richou D. Degenne, 2ohm

31 mai 2016

Table des matières

1	Introduction	5
2	Énergie et puissance	7
3	La batterie, l'alimentation et la charge	9
4	Le calcul de l'énergie fournie	11
5	Le calcul de la puissance consommée	13
5.1	Consommation moyenne connue	13
5.2	Consommation totale connue	14
6	Conclusion	17
6.1	Pour aller plus loin	17
6.2	Références	17
6.2.1	Valeurs de capacité	17
6.2.2	Valeurs de consommation	17

1 Introduction

Beaucoup de projets DIY fonctionnent sur batterie et la question de l'autonomie est bien souvent abordée au doigt mouillé. Comment estimer l'autonomie d'une batterie donnée ?

Donner une réponse précise à ces questions exige de l'expérience, **mais majorer grossièrement une autonomie est un calcul qui se fait rapidement.**

Le principe. Pour estimer l'autonomie de son projet, il faut calculer l'énergie que peut donner la batterie en tenant compte du rendement du circuit d'alimentation et la comparer à l'énergie demandée par la charge. C'est tout !

2 Énergie et puissance

Lors de la rédaction de ce tuto, j'ai commencé par confondre **l'énergie et la puissance**. Cela vaut peut être le coup d'éclaircir la différence qui existe entre ces deux grandeurs.

L'énergie est définie par [Wikipédia](#) comme “la capacité d'un système à produire un travail”, c'est-à-dire à “entraîner un mouvement ou [à produire] par exemple de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité”. Vous pouvez aussi vous dire que l'intuition que vous en avez est certainement la bonne. Retenez qu'elle peut s'exprimer en wattheures (Wh) ou en Joules ($1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$).

La puissance, elle, donne la quantité d'énergie qui est produite ou consommée par unité de temps. Elle s'exprime en watts (W).

Prenons l'exemple d'une ampoule d'une puissance de 60 W. Si elle reste allumée 1h, elle aura consommé 60 Wh d'énergie ; si elle reste allumée 2h, elle en aura consommé 120 Wh. Sa puissance reste toujours la même alors que l'énergie qu'elle consomme augmente avec le temps.

3 La batterie, l'alimentation et la charge

Quelque soit le projet dont vous désirez jauger l'autonomie, vous devriez pouvoir le séparer en 3 modules : la batterie, le circuit d'alimentation et la charge.

La batterie, c'est... la batterie ! C'est ce qui stocke l'énergie. Elle est caractérisée par une capacité C_{batt} , souvent donnée en milliampères-heures (mAh), et une tension U_{batt} donnée en volts (V). Remarque au passage, batterie ou pile, je ne fais pas la différence.

Le circuit d'alimentation est ici le circuit électronique placé juste après la batterie. Il modifie sa tension, la stabilise, etc. Le rendement R de ce circuit donne le pourcentage d'énergie qui n'est pas dissipé pendant ces transformations. Ce circuit d'alimentation est aussi caractérisé par une tension de sortie U_{alim} qui peut être différente de celle de la batterie.

La charge, c'est tout le reste, autrement dit tout ce que doit alimenter la batterie. Sa consommation est supposée connue (cf. ci-dessous) et elle est caractérisée par une tension d'entrée U_{charge} (en volts, V). Cette tension est supposée égale à U_{alim} .

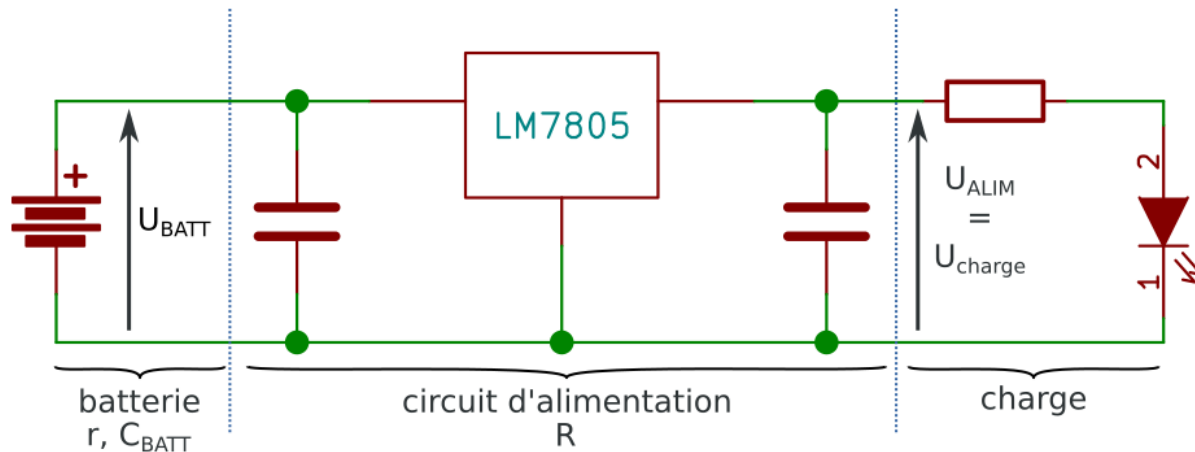


Figure 3.1 – Exemple de circuit où les 3 modules sont bien identifiés.

[[information]] | **Remarque** | Parfois, le circuit d'alimentation et la charge sont indissociables. Dans ce cas là, à défaut d'avoir plus d'informations, on prend $U_{\text{charge}} = U_{\text{batt}}$ et $R = 1$. | **Exemple.** Un Arduino directement alimenté par une pile. Le circuit qui régule et stabilise la tension est intégré à l'Arduino.

4 Le calcul de l'énergie fournie

La première étape consiste à estimer quelle est l'**énergie totale** que peut fournir la batterie en tenant compte du circuit d'alimentation.

Or, comme expliqué dans la partie précédente, une batterie est caractérisée par la tension U_{batt} qu'elle délivre (en volt, V) et sa capacité C_{batt} (en milliampère-heure, mAh). La quantité d'énergie E_{batt} stockée par la pile en milliwatt-heure (mWh) est égale au produit de ces deux grandeurs.

$$E_{\text{batt}} = C_{\text{batt}} \times U_{\text{batt}}$$

Par exemple, des piles nickel-hydrure métallique (NiMH) rechargeables offrent une tension de 1,2 V et ont une capacité de 3000 mAh. Elles stockent donc en théorie 3600 mWh chacune.

[[attention]] | Rien de grave, mais prenez garde aux unités ;) | | C_{batt} en **mAh** et U_{batt} en **V** donne E_{batt} en **mWh**. | | C_{batt} en **Ah** et U_{batt} en **V** donne E_{batt} en **Wh**.

Mais attention, la capacité indiquée sur les piles est la capacité lorsque le courant est faible. S'il ne l'est pas, la capacité réelle est plus petite, elle est égale à une fraction r de la capacité annoncée.¹ Ce facteur r dépend des batteries. Quelques valeurs sont données dans le tableau suivant.

Type	Rendement à fort courant r
Pile alcaline	75 %
Pile nickel-hydrure métallique (NiMH)	80 %
Batterie lithium-polymère (LiPo)	100 %

(Ces chiffres sont des estimations empiriques, voir référence [1])

Aussi, votre circuit d'alimentation peut faire intervenir un convertisseur dont le rendement R n'est sûrement pas 100 %. Par exemple, dans le **MintyBoost**, un chargeur à pile bien pratique d'Adafruit, la tension est relevée à 5 V par un **LT1302** au rendement d'environ 80 % ; il faut en tenir compte !

Ainsi, la formule finale pour calculer l'énergie totale fournie est :

$$E_{\text{fournie}} = r \times R \times C_{\text{batt}} \times U_{\text{batt}}$$

Le tableau suivant donne quelques valeurs d'énergie fournie pour quelques batteries courantes.

1. Cette diminution est sûrement due à la résistance interne de la batterie et à la dissipation par effet Joule.

4 Le calcul de l'énergie fournie

Batterie	Tension U_{BATT}	Capacité C_{BATT}	Énergie fournie E_{fournie}
Pile 9V (alkaline)	9 V	565 mAh	3815 mWh
Pile rechargeable NiMH AA	1,2 V	3000 mAh	2880 mWh
Batterie LiPo	3,7 V	2500 mAh	9250 mWh

(voir référence [2])

5 Le calcul de la puissance consommée

Maintenant que l'énergie totale que peut fournir la batterie et le circuit d'alimentation est connue, la deuxième étape consiste à calculer **la puissance consommée par le projet**. Deux cas sont possibles en fonction des informations disponibles :

- (cas général) **la consommation moyenne** de la charge est connue,
- (cas particulier) **la consommation totale** de la charge est connue.

[[information]] | **Consommation moyenne** : courant instantané moyen consommé par votre projet. Il se mesure en **A** ou en **mA**. | **Consommation totale** : totalité du courant consommé par votre projet pendant toute sa durée de fonctionnement. Comme pour une capacité, il se mesure en **Ah** ou en **mAh**. | La consommation moyenne et la consommation totale sont reliées. Un Arduino UNO R3 à une consommation moyenne de 50 mA. Si il a fonctionné pendant 10h, il aura eu une consommation totale de 500mAh.

5.1 Consommation moyenne connue

Dans la plupart des cas, vous pouvez connaître **la consommation moyenne** I_{charge} de la charge. En effet, soit vous l'avez mesurée avec un ampèremètre (ce qui est mieux), soit elle vous est donnée par le constructeur ou la littérature. Par exemple, la consommation moyenne d'un Arduino UNO R3 au repos est de 50 mA. (cf. tableau ci-dessous)

En multipliant I_{charge} (en mA) par la tension d'alimentation U_{charge} (en V), vous obtenez la puissance moyenne P_{charge} (en mW) consommée par la charge de votre projet.

$$P_{\text{charge}} = U_{\text{charge}} \times I_{\text{charge}}$$

Le tableau suivant donne la puissance moyenne consommée pour quelques cas classiques.

Charge	Alimentation		
	U_{charge}	I_{charge}	P_{charge}
Arduino UNO R3	5 V	50 mA	250 mW
Arduino Pro mini (5 V)	5 V	19,9 mA	99,5 mW

Charge	Alimentation		
	U_{charge}	I_{charge}	P_{charge}
Arduino Pro mini (3,3 V)	3,3 V	4,74 mA	15,7 mW
Raspberry Pi A+	5V	180 mA	900 mW
Raspberry Pi B+	5V	320 mA	1600 mW
Raspberry Pi 2 B	5V	750 mA	3750 mW
Raspberry Pi 3 B	5V	850 mA	4250 mW

(voir références [3], [4] et [5])

L'**autonomie théorique** t_{th} (en heure, h) s'obtient directement en divisant l'énergie fournie par la puissance moyenne consommée.

$$t_{\text{th}} = \frac{E_{\text{fournie}}}{P_{\text{charge}}}$$

Le tableau suivant donne l'autonomie théorique pour quelques cas classiques.

Charge	Batterie	E_{fournie}	P_{charge}	Autonomie théorique
Arduino UNO R3	Pile 9V (alkaline)	3815 mWh	250 mW	15 h
Arduino UNO R3	Batterie LiPo	9250 mWh	250 mW	37 h
Raspberry Pi A+	Batterie LiPo	9250 mWh	900 mW	10 h

5.2 Consommation totale connue

Exceptionnellement, vous connaissez la **consommation totale** C_{charge} de la charge. C'est un cas marginal mais qui arrive parfois à l'exemple du [MintyBoost](#) déjà cité où les piles servent à recharger un smartphone. Dans cette situation, la consommation totale est égale à la capacité de la batterie à recharger.

En multipliant cette consommation (en mAh) par la tension d'alimentation U_{charge} (en V), vous obtenez l'**énergie totale** $E_{\text{charge, tot}}$ (en mWh) demandée par votre projet.

$$E_{\text{charge, tot}} = C_{\text{charge}} \times U_{\text{charge}}$$

L'autonomie de votre projet, ici donnée par le nombre de fois N où sa consommation totale est

couverte par votre batterie et son alimentation, s'obtient en divisant l'énergie fournie par l'énergie consommée totale.

$$N = \frac{E_{\text{fournie}}}{E_{\text{charge, tot}}}$$

6 Conclusion

La question de l'autonomie est toujours une question délicate. Espérons au moins que cet article vous aidera à mieux définir vos besoins en batterie mais n'oubliez pas que les calculs présentés ici ne donnent qu'une **majoration** de l'autonomie réelle. En pratique, celle-ci sera certainement inférieure.

-> ~20hm ->

-> Cet article est une version adaptée pour zds. (*version originale*) ->

6.1 Pour aller plus loin

La méthode présentée dans cet article est une méthode grossière pour estimer l'autonomie de son projet. Physiquement, il y a beaucoup de paramètres différents dont il faudrait tenir compte pour être plus rigoureux. Mais en pratique, obtenir une estimation précise est si difficile à calculer qu'il est tout simplement préférable de la mesurer ! Si toute fois vous êtes curieux d'en apprendre plus sur ces fameux paramètres, je vous conseille la vidéo suivante : [EEVblog #140 - Battery Capacity Tutorial](#). (vidéo elle-même suggérée par [Aabu](#), merci à lui :)

6.2 Références

- [1] [Adafruit](<https://learn.adafruit.com/minty-boost/batteries>) - page sur le Minty-Boost.

6.2.1 Valeurs de capacité

- [2] [Piles 9V](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pile_9_volts) (Wikipédia) - capacité des piles 9V.

6.2.2 Valeurs de consommation

- [3] [Gadget Makers' blog](<http://gadgetmakersblog.com/arduino-power-consumption/>) - mesure de la consommation d'un Arduino Uno R3.
- [4] [Home Automation Community](<http://www.home-automation-community.com/arduino-low-power-how-to-run-atmega328p-for-a-year-on-coin-cell-battery/>) - étude de la consommation de l'Arduino Pro mini.
- [5] [FAQ Raspberry Pi](<https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#powerReqs>) - informations sur la consommation des différents modèles de Raspberry Pi.

-> Merci à [Aabu](#) et à [rezemika](#) pour leur relecture, à [Arius](#) et à [Richou D. Degenne](#) pour leur travail de validation ! ->