



Bcma

Rapport d'étude Electrificateurs de clôture

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier les éleveurs que j'ai eu l'occasion de rencontrer durant cette étude pour la confiance qu'ils ont su m'accorder lors des mesures sur leurs clôtures. Je voudrais plus particulièrement témoigner ma reconnaissance à Mr et Mme Delpech ainsi qu'à leurs filles pour leur chaleureux accueil.

Je remercie également les constructeurs d'électrificateurs de clôture pour la mise à disposition de leurs matériels, notamment les sociétés *Patura* et *Gallagher* qui m'ont fourni également les différents appareils de mesure.

Enfin je remercie Mr Tosolini pour ses conseils avisés quant à la réalisation pratique de cette étude, ainsi que Mr Strohl et Mme Luye pour la relecture de ce présent rapport.

Sommaire

1.	Description	1
1.1.	La clôture électrique	1
1.1.1.	<i>L'électrificateur</i>	1
1.1.2.	<i>Les conducteurs</i>	2
1.1.3.	<i>Les isolateurs</i>	2
1.1.4.	<i>La prise de terre</i>	2
1.1.5.	<i>Fonctionnement global</i>	2
1.2.	Le vocabulaire utilisé	4
1.2.1.	<i>L'impédance</i>	4
1.2.2.	<i>La tension</i>	4
1.2.3.	<i>Le courant</i>	5
1.2.4.	<i>L'énergie électrique</i>	6
1.2.5.	<i>L'électrificateur UBI</i>	8
2.	Essais de terrain	10
2.1.	Le contexte de l'étude	10
2.2.	Le protocole d'expérimentation	10
2.3.	Le matériel de mesure utilisé	11
2.4.	Les différents sites retenus	11
2.5.	Les électrificateurs testés	12
2.6.	Les résultats	13
2.6.1.	<i>Montmorillon</i>	14
2.6.2.	<i>Fargues</i>	16
2.6.3.	<i>Fargues (800 mètres)</i>	18
2.6.4.	<i>Mirecourt</i>	20
3.	Commentaires	22
3.1.	Energie maximale mesurée	22
3.2.	Tension à vide et tension en charge	23
3.2.1.	<i>Idées reçues</i>	23
3.2.2.	<i>Le Joulemètre</i>	24
3.3.	Répartition de l'énergie	25
3.3.1.	<i>Charges en série</i>	25
3.3.2.	<i>L'intérêt de l'UBI ?</i>	28
3.4.	<i>La double impulsion</i>	30
3.5.	<i>Influence des conditions de mesure</i>	30
3.6.	<i>La modélisation électrique</i>	31
4.	Conclusion	31
5.	Annexes	32
5.1.	<i>Annexe 1 : Protocole d'expérimentation</i>	32
5.2.	<i>Annexe 2 : Validation du matériel par l'APAVE</i>	35
5.3.	<i>Annexe 3 : Méthode de calcul</i>	36
5.4.	<i>Annexe 4 : Répartition de l'énergie</i>	37
5.5.	<i>Annexe 5 : Fiche détaillée de chaque électrificateur</i>	38

1. Description

Ce rapport rend compte des essais de terrain réalisés durant l'été 2008 par le BCMA en collaboration avec l'IAMM sur les électrificateurs de clôture. Ces essais doivent permettre de mieux apprécier le danger lié à l'utilisation d'électrificateurs en situation réelle.

Avant d'aborder les raisons qui ont amené cette étude, ainsi que les résultats obtenus, il paraît bon de rappeler simplement ce qu'est une clôture électrique, afin d'en comprendre le fonctionnement global, et de redéfinir également certains termes utilisés par les constructeurs. En effet, les notions de « tension », de « joules » ou encore de « charge » sont abondamment employées dans leurs catalogues.

1.1. La clôture électrique

La clôture électrique est de nos jours de plus en plus répandue et permet la contention des animaux, ou au contraire assure la protection des cultures face aux animaux « nuisibles ». Contrairement à une barrière physique telle que les clôtures en barbelés, la clôture électrique constitue une barrière psychologique pour l'animal. En effet, son efficacité repose sur le respect qu'inspire à l'animal la décharge électrique qu'il reçoit en touchant la clôture et qui lui fait ressentir une douleur. Ces décharges sont normalement sans danger pour l'animal, mais aussi pour l'homme.

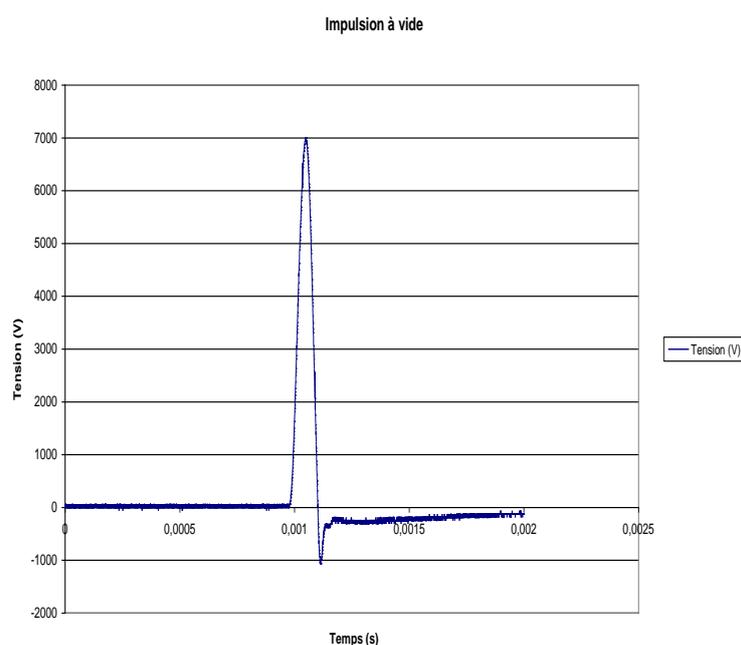
Le « système clôture électrique » est composé de plusieurs éléments :

- Un électrificateur
- Des conducteurs
- Des isolateurs
- Une prise de terre

C'est le bon fonctionnement de l'ensemble de ces éléments qui assure la qualité d'une clôture.

1.1.1. *L'électrificateur*

Un électrificateur est l'élément qui produit à partir d'une source d'énergie quelconque (secteur, panneau solaire, ou batterie) des impulsions électriques régulières qui vont se propager sur la clôture. On utilise des impulsions de courant, et non du courant continu (pile) ou du courant alternatif (secteur) pour éviter, lors d'un contact avec la clôture, que la personne ou l'animal ne reste « collé » à celle-ci. En effet, ces impulsions durent en moyenne moins d'une milliseconde et permettent de lâcher ou de s'écarter du fil par réflexe. Une impulsion est envoyée environ chaque seconde. Il faut noter que ces impulsions sont à haute tension et peuvent atteindre plus de 10000 Volts. C'est leur faible durée, ainsi que leur fréquence de répétition, qui assure la sécurité du système.



1.1.2. Les conducteurs

Ce sont les éléments qui permettent de véhiculer les impulsions sur toute la longueur de la clôture. Bien entendu il faut que ces conducteurs utilisent le moins d'énergie possible. Il en existe de nombreux types, que ce soit en fil ou en ruban, avec des caractéristiques plus ou moins performantes, il faut donc veiller à adapter le choix des conducteurs au besoin de la clôture.

1.1.3. Les isolateurs

Ils permettent d'isoler le fil de clôture du sol pour que l'énergie délivrée par l'électrificateur ne soit pas perdue inutilement. Les piquets qui maintiennent le fil de clôture doivent avoir la meilleure isolation possible. Tous les raccords et fixations à ces piquets engendrent des pertes et plus ces éléments seront isolants, moins les pertes seront importantes et donc plus la clôture sera rendue efficace. La qualité des conducteurs et isolateurs est particulièrement importante dans le cas d'une longue, voire très longue clôture.

1.1.4. La prise de terre

La prise de terre est un élément **primordial** dans une clôture électrique.

C'est elle qui permet le « retour » de l'impulsion à l'électrificateur lors d'un contact avec le fil ; à la manière d'une antenne, elle « capte » quelque peu l'impulsion qui passe alors par la terre. Physiquement, la prise de terre n'est autre que des piquets métalliques plantés dans le sol, reliés à la sortie « terre » de l'électrificateur. La qualité d'une prise de terre dépend donc du nombre de piquets et de la longueur enfouie dans le sol, mais également des caractéristiques intrinsèques du sol. En effet un sol sec, sablonneux, ou pierreux est par exemple très mauvais conducteur. Il faut noter que même les électrificateurs les plus puissants du marché sont inefficaces si la prise de terre n'est pas bonne.

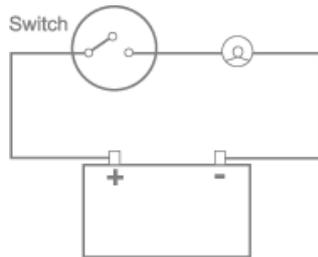
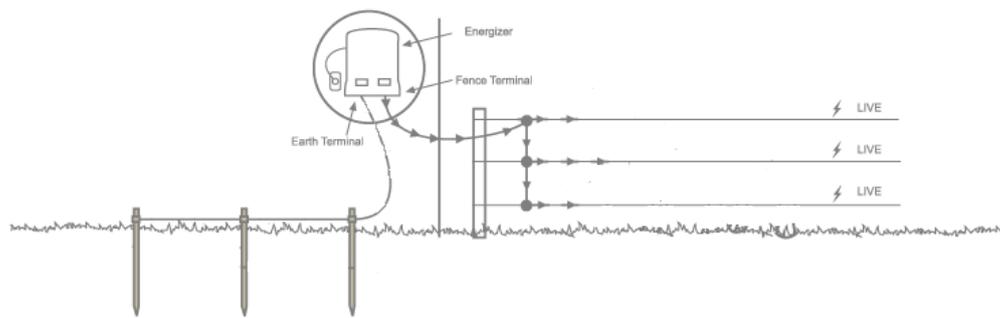
Enfin il faut préciser que la prise de terre d'une clôture électrique doit être totalement indépendante de celle de l'exploitation !

1.1.5. Fonctionnement global

Les éléments constituant une clôture électrique étant définis, nous allons maintenant décrire ce qui se passe lors d'un contact animal avec le fil de clôture.

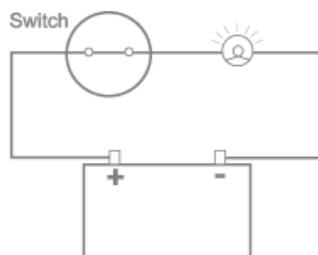
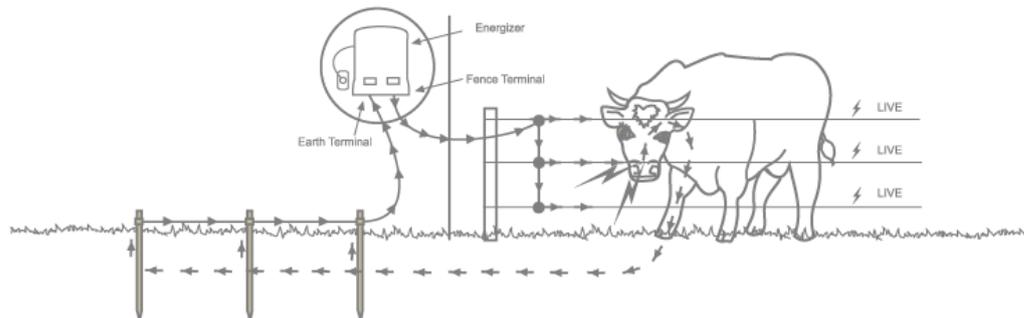
Nous savons que pour qu'un courant circule dans un circuit électrique il faut que celui-ci soit fermé. On dit qu'un circuit est « fermé » lorsque le courant peut trouver un chemin de la borne positive du générateur à la borne négative. Par exemple lorsque l'on actionne un interrupteur d'une lampe, celle-ci s'allume : le circuit est alors fermé et il y a circulation du courant. Dans le cas contraire, on dit que le circuit est ouvert, le courant ne peut pas circuler. Dans la théorie, le principe est le même pour une clôture : le circuit est ouvert et ce n'est que lorsqu'un animal vient en contact avec la clôture qu'il ferme le circuit. L'animal fait alors partie intégrante du circuit et c'est pour cela qu'un courant le traverse et qu'il reçoit donc une décharge électrique.

- Circuit ouvert



Ici le circuit est dit ouvert, la lampe ne brille pas, il n'y a donc pas de courant qui circule, et il n'y a pas de retour de l'impulsion à l'électrificateur.

- Circuit fermé



Ici l'animal vient fermer le circuit, la lampe brille, le courant circule, et l'impulsion revient donc à l'électrificateur. Le courant passant par l'animal, celui-ci ressent l'impulsion électrique.

On comprend maintenant l'utilité de la prise de terre, puisqu'en son absence, le courant ne serait pas capté et ne reviendrait pas à l'électrificateur : le circuit serait alors ouvert malgré le contact de l'animal, et le courant ne circulant pas, l'animal ne recevrait donc aucune décharge électrique.

1.2. Le vocabulaire utilisé

Les constructeurs utilisent de nombreux termes techniques qui ne sont pas forcément faciles à comprendre et qui prêtent parfois à confusion. Cette partie n'a pas pour vocation de définir clairement des notions telles que la tension ou l'énergie par exemple, mais plutôt de préciser certains points pour ainsi éviter toute idée reçue.

1.2.1. *L'impédance*

La résistance électrique exprime l'opposition que présente un conducteur au passage d'un courant électrique continu. L'impédance est simplement une généralisation de la notion de résistance électrique qui est utilisée pour tous types de courant (alternatif, ou impulsionnel par exemple). Cette opposition s'accompagne d'une perte d'énergie par dégagement de chaleur. L'unité de mesure d'une impédance ou d'une résistance est l'« Ohm ». Comme nous l'avons dit, un électrificateur ne produit pas du courant continu, mais une impulsion de courant, la notion d'impédance est donc mieux adaptée. Par abus de langage, les termes de résistance et d'impédance sont souvent confondus, et la nuance entre ceux-ci n'a que peu d'intérêt pour la compréhension de la suite de ce document. En revanche, on utilise souvent les expressions « impédance de charge », ou « charge ». Celles-ci expriment le fait que l'on vienne connecter une résistance (ou impédance) sur un circuit donné. On dit qu'on vient alors « charger » le circuit par cette résistance. Ce qu'il faut surtout retenir, c'est que le corps humain ou celui d'un animal présente une certaine résistance au passage d'un courant électrique, et celle-ci peut donc être *modélisée* par une valeur de résistance électrique mesurée en Ohms. Par exemple, la valeur moyenne utilisée par certains constructeurs, pour modéliser la résistance du corps d'un animal est de 1000 Ohms. (Voir § 3.2.2)

1.2.2. *La tension*

La tension représente la force qui va mettre en mouvement les électrons et ainsi permettre la création d'un courant. Elle se mesure en volts. Sans tension, et donc sans force motrice, il n'y a pas de courant. Attention en revanche, l'inverse est parfaitement possible : on peut avoir une tension et pas de courant, c'est d'ailleurs exactement ce qu'il se passe dans le cas d'une clôture électrique sans contact.

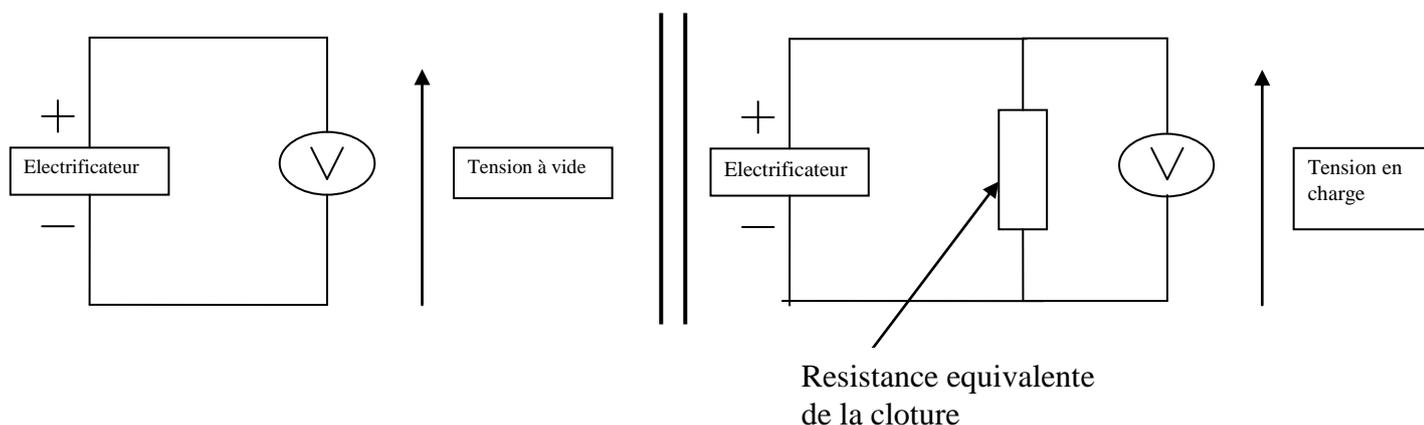
On peut tout d'abord rappeler qu'une tension est une *différence* de potentiel ; ainsi, lorsqu'on mesure la tension sur une clôture électrique, on mesure bien la différence entre le potentiel de la clôture et le potentiel de la terre, qui sert donc de référence. Par analogie, lorsqu'on donne une altitude en mètres, c'est bien une différence d'altitude qui est mesurée par rapport à une référence, celle-ci étant généralement le niveau de la mer.

Pourquoi utiliser des hautes tensions ?

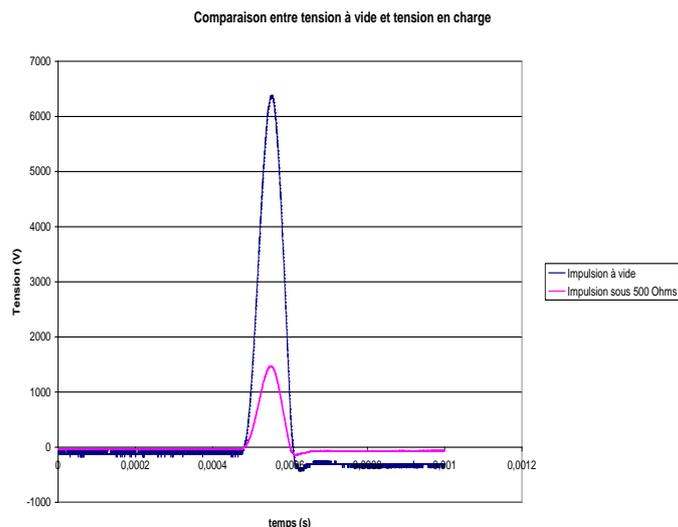
Nous l'avons dit, les impulsions créées par l'électrificateur peuvent atteindre des pics de plus de 10000 Volts. Il est nécessaire d'avoir une tension importante pour que l'impulsion puisse « passer » à travers le corps de l'animal. A la manière d'un éclair qui ne peut traverser le ciel lors d'un orage que lorsque la tension entre les nuages et le sol est très élevée. De plus, de telles tensions permettent à l'animal de « sentir » l'impulsion, et ceci avant même de toucher le fil de clôture.

Tension à vide ou tension en charge ?

La tension « à vide » est la tension que l'on mesurerait en branchant un voltmètre directement aux bornes de l'électrificateur. Cependant cette tension n'a que très peu d'intérêts pratiques, puisque l'électrificateur ne fonctionne jamais à vide, mais toujours en ayant pour charge la clôture. Autrement dit, la clôture présente forcément une certaine résistance au passage du courant ; lorsque l'électrificateur est raccordé à la clôture, on constate que la tension mesurée, qui est donc la tension en charge, est différente de la tension à vide dans la plupart des cas.

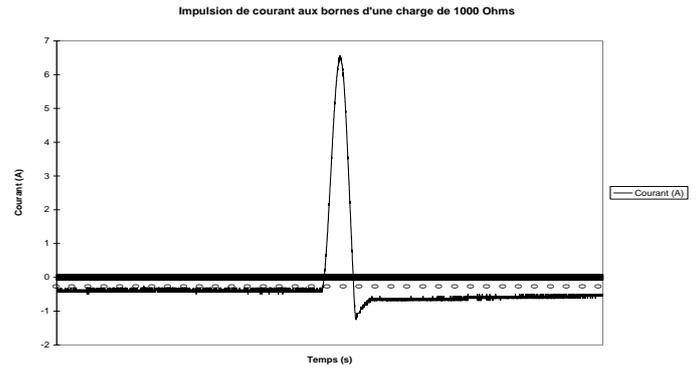
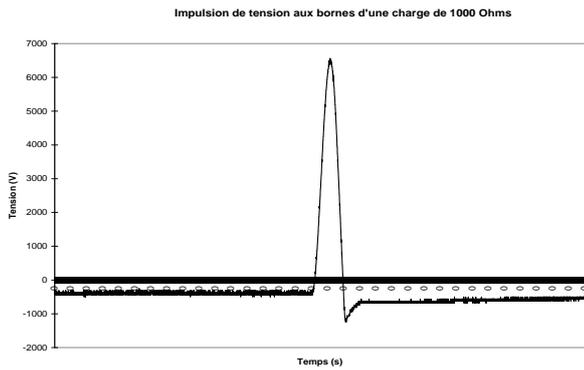


On peut voir ci-contre la chute de tension enregistrée au niveau de l'impulsion à vide, lorsque l'on vient connecter une charge de 500 ohms à l'électrificateur. Nous verrons d'ailleurs que cette mesure à vide sur le fil de clôture pour vérifier le bon fonctionnement peut parfois être trompeur. (Voir § 3.2.1)



1.2.3. Le courant

Le courant est un déplacement d'électrons et est donc l'effet produit par la présence d'une tension. L'intensité du courant se mesure en ampères. Il faut comprendre que c'est bien le passage du courant à travers le corps, et non la tension qui produit la douleur chez l'homme ou l'animal. En d'autres termes : « *La tension ne vous dit pas si la décharge que vous allez recevoir est dangereuse ou pas, elle vous dit juste que vous allez recevoir une décharge. C'est l'intensité qui vous dit si c'est dangereux ou pas.* » Rappelons cependant que le courant ne circule que lorsque le circuit est fermé.



La relation aux bornes d'une charge résistive (par exemple un corps humain, ou d'animal, en simplifiant..) entre le courant et la tension est donnée par :

- $U = R \times I$

Où -*U* est la tension en Volts
 -*I* est le courant en Ampères
 -*R* est la résistance en Ohms

On peut observer ci-dessus les impulsions de tension et de courant sous une charge résistive de 1000 Ohms.

Contrairement aux idées reçues, ce n'est pas parce que le courant qui circule dans le corps est limité par l'électrificateur, que ce dernier n'est pas dangereux. En effet, on peut constater que le pic de courant de l'impulsion ci-dessus est proche des 7 ampères, ce qui correspond à un courant très important. Il faut noter qu'un courant continu de seulement 1 ampère durant 1 seconde peut être mortel. C'est en fait dans l'association de la tension, du courant et du temps d'exposition à ces valeurs de tension et de courant, que l'on juge du danger lié aux effets électriques. Tout ceci nous amène donc à définir ce qu'est l'énergie électrique.

1.2.4. L'énergie électrique

- *La puissance électrique*

Avant de définir l'énergie, il est nécessaire de préciser ce qu'est une puissance électrique. La puissance électrique s'exprime en Watts, et est définie comme le produit d'une tension et d'un courant, soit :

- $P = U \times I$

On peut comparer la puissance électrique à la puissance d'un moteur qui s'exprimerait en chevaux. On a d'ailleurs la relation 1 cheval = 736 Watts. La puissance est très peu utilisée lorsque l'on parle d'électrificateurs, mais sa définition est primordiale pour aborder ce qu'est le Joule, unité préférée des constructeurs.

- *L'énergie électrique*

L'énergie électrique s'exprime en Joules. Un joule correspond à un watt utilisé pendant une seconde. Autrement dit, une énergie exprime un certain niveau de puissance, utilisé pendant un certain temps. Dans un langage mathématique, cela se traduit par :

$$\blacksquare E = U \times I \times t \quad (\text{avec } t \text{ en secondes})$$

Par exemple, lorsqu'on utilise une lampe de 15 Watts, cela équivaut à dire qu'elle utilise une puissance de 15 Joules par seconde. Elle aura donc utilisé au bout d'une heure $15 \times 3600 = 54\,000$ Joules. On comprend pourquoi EDF préfère utiliser le KilowattsHeure, unité d'énergie bien plus pratique pour facturer l'énergie électrique ($1\text{kWh} = 3\,600\,000$ Joules).

- *Le joule, unité trompeuse*

Il convient cependant de faire attention lorsque l'on manie des énergies en Joules. En effet, l'énergie d'impulsion d'un électrificateur est donnée en Joules la plupart du temps, mais cette unité n'est pas forcément adéquate pour comparer des électrificateurs en terme d'efficacité. Prenons l'exemple suivant :

- ✓ Electrificateur A : -Energie de l'impulsion : 4,5 Joules
-Durée de l'impulsion : 0,0003 s
-Tension : 5000 Volts
- ✓ Electrificateur B : -Energie de l'impulsion : 4,5 Joules
-Durée de l'impulsion : 0,0006 s
-Tension : 5000 Volts

Si on calcule le courant résultant pour ces deux électrificateurs, on obtient :

- ✓ Electrificateur A : $P = 4,5 / 0,0003 = 15000$ watts
 $I = 15000 / 5000 = 3$ A
- ✓ Electrificateur B : $P = 4,5 / 0,0006 = 7500$ watts
 $I = 7500 / 5000 = 1,5$ A

On constate qu'à énergie de sortie égale, l'électrificateur B fournit deux fois moins de courant, ce qui se comprend puisque celui-ci fournit son énergie en deux fois plus de temps. Ainsi, si on comparait ces deux électrificateurs sur une même base de temps, l'électrificateur B ne serait en fait qu'à $4,5 / 2 = 2,25$ Joules en énergie de sortie.

On peut d'ores et déjà parler de l'aspect réglementaire. En effet, la législation impose aux électrificateurs de présenter une énergie de sortie de 5 Joules sous une charge de 500 Ohms. Cela donne le choix aux constructeurs de développer de très importantes puissances sur des durées très courtes ou inversement d'utiliser des puissances moyennes sur des durées d'impulsions plus longues. Les technologies actuelles tendent à utiliser de plus en plus des impulsions ultracourtes.

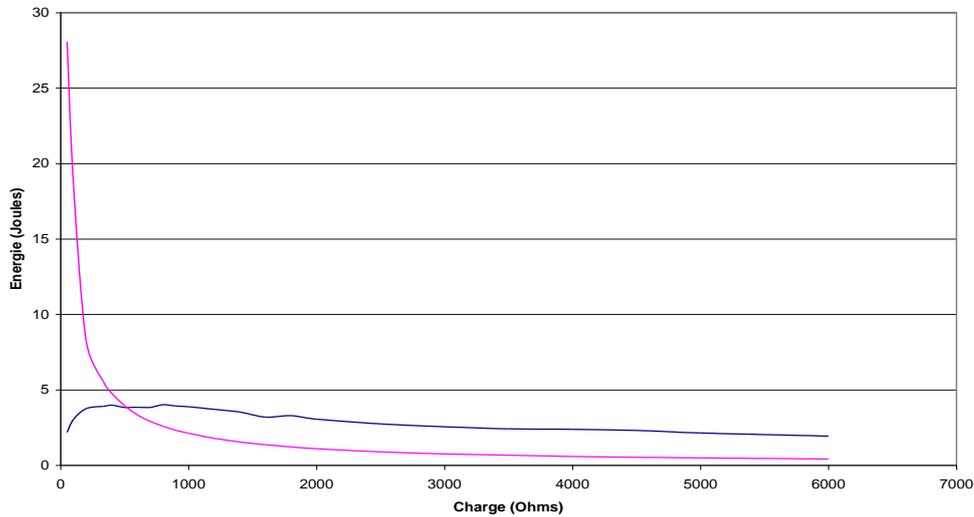
Energie stockée et énergie délivrée ?

Ce sont deux indications le plus souvent fournies par les constructeurs d'électrificateurs, qui ne présentent pas toutes les deux un intérêt. En effet, autant l'énergie délivrée est significative pour l'utilisateur, autant l'énergie stockée apparaît plus comme un argument commercial. On pourrait même dire qu'à énergie délivrée égale, l'électrificateur le moins performant en terme de consommation électrique et de technologie est celui qui a l'énergie stockée la plus élevée.

1.2.5. L'électrificateur UBI

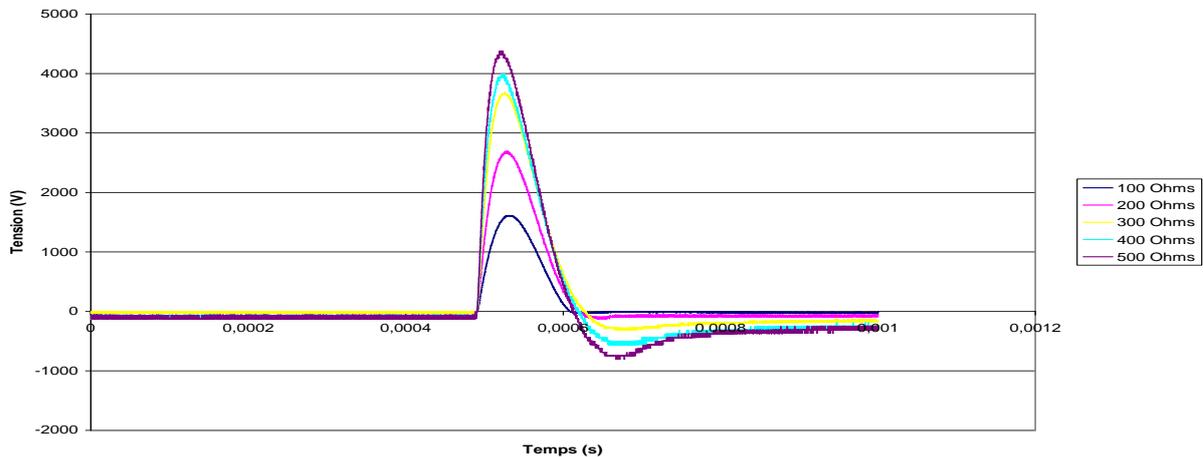
Globalement, il existe deux grand types d'électrificateurs : ceux dits à «Ultra Basse Impédance» (UBI) et les autres à «Basse Impédance» (BI). Cette distinction provient de la différence entre l'énergie qui est délivrée par l'électrificateur, selon sa charge, énergie qui, comme nous allons le voir n'est pas constante en fonction de la charge qui se trouve entre ses bornes.

Comparaison entre un électrificateur UBI et non UBI



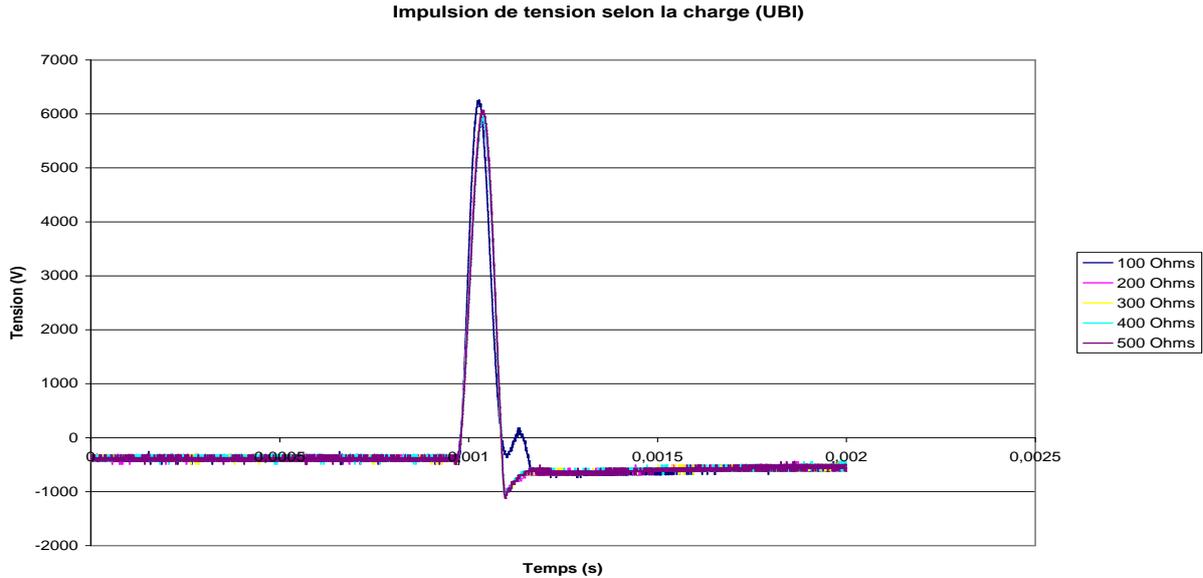
- *Fonctionnement en tension*
 - Electrificateur non UBI

Impulsion de tension selon la charge (Non UBI)



Le graphique ci-dessus montre les différentes impulsions de tension enregistrées pour diverses valeurs de charges. On constate, comme nous l'avons déjà vu, qu'une chute de tension apparaît et ceci d'autant plus que la charge est faible. Par exemple le pic de tension sous une charge de 100 Ohms n'est plus qu'à 1500 Volts environ.

- Electrificateur UBI



Nous avons ci-dessus, les impulsions de tension d'un électrificateur UBI. On constate que toutes ces impulsions sont quasiment confondues, et qu'il n'y a pas de chute de tension. Cela est dû au fait que l'électrificateur s'adapte et fournit alors plus d'énergie, pour pouvoir maintenir le même niveau de tension.

- *Fonctionnement en énergie*

Pourquoi le fait de maintenir une même tension, pour des charges différentes implique-t-il une hausse d'énergie ? Pour comprendre, il faut revenir à la définition même de l'énergie :

- $E = U \times I \times t$

Or nous savons également que $U = R \times I$ ou encore $I = \frac{U}{R}$

Si on injecte cette relation dans celle de l'énergie, on obtient :

- $E = \frac{U^2}{R} \times t$

Or dans cette équation nous avons vu que, pour les UBI, U restait constant, et de même t qui exprime la durée de l'impulsion, reste constant. Dans ce cas, l'énergie est alors inversement proportionnelle à la charge, autrement dit, plus R diminue, plus E doit augmenter pour satisfaire l'équation. C'est donc pour cela que l'énergie en basse impédance des appareils UBI augmente considérablement, contrairement à celle des appareils BI, ceci afin de maintenir une tension d'impulsion constante, même sous des faibles charges.

D'un point de vue technique, cette énergie maximale délivrée pour des basses impédances sous-entend que l'impédance interne de ce type d'électrificateurs est très faible. En effet, l'énergie maximale est délivrée lorsque l'impédance interne de l'électrificateur est égale à sa charge. On dit qu'il y a alors « adaptation d'impédance » en puissance.

Les notions et termes utilisés dans la suite de ce document étant définis, nous pouvons aborder les raisons de cette étude, ainsi que les résultats obtenus lors des mesures de terrain.

2. Essais de terrain

2.1. Le contexte de l'étude

Les électrificateurs vendus en France sont soumis à une réglementation basée sur une norme qui limite leur énergie de sortie à 5 Joules sous une charge de 500 Ohms. Cette norme a récemment été modifiée pour limiter maintenant cette énergie à 5 Joules sur la plage de résistance de charge de 50 à 500 Ohms et pour limiter également le pic de courant à une intensité de 20 ampères.

Comme nous l'avons vu, les électrificateurs UBI ne respectent pas cette nouvelle norme et seraient donc exclus du marché français si la réglementation s'appuyait sur cette nouvelle norme. En effet, certains électrificateurs UBI présentent des énergies de plus de 25 Joules dans cette plage de résistance de charge. Cependant, l'énergie reçue en situation réelle, c'est-à-dire lors d'un contact avec un fil de clôture électrifié avec un système de retour par le sol, est difficilement prévisible, compte tenu des pertes engendrées par l'installation, notamment au niveau de la prise de terre.

A la demande du ministère de l'agriculture, une mission a été confiée à l'IAMM (Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier) sur les électrificateurs, le multiusage et la sécurité des personnes⁽¹⁾. Dans le cadre de cette mission, le BCMA a souhaité la réalisation d'essais de terrain, pour connaître concrètement les niveaux d'énergie que peut recevoir le corps humain lors d'un contact avec une clôture, dans la plage de résistance concernée par cette nouvelle norme.

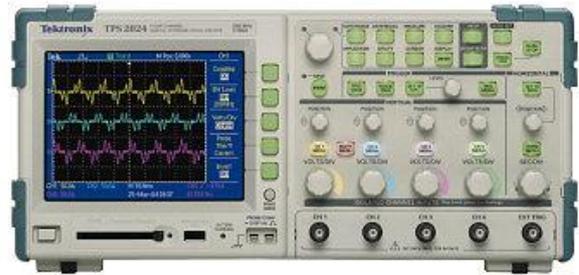
2.2. Le protocole d'expérimentation

Un protocole d'essai, validé par l'APAVE, a été proposé par l'IAMM aux différents constructeurs d'électrificateurs. L'objectif est de déterminer les énergies reçues sous diverses valeurs de charge, et ceci en différents points de la clôture. Concrètement, cela se traduit par mesurer à l'aide d'un oscilloscope la tension entre le fil de clôture et la terre. Cette mesure a été réalisée sous 100, 500 et 1000 Ohms conformément au protocole (voir Annexe 1 § 5.1). Afin de mieux couvrir la plage de résistance définie dans la nouvelle norme, des mesures complémentaires ont été effectuées sous 200, 300 et 400 Ohms. Une mesure « à vide » a également été réalisée, afin d'évaluer la chute de tension qu'implique la connection de ces charges dans le circuit. Ces résistances permettent de simuler le contact d'un animal ou un contact humain. Le contact avec la terre est quant à lui assuré par deux plaques conductrices. Connaissant la tension pour une charge donnée et la durée de l'impulsion, on peut alors calculer l'énergie absorbée par cette charge. La méthode de calcul est donnée en Annexe 3 (§ 5.3).

⁽¹⁾Voir Rapport de synthèse -octobre 2007

2.3. Le matériel de mesure utilisé

Les mesures de tension ont été réalisées avec des oscilloscopes numériques à enregistrement, le Tektronix TPS 2014, ainsi que le Voltcraft DSO 2090. Les résistances de charge ont été testées, seule une correction sur la résistance de 300 Ohms a dû être réalisée puisqu'à la mesure sa résistance était de 336 Ohms.



Nous avons utilisé ces deux oscilloscopes, puisqu'à Fargues, le modèle Voltcraft n'a pas fonctionné. C'est cependant ce dernier, après remplacement, qui a été utilisé pour les sites de Mirecourt et Montmorillon. Ces oscilloscopes et les sondes les accompagnant ont été validés par l'APAVE. Les courbes de tests sont données en Annexe 2 (§ 5.2).



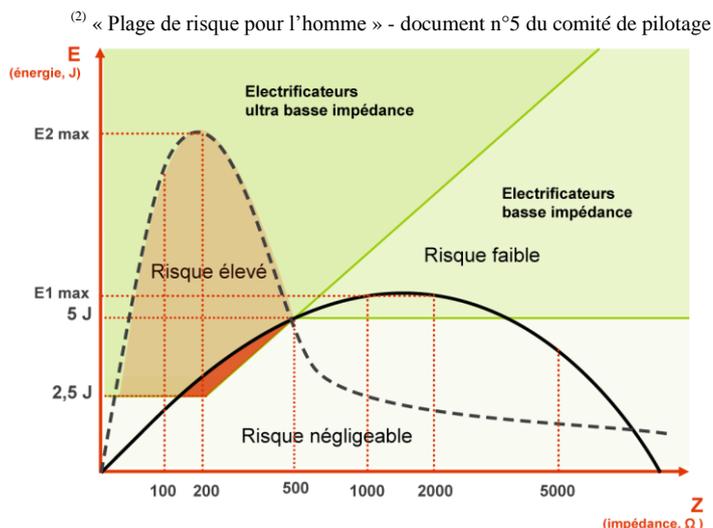
2.4. Les différents sites retenus

- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

Les trois sites font partie du programme de recherche-action « PASSAGES », conduit par le CIHEAM-IAMM sur l'ensemble de la problématique « clôtures et usages » et sont décrits plus en détails sur www.Cyberpassages.org.

2.5. Les électrificateurs testés

Le tableau ci-dessous présente les différents électrificateurs qui ont été testés, avec quelques caractéristiques pour chacun, à savoir l'énergie qu'ils délivrent sous 100, 500, et 1000 Ohms ainsi que l'énergie maximale que nous avons pu mesurer. Il faut d'emblée préciser que cette énergie maximale ne correspond pas nécessairement à la donnée constructeur, puisque certains appareils présentent leur maximum d'énergie pour une impédance inférieure à 100 Ohms. De plus la classification des appareils selon les deux grands types existants, à savoir UBI et non UBI n'est pas automatique. En effet, on associe volontiers la notion d'UBI à celle d'une énergie de sortie élevée. Néanmoins certains appareils présentent des courbes de répartition d'énergie selon leur charge plus proche du type UBI, mais avec des valeurs d'énergie ne dépassant pas les 5 Joules dans toute la plage de résistance (100 à 1000 Ohms). Dans cette étude, un électrificateur est considéré comme UBI (voir tableau ci-dessous) si sa courbe de répartition d'énergie correspond à la définition qui a été donnée par le groupe de travail (voir schéma ci-dessus⁽²⁾), et s'il présente des énergies supérieures à 5 Joules. La classification de certains modèles comme l'Agromaster, le P4000 ou encore l'Ubison5000 reste discutable. Enfin il faut noter qu'un modèle a été volontairement testé même si il ne respecte pas la norme actuelle (Hyperflash à 5,9 Joules sous 500 Ohms). Le modèle Mx7500 n'est quant à lui pas commercialisé sur le marché européen puisqu'il n'est pas homologué. Néanmoins c'est l'électrificateur le plus puissant connu à ce jour (57 Joules en sortie), il s'inscrit donc parfaitement dans ces essais.



Constructeur	Modèle	Energie exprimée en Joules				Modèle assimilé UBI dans cette étude
		100 Ohms	500 Ohms	1000 Ohms	Energie max	
Creb	<i>Hyperflash</i>	4,3	5,9	5,5	5,9	
Chapron	<i>Sec10000</i>	1,4	2,1	1,7	2,1	
	<i>Sec15000</i>	2,2	3,2	2,6	3,2	
Horizont	<i>N200 Plus</i>	8,7	4,3	2,5	8,7	X
	<i>N140</i>	3,6	1,9	1,2	3,6	
	<i>N50</i>	4,4	2,4	1,4	4,4	
Lacmé	<i>Clos2005</i>	1,4	2,2	1,7	2,2	
	<i>Ubison8000</i>	6,0	3,4	2,4	6,0	X
	<i>Ubison5000</i>	3,9	3,3	2,5	3,9	
Patura	<i>P8000</i>	20,9	4,2	2,4	20,9	X
	<i>P4000</i>	5,8	3,9	2,5	5,8	X
Gallagher	<i>Mr5000</i>	18,0	3,7	2,0	18,0	X
	<i>Agromaster</i>	5,3	3,2	2,0	5,3	X
	<i>Mx7500</i>	26,3	6,3	3,4	26,3	X

2.6. Les résultats

Pour chaque site, seule la répartition des énergies selon la charge est indiquée pour chaque électrificateur en début et fin de clôture, ainsi que l'impédance moyenne équivalente de la clôture connectée en série avec la charge. Grossièrement, cette impédance permet d'évaluer les pertes d'énergie liées à la clôture elle-même. Les détails du calcul de cette impédance sont donnés en Annexe 3 (§ 5.3). Tous les résultats obtenus pour chaque électrificateur figurent également en Annexe 5 (§ 5.5).

Il faut en outre préciser que le nombre d'électrificateurs varie quelque peu selon les sites et l'endroit de la mesure :

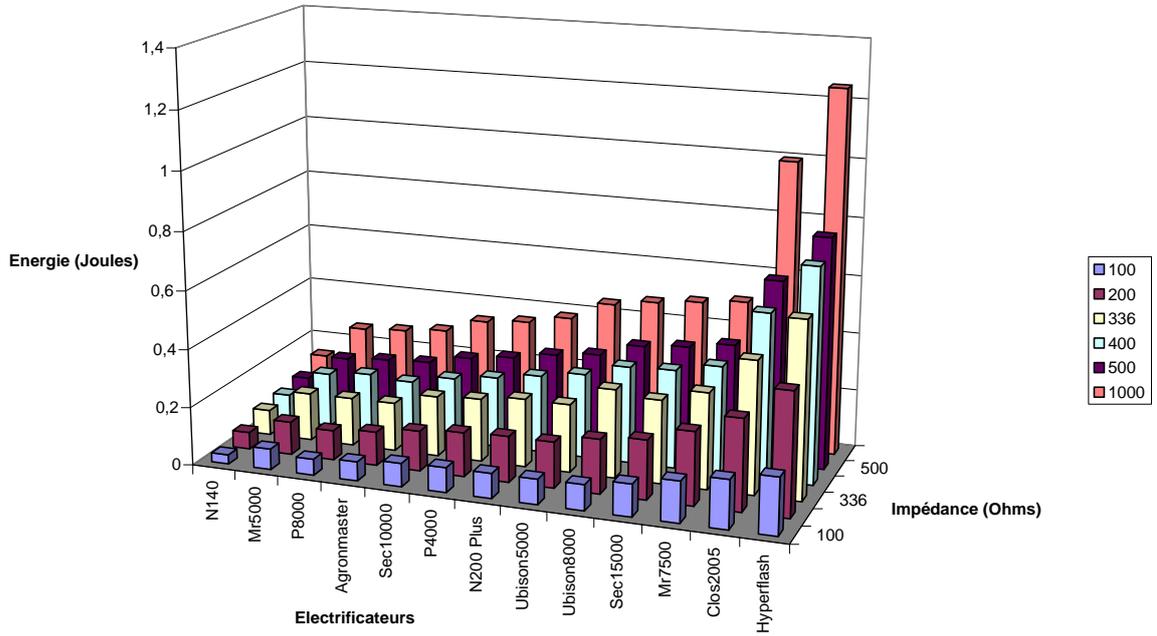
-Les résultats des modèles Ubison ne sont pas présentés pour le site de Fargues, étant donné que la mesure ne s'est effectuée que sur une seule impulsion, alors que ces électrificateurs fournissent une double impulsion (voir § 3.4).

-Des mesures se sont révélées inexploitable, pour le modèle Mx7500 en milieu de clôture à Fargues, ainsi que celles de l'Hyperflash en fin de clôture à Montmorillon.

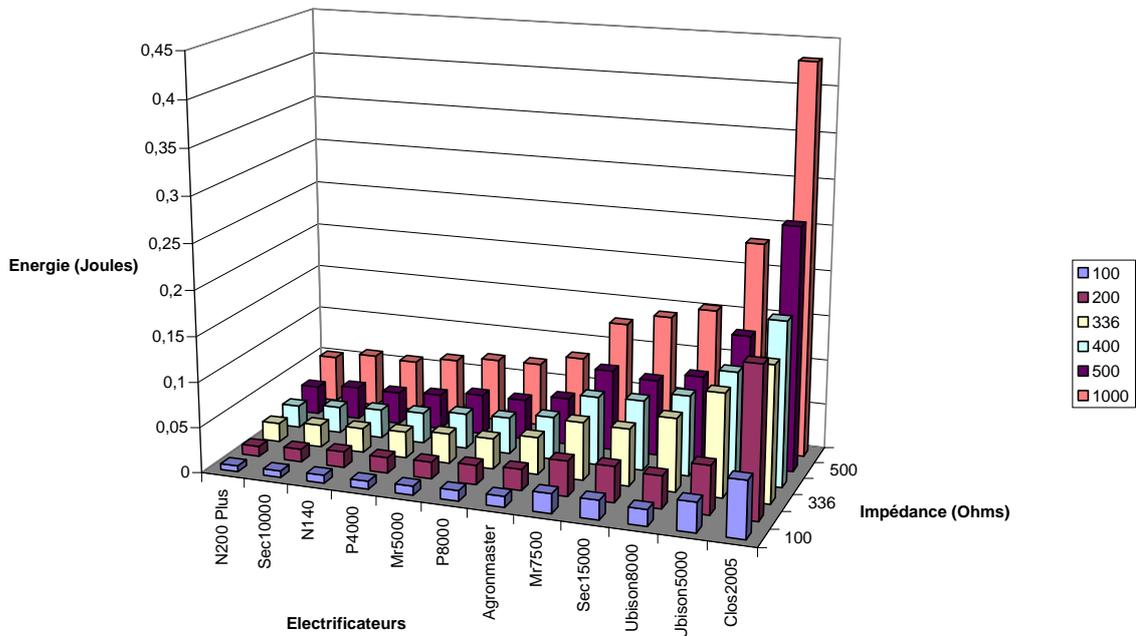
-Le modèle N50 a été reçu seulement la dernière semaine et n'a donc été testé que sur le site de Mirecourt. Sur ce même site, il a également été testé le modèle Speedrite 25000 qui était celui de l'éleveur.

2.6.1. Montmorillon

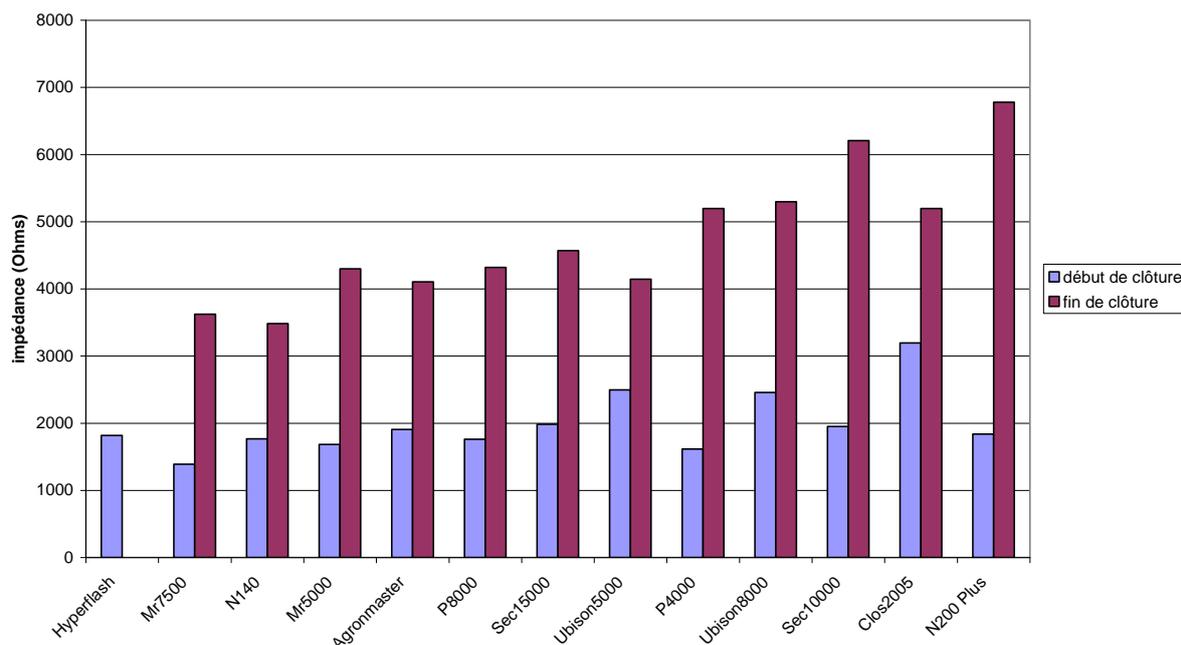
Répartition des énergies (début de clôture)



Répartition des énergies (Fin de clôture)

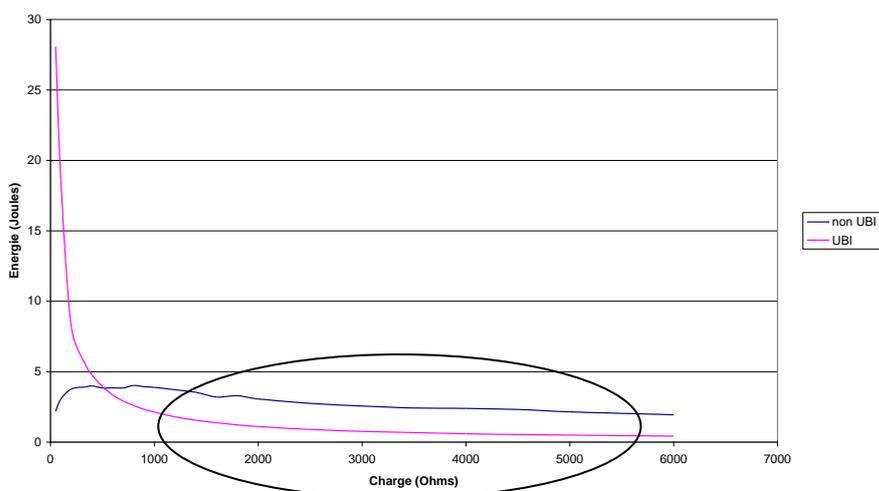


Impédance série équivalente en début et fin de clôture

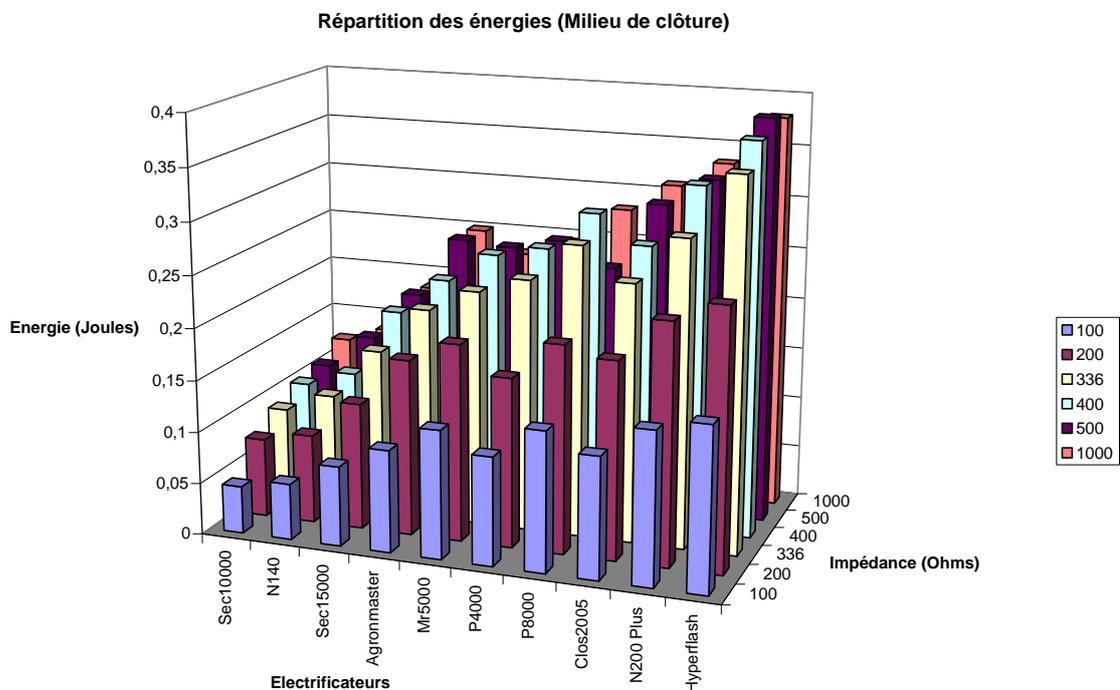
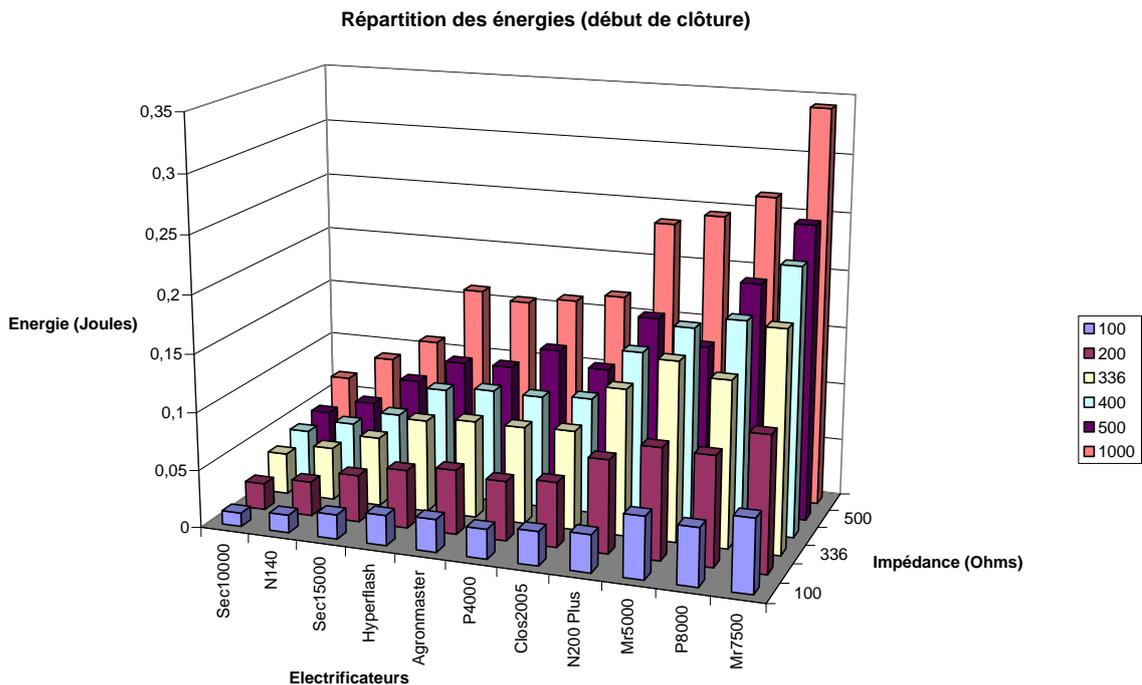


Pour des raisons pratiques, la mesure en milieu de clôture n'a pas pu être réalisée puisque celui-ci était distant de plus d'un kilomètre de l'électrificateur et inaccessible en voiture. Les mesures en début et fin de clôture ont pu quant à elles être correctement effectuées. On constate que les énergies enregistrées sont ici très basses. Ceci s'explique par la très médiocre prise de terre : un seul piquet de 60 cm ne suffit pas pour assurer un bon retour de l'impulsion. On le constate d'ailleurs dans les valeurs très élevées d'impédance équivalente. Néanmoins, le chef d'exploitation était satisfait de l'efficacité de sa clôture. Il faut préciser que nous sommes ici dans le cas d'une contention de bovins qui sont nettement plus sensibles au courant électrique que les ovins. On peut remarquer que deux appareils testés présentent des énergies supérieures à 1 joule en début de clôture, alors qu'ils sont à faible énergie de sortie. Par contre, les appareils UBI deviennent nettement moins performants dès lors qu'une prise de terre n'est pas bonne. Ceci s'explique par le fait que l'impédance qui est alors vue par l'électrificateur est très élevée. Si on compare les courbes d'énergie des deux types d'appareils, on constate, que pour de telles impédances, l'énergie délivrée par les appareils est inférieure à celle délivrée par les appareils non UBI.

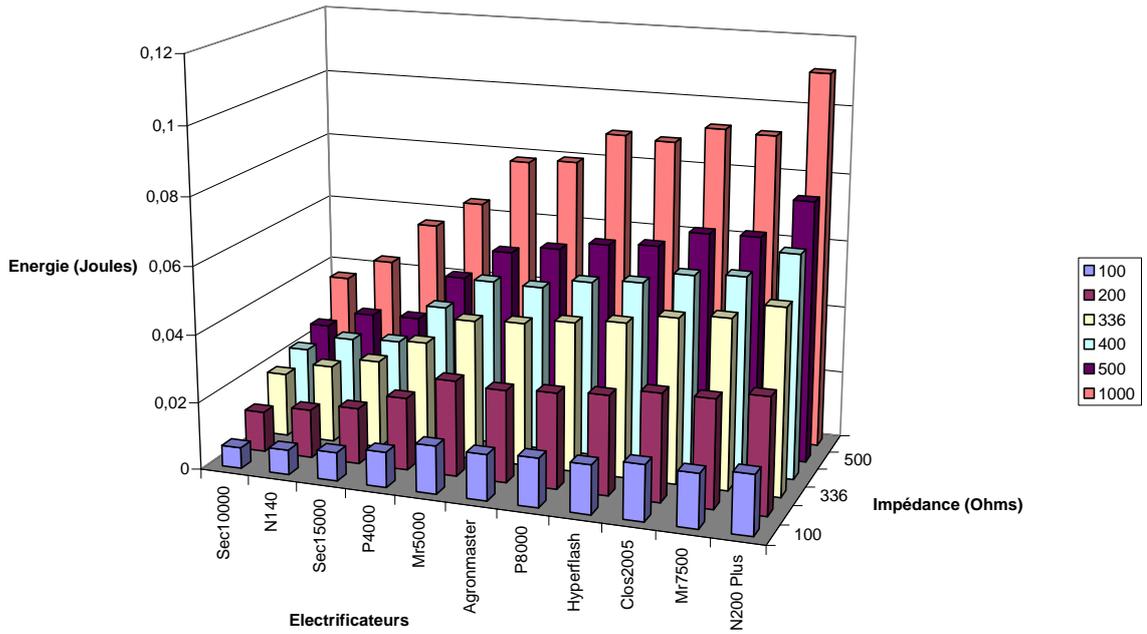
Comparaison entre un électrificateur UBI et non UBI



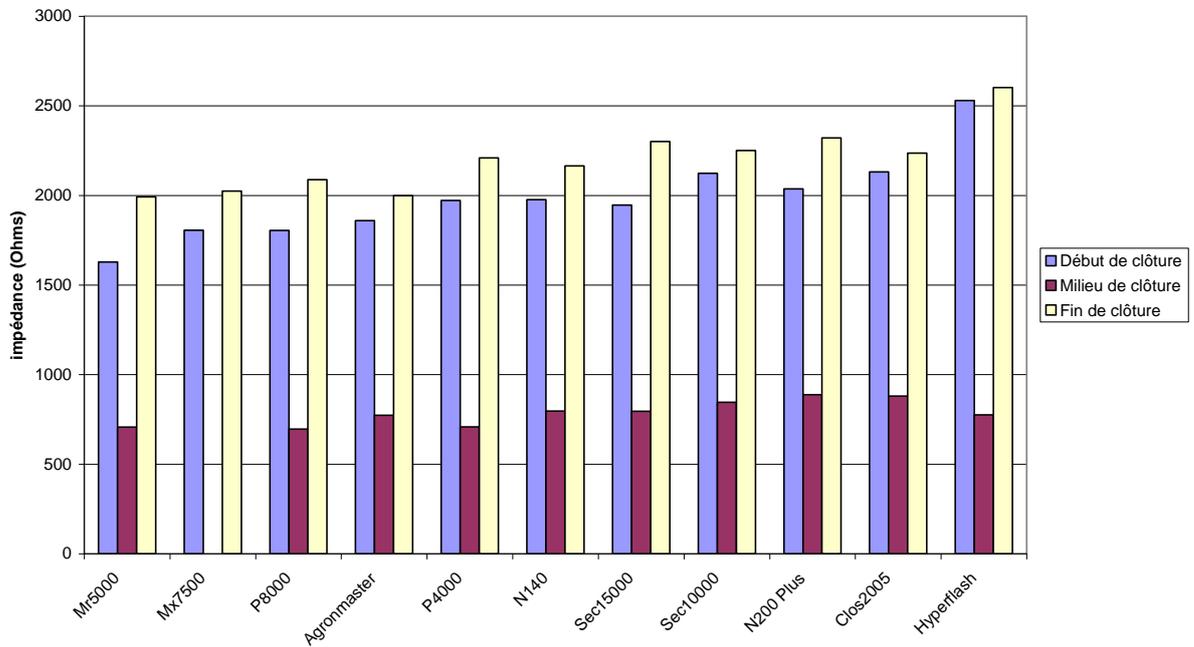
2.6.2. Fargues



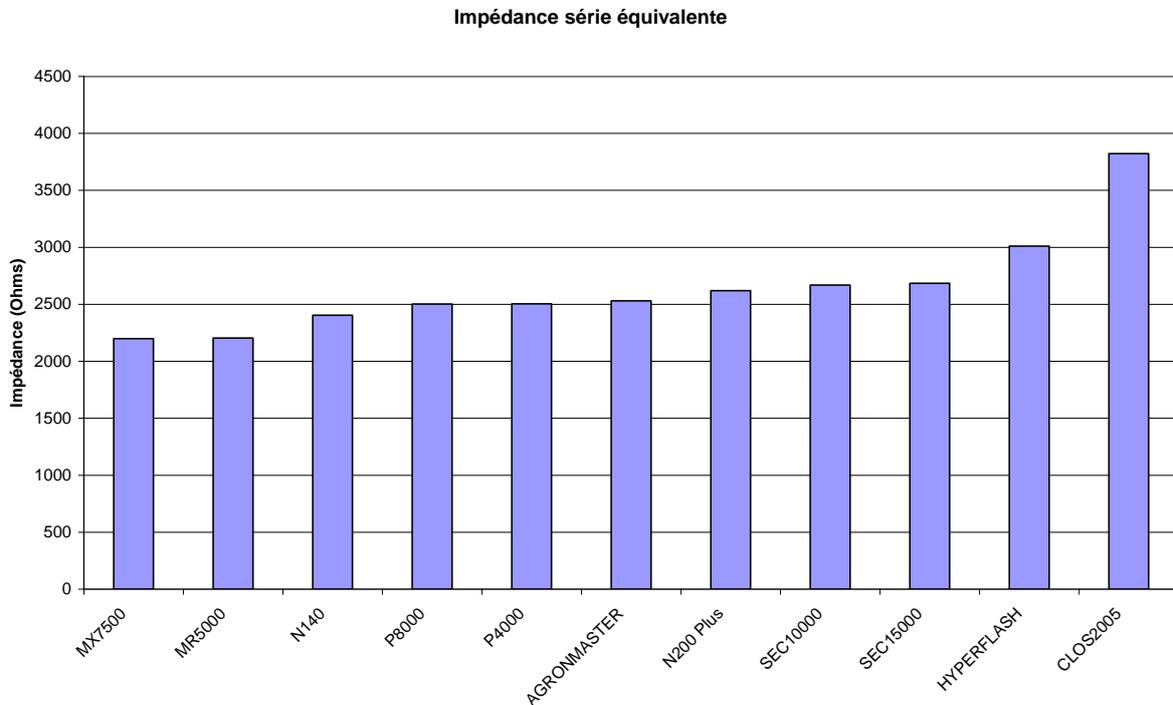
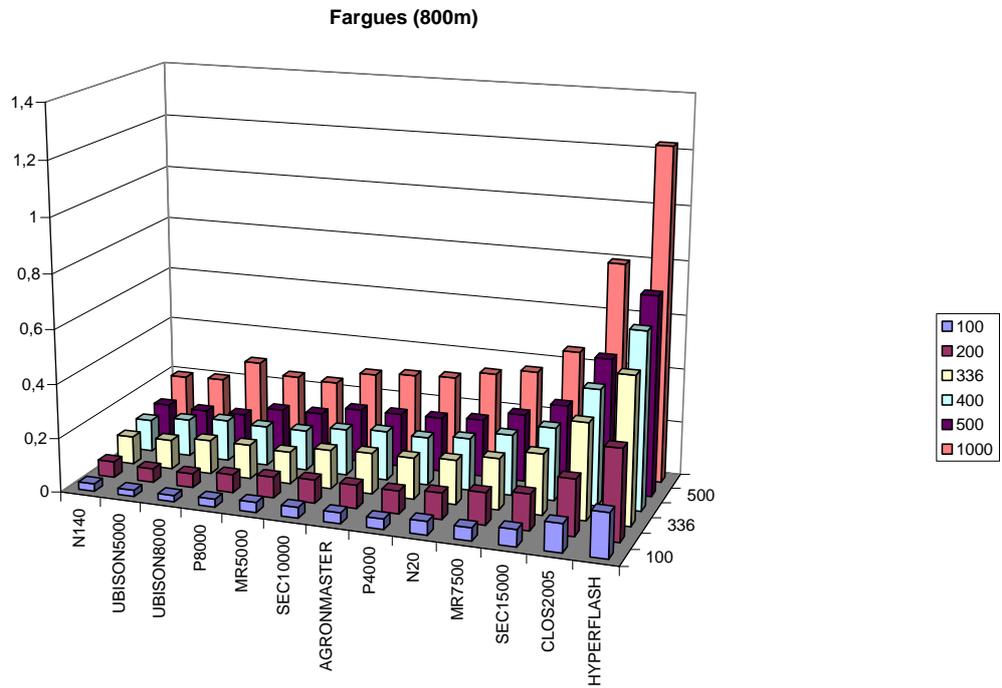
Répartition des énergies (Fin de clôture)



Impédance série équivalente en début, milieu et fin de clôture



2.6.3. Fargues (800 mètres)



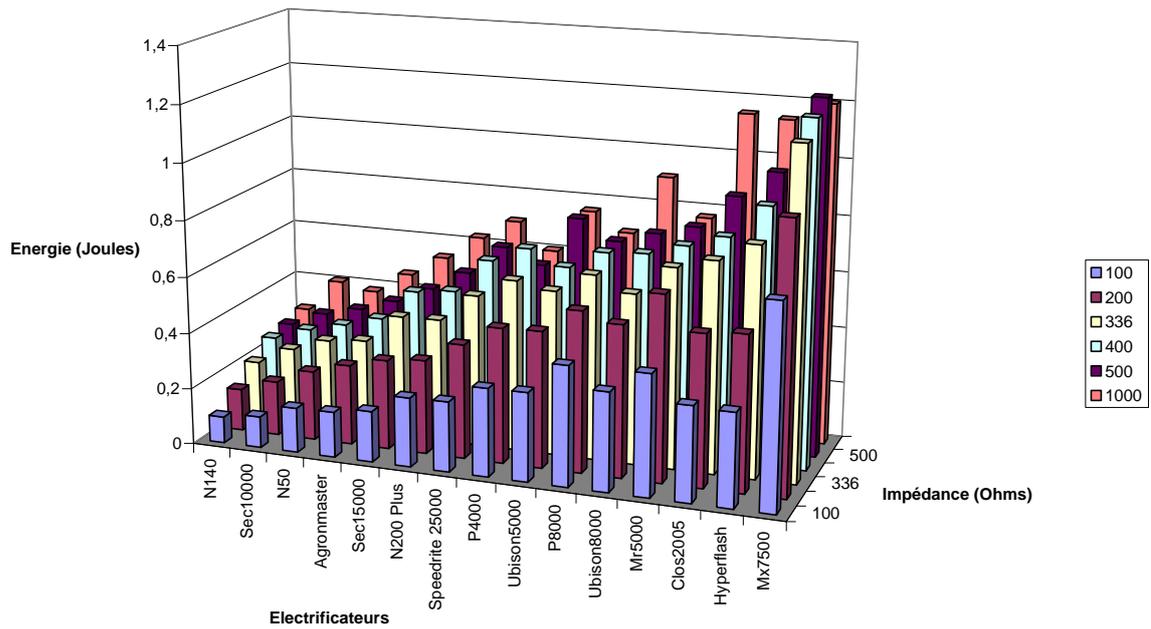
Les mesures ont été effectuées en début, milieu et fin de clôture. Il faut préciser que l'éleveur a ramené le fil de fin de clôture au même endroit que le début de clôture pour qu'il puisse rapidement vérifier les niveaux de tension. Il en résulte que les mesures de début et de fin ont été réalisées au même endroit. D'un point de vue relatif, la référence étant prise au même endroit, on peut comparer sur une même base les niveaux d'énergie en début et fin de clôture. Il aurait peut être été souhaitable de réaliser une autre mesure à un endroit différent afin de mieux apprécier l'influence que peut avoir l'état du sol à un emplacement donné.

En effet, on constate que les niveaux d'énergie en milieu de clôture sont supérieurs à ceux en début et fin, ces derniers étant d'ailleurs assez faibles. Une explication probable serait donnée par la qualité du sol (et du contact avec celui-ci) à l'endroit où la mesure a été effectuée. Les mesures de début et fin ont été effectuées près d'un chemin sur un sol très sec et très caillouteux (il a d'ailleurs été quasiment impossible d'y planter un piquet de terre ...). En revanche la mesure du milieu a été faite sur un sol meuble et ombragé, bien meilleur conducteur que le précédent. Malgré la bonne installation de prise de terre, la mauvaise conductivité du sol (et du contact avec celui-ci) fait que l'on obtient des énergies assez faibles en début et fin de clôture.

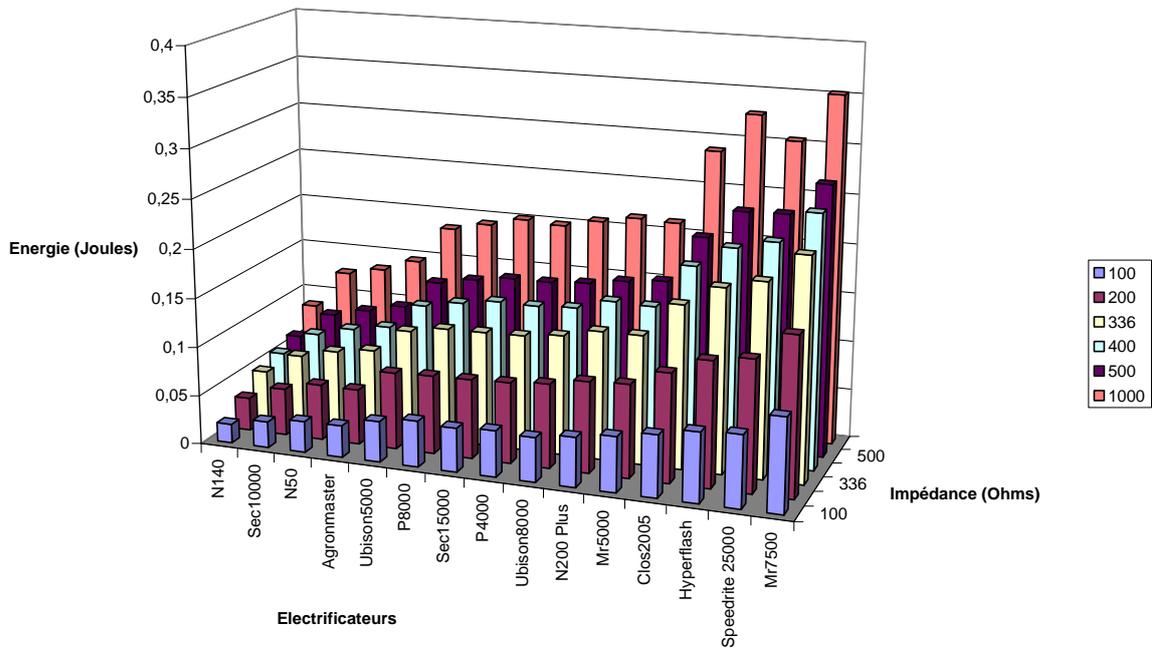
Une autre mesure a été réalisée sur la plus petite clôture de l'exploitation, d'environ 800 mètres sans aucune végétation. Sur celle-ci, les niveaux d'énergie étant identiques en début et fin, il n'y a donc pas eu de comparaison. Cependant, le début de cette clôture se situait exactement au même endroit que la précédente, l'éleveur ayant simplement déconnecté toute une partie de celle-ci. De ce fait, malgré la très faible longueur et l'absence de végétation, les niveaux d'énergie restent relativement bas à cause de la mauvaise conductivité du sol à cet emplacement. Le constat est le même que celui observé à Montmorillon, à savoir que les appareils UBI présentent les énergies les plus faibles et que les énergies maximales (0,8 et 1,2 Joules) sont relevées pour deux appareils dont l'énergie de sortie est faible, respectivement de 6 et 5 joules.

2.6.4. Mirecourt

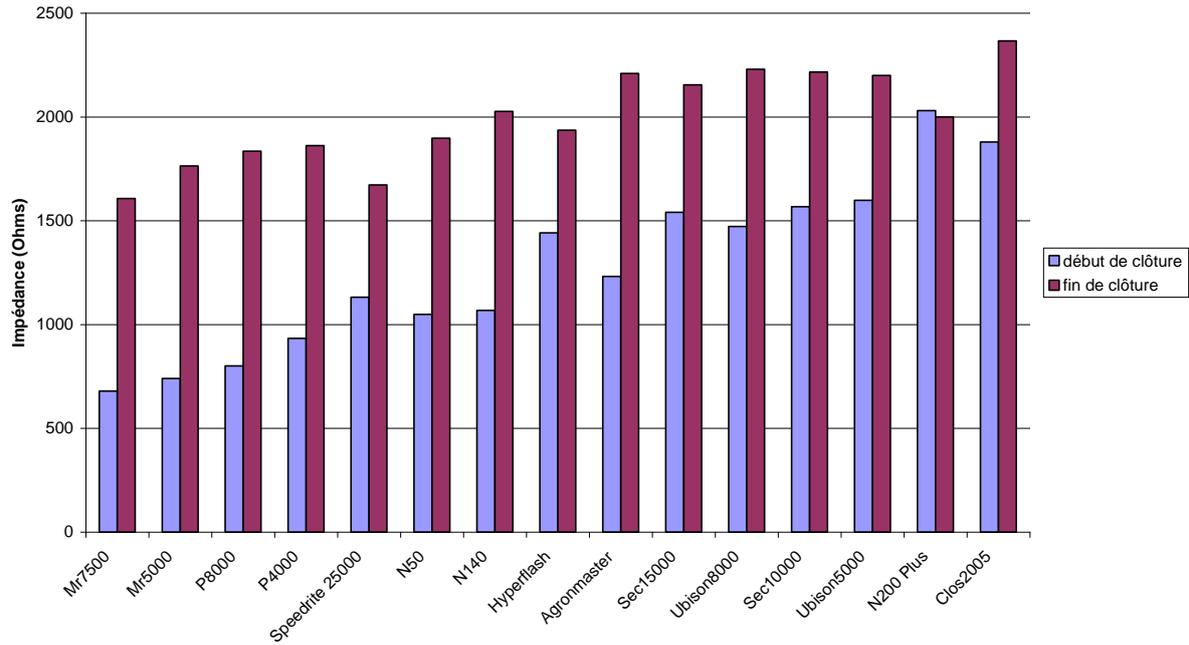
Répartition des énergies (début de clôture)



Répartition des énergies (Fin de clôture)



Impédance série équivalente en début et fin de clôture



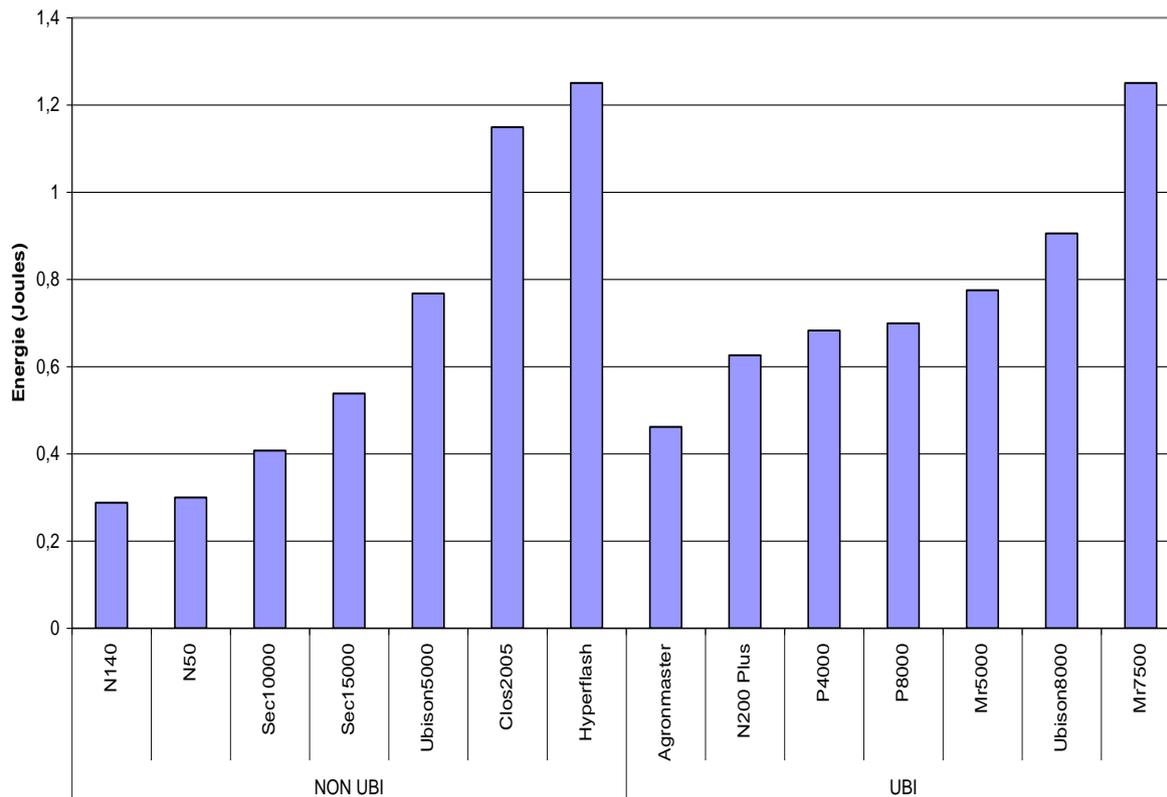
Les mesures de début et fin de clôture ont été effectuées. Une nouvelle fois la mesure du milieu a posé problème puisque, du propre aveu de l'éleveur, il était difficile de définir un « milieu » de clôture, étant donné que certaines parcelles étaient interconnectées entre elles. Les énergies relevées sur ce site sont supérieures aux précédentes, puisque d'une part l'installation de terre était très bonne, et d'autre part, le sol de type limoneux argileux assurait un bon contact. On note d'ailleurs que les impédances équivalentes sont ici bien moins élevées. A nouveau, les énergies maximales sont relevées pour des appareils à faible énergie de sortie, les appareils UBI ne dépassant pas quant à eux les 0,8 Joule.

3. Commentaires

3.1. Energie maximale mesurée

L'histogramme ci-dessous donne les énergies maximales enregistrées pour chaque électrificateur, tous sites confondus.

Energie maximale mesurée pour chaque électrificateur, tous sites confondus.



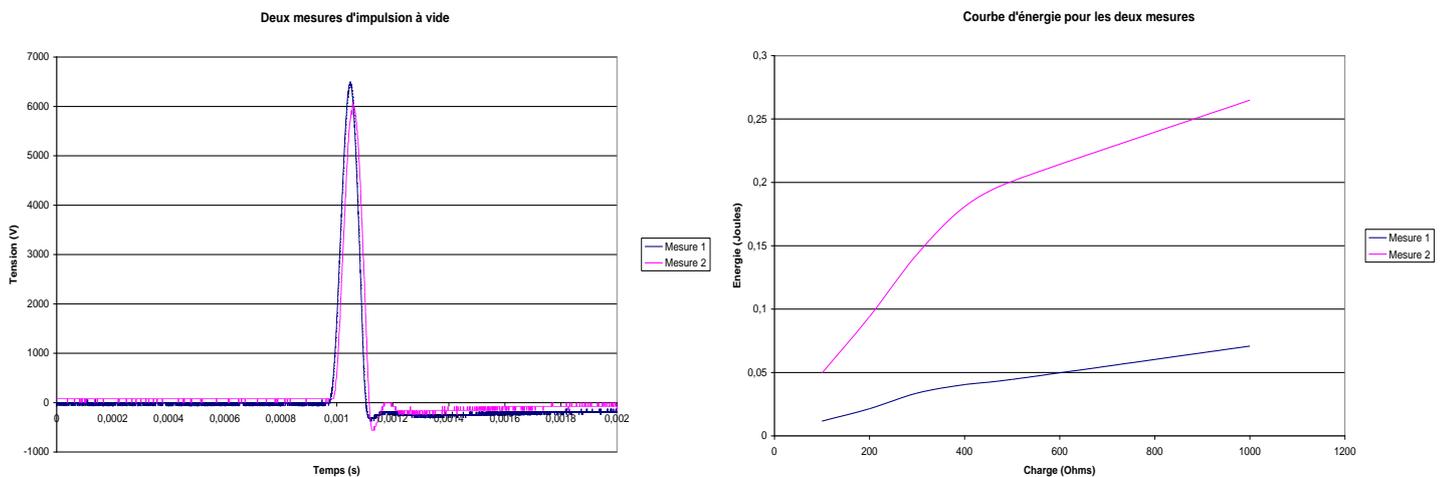
On note que les valeurs maximales enregistrées ne dépassent pas 1,3 Joules. La plus forte énergie enregistrée est celle de l'appareil non homologué, avec une énergie de 6,3 joules sous 500 Ohms. Cet appareil délivre jusqu'à 57 Joules en sortie et pourtant la valeur maximale observée est bien en dessous des 5 joules. On constate de plus que ce sont des électrificateurs de faible énergie de sortie de type non UBI (le clos 2005 et l'Hyperflash avec respectivement 6 et 5 joules en énergie de sortie) qui ont les deux valeurs maximales enregistrées supérieures à 1 joule. Enfin, *aucune énergie supérieure à 1 Joule n'a été trouvée au cours de ces essais avec les appareils homologués dits à « Ultra Basse Impédance ».*

3.2. Tension à vide et tension en charge

3.2.1. Idées reçues

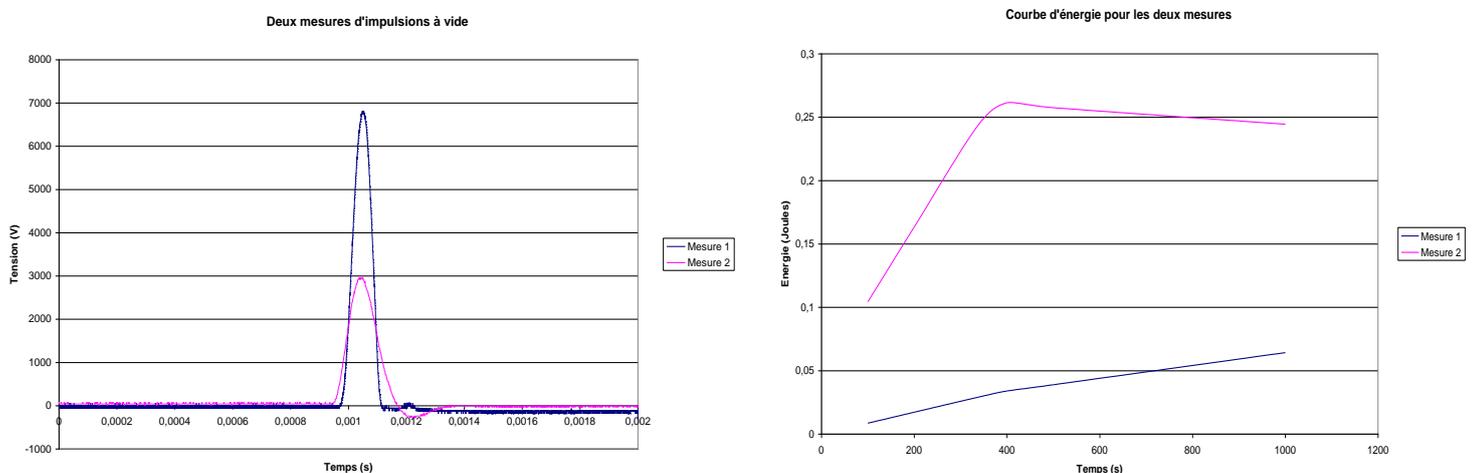
De nombreux outils de mesure sont mis à la disposition de l'éleveur afin qu'il puisse vérifier le bon fonctionnement de sa clôture. Bien que ces outils soient effectivement pratiques, il est bon de pouvoir interpréter un minimum ce qu'ils mesurent. Notamment en ce qui concerne la mesure de la tension à vide et l'énergie que l'on peut obtenir au même point de mesure. En effet, comme nous allons le voir, il est tout à fait possible d'obtenir des mesures à vide identiques, mais des niveaux d'énergie totalement différents lorsqu'on connecte une charge.

Ci-dessous, deux impulsions quasi identiques, mesurées sur deux clôtures différentes, avec le même électrificateur, et les courbes d'énergie associées.



On constate qu'avec des mesures à vide identiques, l'énergie disponible est quatre fois supérieure lorsqu'on connecte une charge, cas de la mesure 2.

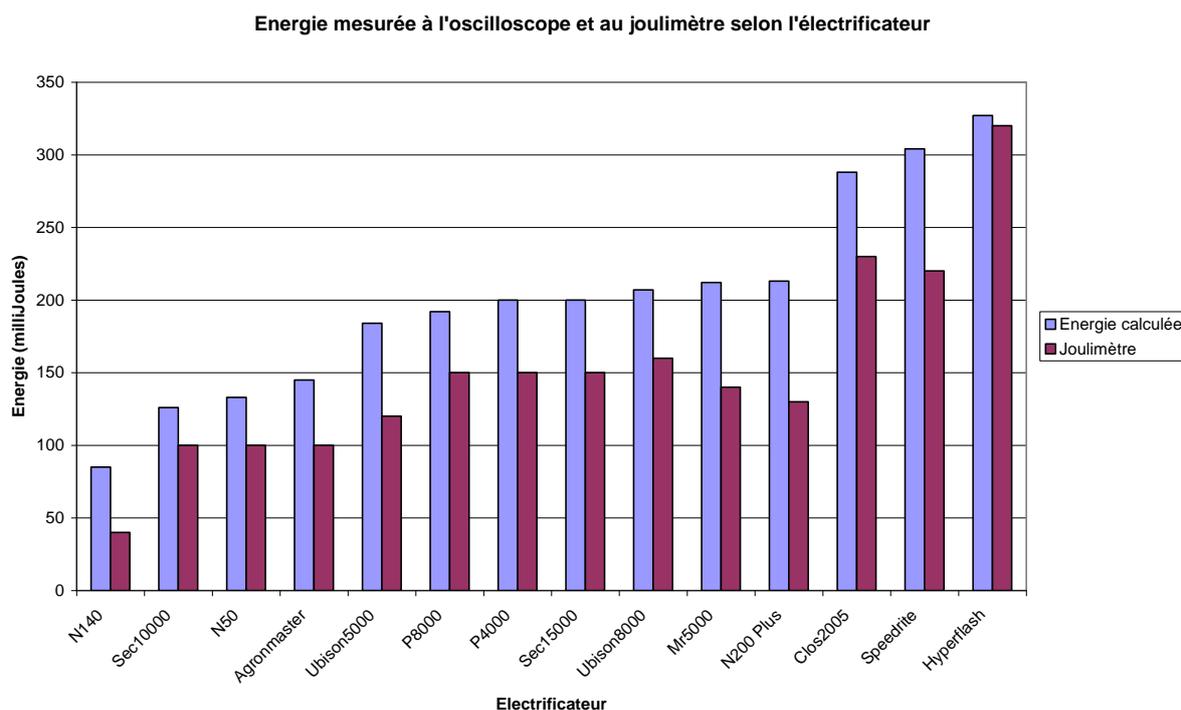
Inversement, on peut très bien trouver une mesure à vide inférieure à une autre, et pourtant obtenir une énergie bien supérieure. Ci-dessous, comme précédemment, deux mesures à vide avec le même électrificateur, avec les courbes d'énergies relevées lorsqu'on connecte une charge.



C'est ici avec la mesure à vide la plus faible qu'on obtient une énergie supérieure. Globalement il faut retenir que la mesure de la tension à vide est un indicateur pour savoir si la clôture est sous tension ou si il y a un court circuit sur la clôture. Néanmoins, la tension à vide ne donne pas de réelle indication sur l'énergie que recevrait l'animal s'il venait à toucher la clôture en ce point là.

3.2.2. Le Joulemètre

Certains constructeurs mettent à disposition un outil, le « joulimètre », permettant d'évaluer l'énergie que recevrait un animal en un point de la clôture. Pour cela on plante un piquet de terre dans le sol et on mesure à l'aide de l'appareil l'énergie qui serait délivrée. Attention, on ne mesure pas des joules, l'énergie s'obtient par un calcul ... Cet appareil mesure la tension sur la clôture lorsque une charge de 1000 Ohms est connectée à celle-ci. Cette valeur de 1000 Ohms est considérée comme la valeur moyenne d'impédance du corps d'un animal. Il calcule ensuite l'énergie que recevrait cette charge de 1000 Ohms. Il faut bien comprendre que si l'animal présente une autre impédance, l'énergie reçue ne sera pas celle indiquée. Nous avons testé l'appareil en comparant l'énergie qu'il mesure, avec celle que l'on calcule pour une impédance de 1000 Ohms. Ci-dessous l'historique des valeurs enregistrées dans les deux cas.



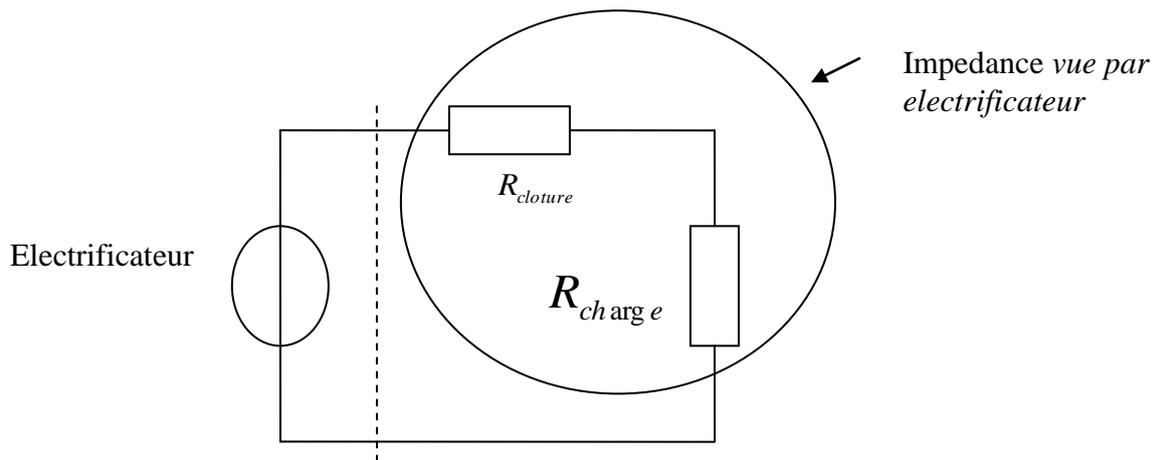
On constate que le joulimètre affiche une énergie en moyenne 25% inférieure à celles calculées. Néanmoins cet appareil donne tout de même une bonne indication de l'énergie que recevrait un animal, indication bien plus significative que la mesure à vide en tout cas.

3.3. Répartition de l'énergie

Cette partie est quelque peu technique, mais certaines notions sont importantes pour comprendre comment se répartit l'énergie entre les différentes charges. Les démonstrations des calculs figurent en Annexe 4 (§ 5.4), ne sont exposées ici que les conclusions.

3.3.1. Charges en série

Lorsque on connecte une charge à la clôture et qu'on simule ainsi le contact humain ou animal, l'électrificateur ne voit pas seulement la charge que l'on a connectée : il voit la somme de cette charge et de l'impédance équivalente de la clôture.



Ainsi on comprend bien que l'électrificateur va délivrer une certaine énergie sous cette impédance totale, et que cette énergie va se partager entre les différentes charges.

Le partage se fait de la manière suivante :

Soit :

- E_{totale} l'énergie totale délivrée par l'électrificateur dans la charge $R_{charge} + R_{cloture}$
- $E_{cloture}$ l'énergie reçue par la résistance équivalente de la clôture
- E_{Charge} l'énergie reçue par l'homme ou l'animal

Alors on a la relation suivante :

$$\bullet E_{Charge} = \frac{R_{charge}}{R_{charge} + R_{cloture}} \times E_{totale}$$

$$\bullet E_{cloture} = \frac{R_{cloture}}{R_{charge} + R_{cloture}} \times E_{totale}$$

Autrement dit l'énergie reçue ne dépend que du rapport entre le charge que l'on vient connecter et la somme de cette charge et de la résistance équivalente de la clôture.

Attention l'énergie totale délivrée par l'électrificateur est celle sous une impédance formée par $R_{charge} + R_{cloture}$!

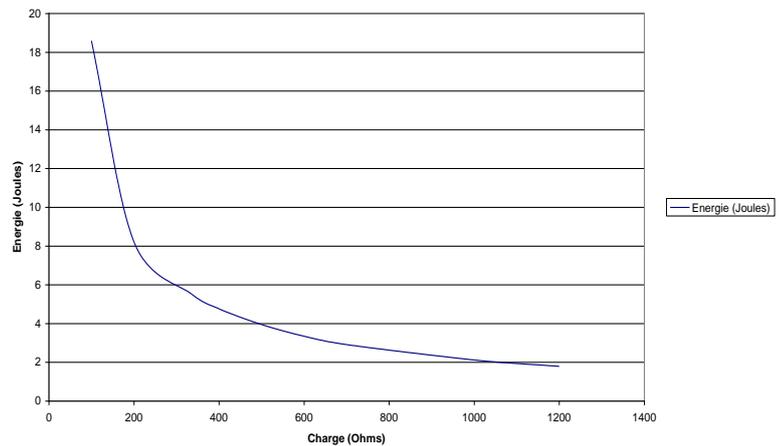
Prenons un exemple :

Certains constructeurs s'accordent à dire qu'une impédance de 200 Ohms existe toujours en série avec la charge. Peu importe cette valeur, le sujet étant simplement ici de comprendre comment se répartit l'énergie. On considère donc $R_{cloture} = 200$ Ohms.

Voici le tableau d'énergie d'un électrificateur UBI :

Charge (Ohms)	Energie (Joules)
100	18,5
200	8,2
336	5,5
400	4,7
500	3,9
600	3,3
700	2,9
1000	2,1

Energie selon la charge



Si on place une charge de $R_{charge} = 300$ Ohms, alors

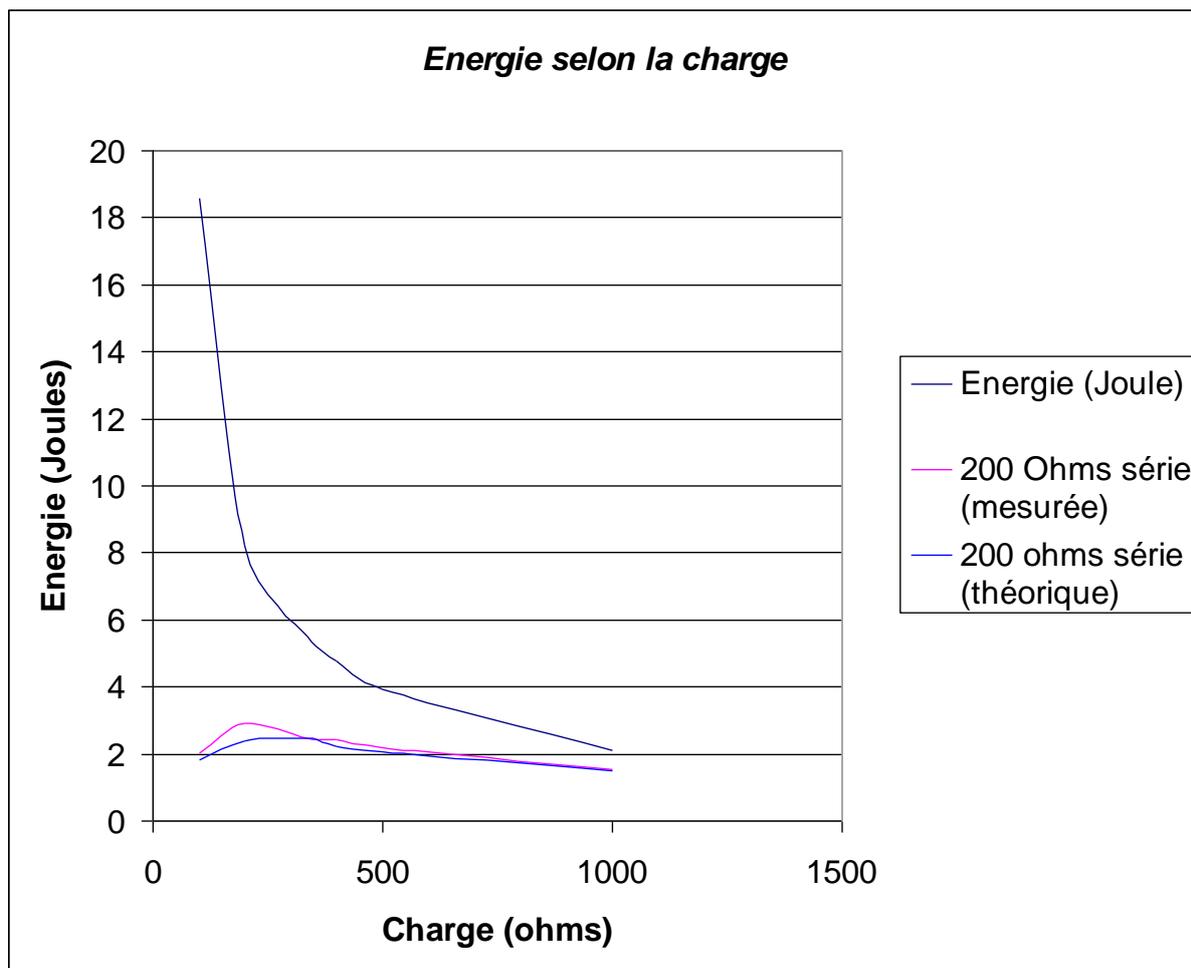
$$R_{totale} = R_{charge} + R_{cloture} = 500 \text{ Ohms.}$$

Lorsque l'électrificateur voit une charge de 500 Ohms il fournit selon le tableau ci dessus 3,9 Joules au circuit. Or nous avons vu que la répartition d'énergie entre R_{charge} et $R_{cloture}$ va être :

- $E_{Charge} = \frac{300}{200+300} \times 3,9 = 2,34$ Joules
- $E_{cloture} = \frac{200}{200+300} \times 3,9 = 1,56$ Joules

Si on connecte à l'électrificateur une impédance de 200 Ohms en série avec une impédance de charge de 300 Ohms, que l'on mesure la tension aux bornes de cette impédance de charge, alors l'énergie consommée par cette charge est $E_{Charge} = 2,34$ Joules.

Ci-dessous le graphique donne les courbes d'énergie théoriques et mesurées sur des charges de 100 à 1000 Ohms, lorsqu'une impédance de 200 Ohms est connectée en série à l'électrificateur.



On remarque que le simple fait de connecter une impédance de 200 Ohms en série entre l'électrificateur et la charge implique que même sous de très basses impédances, l'énergie absorbée *par la charge* ne dépasse pas 3 Joules. Dans le cadre de notre étude, aucune valeur d'impédance série n'était inférieure à 500 Ohms. Tout ceci illustre simplement pourquoi les mesures de terrain donnent des valeurs d'énergie bien plus faibles que les mesures en laboratoire, une grande partie de l'énergie étant consommée par la clôture elle-même. Il faut cependant nuancer ce propos car il n'est pas dit ici que la résistance de la clôture ne puisse descendre en dessous des 500 Ohms. Il faudrait réaliser de nouveaux tests sur de nombreux sites pour obtenir une analyse statistique des résistances séries qui peuvent exister.

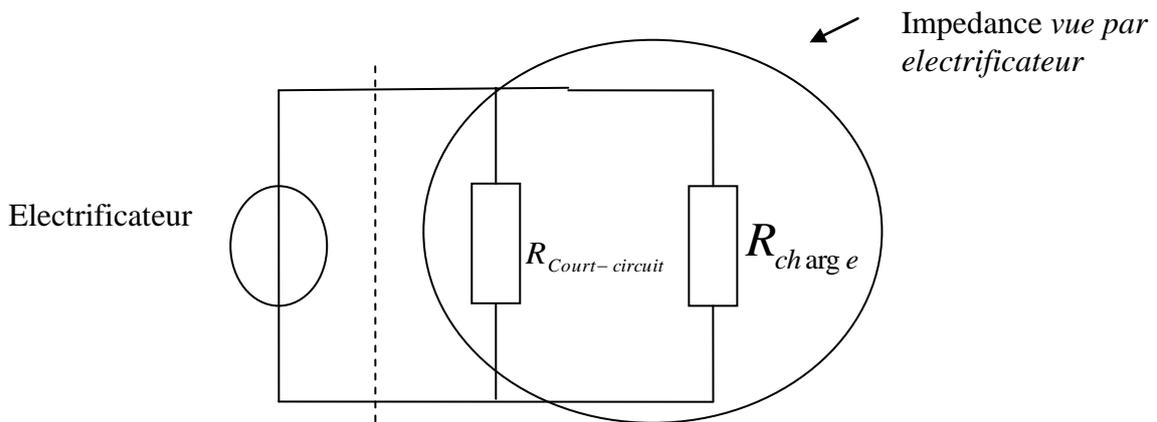
De plus, certains constructeurs avancent que lors d'un contact humain avec une clôture, il existe des résistances dites « de contact » entre le corps et le fil, ainsi qu'entre le corps et la terre. Ces résistances seraient d'au moins 80 Ohms environ, ce qui donnerait, même dans le cas d'une clôture « parfaite », une résistance série d'au moins 160 Ohms avec la résistance du corps. Comme nous venons de le voir, cela diminue déjà grandement l'énergie absorbée par ce dernier. Ces informations n'ont à notre connaissance pas été infirmées.

3.3.2. L'intérêt de l'UBI ?

Nous avons vu que les électrificateurs à « ultra basse impédance » présentent de fortes énergies pour de très basses impédances. Dans la théorie, ce système permet de lutter contre les pertes sur la clôture. La végétation n'est pas la seule source de pertes d'énergie, on peut également citer la pluie, le brouillard, ou même un isolateur défectueux qui créerait un court-circuit. Quel est l'intérêt de présenter des énergies si fortes pour de telles charges alors que nous savons que l'impédance d'un animal se situe en moyenne autour de 1000 Ohms ?

Prenons l'exemple d'un court circuit sur la clôture :

(Pour la simplicité des calculs, on néglige ici toutes autres sources de pertes, telles les résistances en série, le but étant simplement de comprendre le principe de fonctionnement.)



Il faut savoir que lors d'un court circuit, la résistance équivalente $R_{Court-circuit}$ est très faible.

De plus lorsque deux résistances sont en parallèle, la résistance équivalente, et donc ici la résistance qui sera vue par l'électrificateur n'est pas la somme algébrique des deux.

En effet, la résistance équivalente vaut :

$$\bullet \quad R_{eq} = \frac{R_{Court-circuit} \times R_{charge}}{R_{Court-circuit} + R_{charge}}$$

Autrement dit, si $R_{Court-circuit}$ est petit devant R_{charge} alors la résistance équivalente R_{eq} vaut environ $R_{Court-circuit}$, et est donc également très faible.

Si par exemple $R_{Court-circuit} = 50$ Ohms et $R_{charge} = 1000$ Ohms, alors $R_{eq} = 47,6$ Ohms, soit environ $R_{Court-circuit}$.

Ce qui veut dire que lors d'un court-circuit, l'impédance vue par l'électrificateur sera très faible et celui-ci va donc libérer un maximum d'énergie.

Qu'en est il de la répartition de cette énergie ?

Prenons l'exemple où l'électrificateur délivre 25 Joules sous 50 Ohms.

Il faut savoir que lorsque deux résistances sont en parallèle, et non plus en série comme précédemment, l'énergie se répartit ainsi :

- $$E_{Charge} = \frac{R_{court-circuit}}{R_{charge} + R_{court-circuit}} \times E_{totale}$$
- $$E_{court-circuit} = \frac{R_{charge}}{R_{charge} + R_{court-circuit}} \times E_{totale}$$

Avec les valeurs de l'exemple, on obtient :

- $$E_{Charge} = \frac{50}{1000 + 50} \times 25 = 1,2 \text{ Joules}$$
- $$E_{court-circuit} = \frac{1000}{1000 + 50} \times 25 = 23,1 \text{ Joules}$$

On constate que la majeure partie de l'énergie fournie par l'électrificateur est consommée par le court-circuit. Néanmoins, du fait que cette énergie fournie par l'électrificateur est très élevée, il reste assez d'énergie pour la charge. Bien entendu il faut ajouter les pertes de la clôture, etc ... ce qui laisse bien peu d'énergie au final pour celle-ci.

Cependant, si on compare avec un électrificateur non UBI, qui ne fournirait que 2 Joules sous 50 Ohms, alors la répartition d'énergie serait :

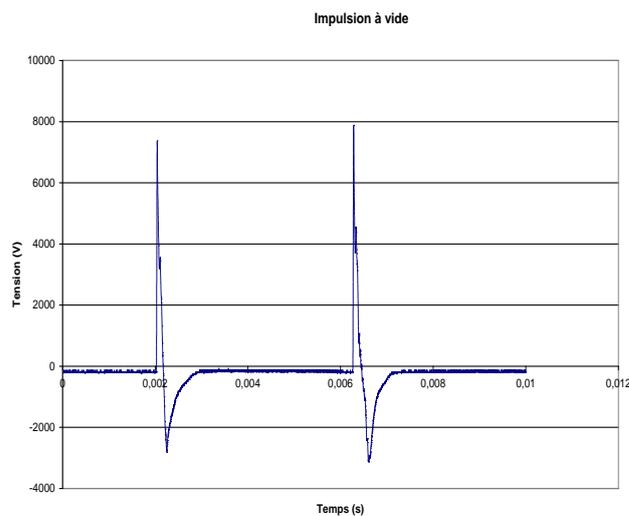
- $$E_{Charge} = \frac{50}{1000 + 50} \times 2 = 0,1 \text{ Joule}$$
- $$E_{court-circuit} = \frac{1000}{1000 + 50} \times 2 = 1,9 \text{ Joules}$$

On comprend dès lors l'intérêt de présenter des énergies élevées en basses impédances.

Attention, l'exemple ci-dessus est purement théorique et les mesures de terrain montrent bien que sur une clôture réelle, ces appareils ne sont pas forcément plus efficaces que les non UBI; au contraire, ils sont même bien moins efficaces lorsque la prise de terre est mauvaise.

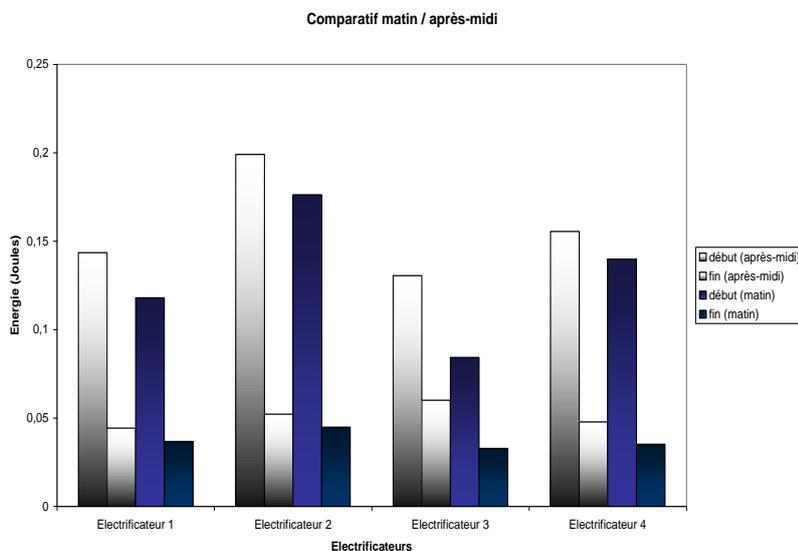
3.4. La double impulsion

Il faut noter que certains modèles d'électrificateurs fournissent deux impulsions très proches (~4ms entre les deux) au lieu d'une (les modèles Ubison). Il est alors difficile de comparer ces électrificateurs sur une même base que les autres. Dans cette étude, il a été considéré que l'énergie fournie par l'électrificateur était la somme algébrique des deux impulsions. La norme relative aux électrificateurs définit clairement la fréquence de répétition des impulsions qui doit être d'au moins 1 Hz, ou encore de une par seconde. On peut alors se demander de combien peuvent être séparées ces deux impulsions pour ne les considérer comme une seule.



3.5. Influence des conditions de mesure

La même mesure a été réalisée pour 4 électrificateurs pris au hasard le matin vers 8h00 et l'après-midi du même jour vers 15h00 sur le site de Fargues, avec des conditions hygrométriques de l'air élevées le matin et relativement basse l'après-midi. Les résultats obtenus sont présentés sur l'histogramme ci-contre. On peut noter que les énergies reçues pour les 4 appareils sont inférieures le matin, du fait des pertes liées à la rosée.



3.6. La modélisation électrique

Nous l'avons vu, l'énergie reçue par une charge que l'on vient connecter à une clôture peut être très variable, et dépend complètement des conditions dans lesquelles la décharge électrique se produit. En effet, chaque décharge dépend des caractéristiques de la clôture et de l'électrificateur qui l'alimente. Il faut savoir que chaque jonction du circuit peut être modélisée par une résistance, que l'on peut ensuite négliger, ou non... En d'autres termes, il existe plusieurs éléments qui vont engendrer des pertes d'énergies dans le circuit, notamment la résistance intrinsèque du fil de clôture, mais aussi celle modélisant l'interface entre le corps et le fil, ou encore entre le corps et le sol, entre le sol et le piquet de terre mais aussi la conductivité du sol. Lors d'un contact avec la clôture, toutes ces résistances vont prendre des valeurs qui seront différentes et on comprend bien que la résistance de contact entre une personne et le sol sera bien plus élevée si celle-ci porte des chaussures, que si elle est pieds nus, par exemple. Le fait de porter des chaussures entraîne des pertes au niveau de l'interface sol/personne, la décharge reçue par cette dernière sera ainsi plus faible en terme d'énergie. Les valeurs d'impédance équivalente totale présentées dans les résultats (§ 2.6) regroupent les résistances citées précédemment. D'une manière générale, l'impédance équivalente permet donc de mieux comprendre les énergies que l'on peut réellement mesurer sur une clôture. Toutefois, une connaissance statistique des valeurs de chacune de ces résistances permettrait certainement de mieux modéliser le « système clôture », si l'on veut prévoir l'énergie réelle reçue lors d'un choc. Mais ceci nécessiterait des études complémentaires plus précises, orientées sur chacune d'elles, ce qui n'était pas l'objet de ces essais de terrain.

4. Conclusion

Globalement, ces essais de terrain ont confirmé que la modélisation d'une clôture est une tâche ardue. En effet, de nombreux facteurs influent sur les mesures que l'on peut réaliser et notamment la qualité de la terre et le contact avec celle-ci, à l'endroit où la mesure est effectuée.

Le premier constat est que sur plus de 1000 mesures effectuées, aucune énergie au dessus de 1,3 Joules n'a été enregistrée. Bien entendu, cela ne constitue en rien une preuve de ne pas trouver des énergies supérieures sur d'autres clôtures, dans la mesure où trois sites seulement ont été retenus. De plus, la qualité de la terre n'était pas forcément optimale sur certains d'entre eux, ce qui limite directement l'énergie mesurable.

Cependant la marge est grande par rapport à la valeur de 5 Joules. Même sur le site de Mirecourt où les conditions en terme de sécurité étaient les moins bonnes (bonne terre, pas de végétation, courte clôture...) les énergies mesurées, que ce soit à l'oscilloscope ou au joulimètre, n'ont pas dépassé le Joule.

Le second constat est que les énergies maximales enregistrées proviennent d'électrificateurs dont les énergies de sortie ne dépassent pas 6 Joules. En comparaison cette valeur maximale a également été enregistrée avec un électrificateur non homologué mais qui présente quant à lui une énergie de sortie de 57 Joules !

Enfin, dans cette étude, rien ne permet d'affirmer que les électrificateurs de type UBI, malgré des énergies de sortie maximales élevées, présentent des énergies de décharge supérieures à celles d'appareils non UBI, lors d'un contact sur une clôture avec retour par la terre.

5. Annexes

5.1. Annexe 1 : Protocole d'expérimentation

Electrificateurs et multiusage de l'espace rural

Protocole expérimental

Printemps 2008

Proposition – Document de travail

- **Objectif des expérimentations de terrain**

Suite aux travaux réalisés dans le cadre du groupe de pilotage de l'étude sur « Electrificateurs de clôture, multiusage de l'espace rural et sécurité des personnes », le Comité de pilotage du 10/10/2007 a acté la réalisation de tests de terrain selon les termes suivants :

- Le BCMA et l'IAMM, avec l'appui de l'APAVE et de fabricants, mettent sur pied une proposition de protocole qui prendra en compte à la fois des mesures physiques et la description du terrain. Une expérimentation sera réalisée dans le cadre de la présente mission ;
- L'IAMM diffusera cette proposition auprès des fabricants pour parvenir à une validation.

Avec l'appui de M. Tosolini de l'APAVE Lyonnaise, l'IAMM met en discussion le protocole expérimental suivant.

- **Contexte des expérimentations**

Ces expérimentations représentent le "volet terrain" complétant les travaux en cours menés par l'APAVE et des constructeurs :

1. Modélisation du "système clôture",
2. Effets sur le corps humain,
3. Expérimentations de terrain.

Ces trois "volets" sont complémentaires, indépendants les uns des autres, mais évidemment liés pour expliquer et décrire les phénomènes électriques et tenter d'apprécier leurs effets sur la sécurité des personnes.

Le troisième "volet" portant sur les expérimentations a été proposé à plusieurs reprises au début des travaux de groupe. Les résultats obtenus, notamment ceux de l'analyse fonctionnelle et de la modélisation du "système clôture", ainsi que la description normée de parcs au Lycée de Mirecourt et à Fargues, dans le Lot, permettent maintenant de proposer un ensemble de mesures sur le terrain pour mieux appréhender la nature des impulsions électriques en situation de terrain.

• Organisation des expérimentations

Nous proposons aux constructeurs qui le souhaitent, de participer pleinement à ces expérimentations, notamment sur les points suivants :

- Discussion du protocole,
- Participation aux mesures,
- Interprétation des mesures,
- Mise à disposition de matériel.

Le protocole d'expérimentation ainsi que la liste des parties prenantes de ces expérimentations seront diffusés dans l'action "Mesures de paramètres électriques sur terrain" du site <http://www.cyberpassages.org/>. La description des caractéristiques physiques s'appuiera sur les fiches "Equipements" du site <http://www.cyberpassages.org/> décrivant les installations à tester.

Les mesures des paramètres électriques des parcs et/ou clôtures seront réalisées avec un oscilloscope et enregistrées sur le tableau joint.

Les résistances de simulation de 100, 500 et 1000 Ω seront validées par l'APAVE Lyonnaise. La résistance liée au point de contact avec la clôture pourra être prise en compte par la modélisation. Le protocole expérimental est validé par M. Tosolini et pourra être mené avec l'appui du BCMA.

Ces expérimentations devront être menées au printemps 2008.

• Protocole des expérimentations

L'objectif de ces tests est de mesurer, de la manière la plus rigoureuse et la plus incontestable possible, l'énergie délivrée par des électrificateurs puissants en différents points du "système clôture" étudié :

- aux bornes de sortie du poste : réalisation en laboratoire ?
- sur la ligne de transport,
- sur la clôture : en début de clôture, au milieu de la clôture et en fin de clôture.

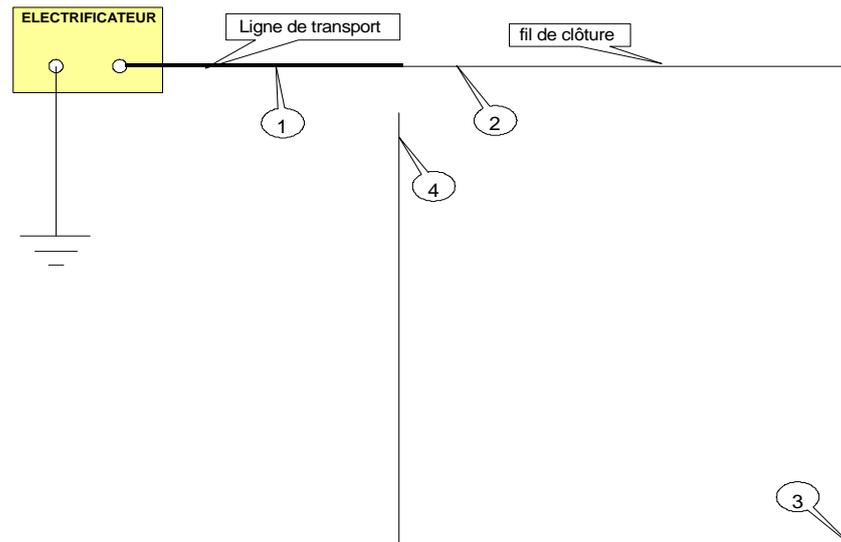
5.1.1.1.Première étape : qualité de la prise de terre

Mesure avec un oscilloscope de la différence de potentiel entre la borne de l'appareil connectée à la terre et une prise de terre « de référence » : un piquet d'un mètre de longueur planté à plus de 10 mètres.

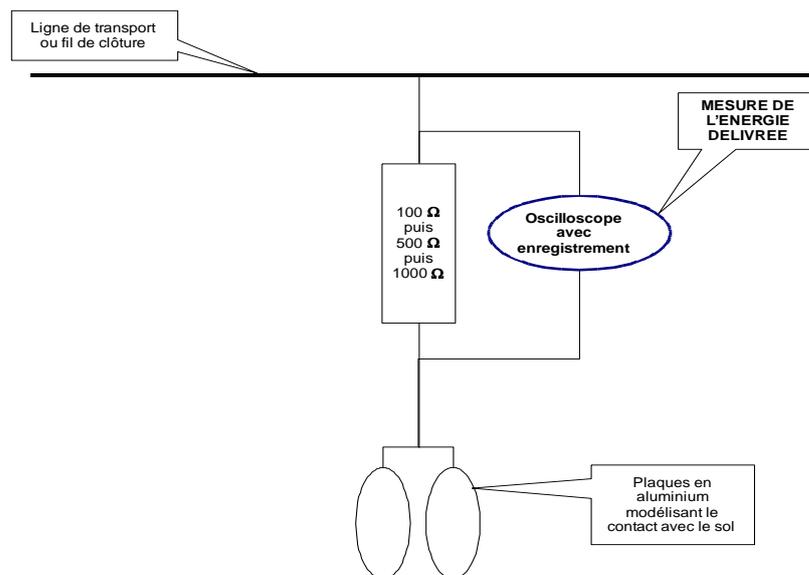
Deuxième étape : énergie délivrée

Il s'agit de réaliser sur le terrain trois mesures en 4 points du « système clôture » selon le dispositif suivant :

Points de mesure :



Dispositif :

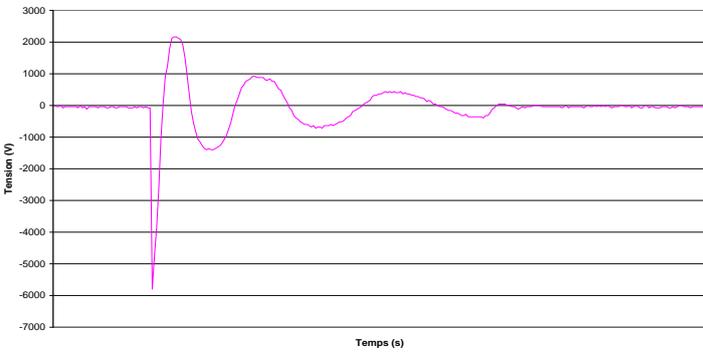


Lors de la mesure, la personne se tient debout sur les plaques simulant le contact avec le sol.

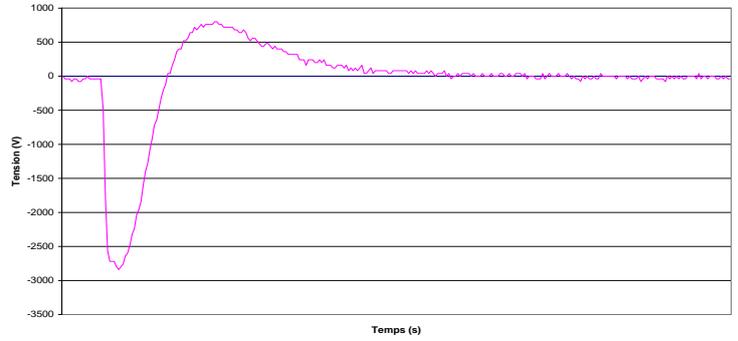
5.2. Annexe 2 : Validation du matériel par l'APAVE

- Comparaison des oscilloscopes des constructeurs avec celui de l'APAVE.

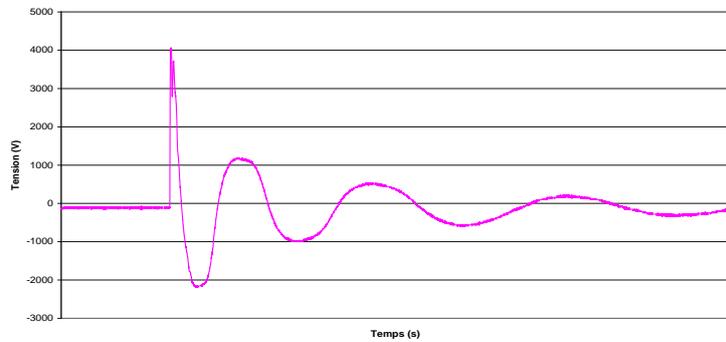
Impulsion à vide
APAVE



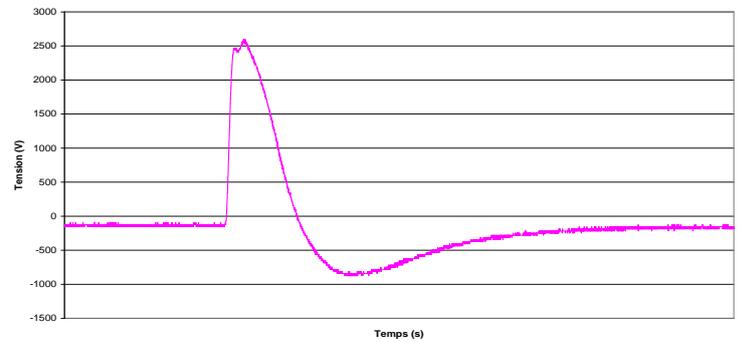
Impulsion sous 500 Ohms
APAVE



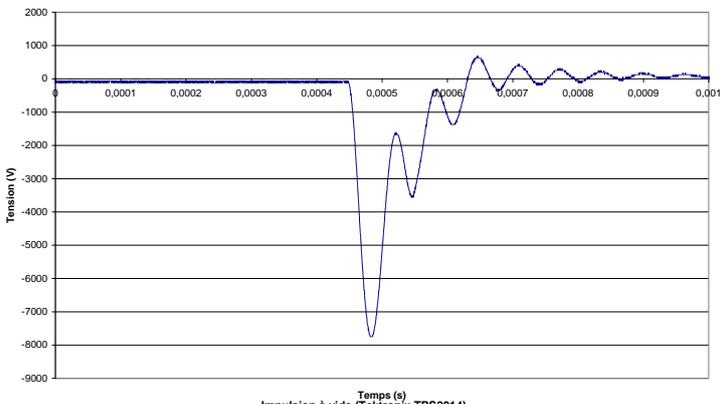
Impulsion à vide
Voltcraft



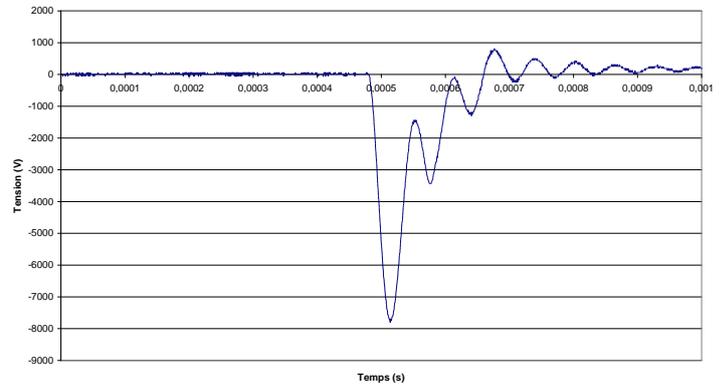
Impulsion sous 500 Ohms
Voltcraft



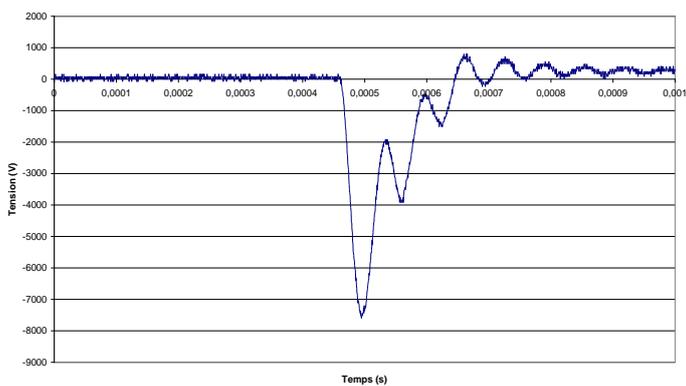
Impulsion à vide (Voltcraft DSO 2)



Impulsion à vide (Voltcraft DSO 1)



Impulsion à vide (Tektronix TPS2014)



5.3. Annexe 3 : Méthode de calcul

- Calcul de l'énergie

La formule de l'énergie est donnée par $E = \frac{U^2}{R} \times t$. Or dans le cas d'une impulsion de tension, celle-ci est fonction du temps. On doit donc intégrer cette tension, préalablement élevée au carré, par rapport au temps, puis diviser le résultat de cette intégrale par la charge R. Autrement dit :

$$E = \int_{t_1}^{t_2} \frac{U^2(t)}{R} \times dt \quad (\text{Où } t_1 \text{ et } t_2 \text{ représentent respectivement le début et la fin de l'impulsion})$$

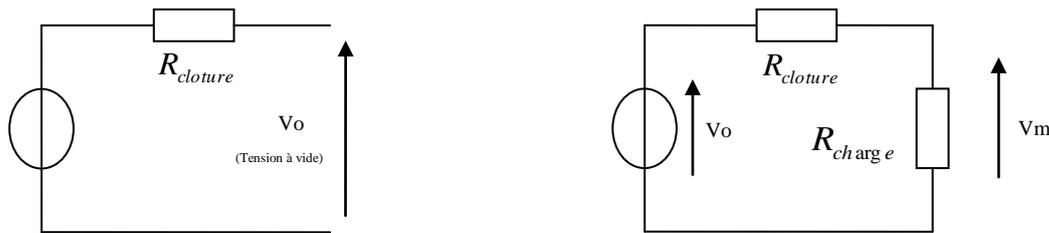
Bien entendu, la tension mesurée est échantillonnée puisqu'elle est obtenue à l'aide d'oscilloscope numérique. On réalise donc la somme discrète des valeurs de tension élevées au carré, multipliées par le pas d'échantillonnage. On divise ensuite le résultat de cette somme par la charge.

$$E = \sum_n \frac{U_n^2}{R} \times \Delta t \quad \text{Les } U_n \text{ représentent ici la suite des échantillons de tension enregistrés.}$$

Δt représente le pas d'échantillonnage.

- Calcul de l'impédance $R_{clôture}$ équivalente.

Ce calcul est permis grâce à la mesure de la tension à vide V_0 . Lors de la connection d'une charge connue R_{charge} , on mesure la tension V_m à ses bornes et on en déduit, de par la chute de tension, la résistance équivalente $R_{clôture}$ en série avec la charge R_{charge} .



La formule du diviseur de tension nous donne :

$$V_m = \frac{R_{charge}}{R_{charge} + R_{clôture}} \times V_0 \Leftrightarrow R_{clôture} = \frac{R_{charge} (V_0 - V_m)}{V_m}$$

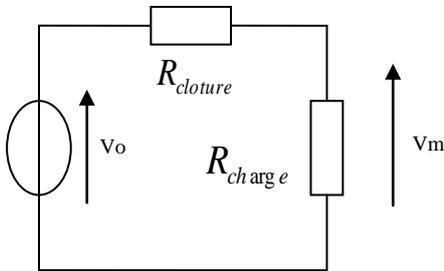
Les valeurs de V_0 et V_m sont les tensions efficaces (RMS). Elles sont calculées telles que :

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} U^2(t) dt}$$

(Où t_1 et t_2 représentent respectivement le début et la fin de l'impulsion)

5.4. Annexe 4 : Répartition de l'énergie

- Impédance en série



Soit :

- E_{totale} l'énergie totale délivrée par l'électrificateur dans la charge $R_{charge} + R_{cloture}$
- $E_{cloture}$ l'énergie reçue par la résistance équivalente de la clôture
- E_{Charge} l'énergie reçue par l'homme ou l'animal

$$E_{totale} = \frac{V_0^2}{R_{charge} + R_{cloture}} \times t \quad \text{et} \quad V_m = \frac{R_{charge}}{R_{charge} + R_{cloture}} \times V_0$$

$$\text{De plus, } E_{Charge} = \frac{V_m^2}{R_{charge}} \times t = \frac{\left(\frac{R_{charge}}{R_{cloture} + R_{charge}} \times V_0 \right)^2}{R_{charge}} \times t$$

$$\Leftrightarrow E_{Charge} = \frac{R_{charge}}{(R_{cloture} + R_{charge})^2} \times V_0^2 \times t$$

Si on fait le rapport entre E_{charge} et E_{totale} , on obtient :

$$\frac{E_{Charge}}{E_{Totale}} = \frac{\frac{R_{charge}}{(R_{cloture} + R_{charge})^2} \times V_0^2 \times t}{\frac{V_0^2}{R_{charge} + R_{cloture}} \times t} = \frac{R_{charge}}{(R_{cloture} + R_{charge})}$$

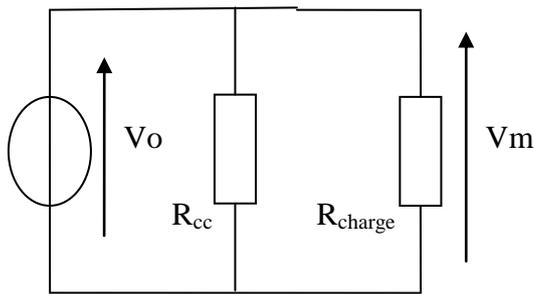
Ainsi on a bien la relation :

$$E_{Charge} = \frac{R_{charge}}{R_{charge} + R_{cloture}} \times E_{totale}$$

Le raisonnement est strictement identique pour obtenir $E_{cloture}$, on a :

$$E_{cloture} = \frac{R_{cloture}}{R_{charge} + R_{cloture}} \times E_{totale}$$

- Impédance en parallèle



Soit :

- E_{totale} l'énergie totale délivrée par l'électrificateur dans la charge $R_{charge} + R_{cc}$
- E_{cc} l'énergie reçue par la résistance du court-circuit
- E_{Charge} l'énergie reçue par l'homme ou l'animal

($V_0 = V_m$ puisque les résistances sont en parallèles.)

$$E_{totale} = \frac{V_0^2}{\left(\frac{R_{cc} \times R_{charge}}{R_{cc} + R_{charge}} \right)} \times t \quad \text{et} \quad E_{charge} = \frac{V_0^2}{R_{charge}} \times t$$

Si on fait le rapport entre E_{charge} et E_{totale} , on obtient :

$$\frac{E_{charge}}{E_{totale}} = \frac{\frac{V_0^2}{R_{charge}} \times t}{\left(\frac{R_{charge} \times R_{cc}}{R_{charge} + R_{cc}} \right) \times t} = \frac{R_{cc}}{R_{charge} + R_{cc}}$$

Ainsi on a bien la relation :

$$E_{Charge} = \frac{R_{cc}}{R_{charge} + R_{cc}} \times E_{totale}$$

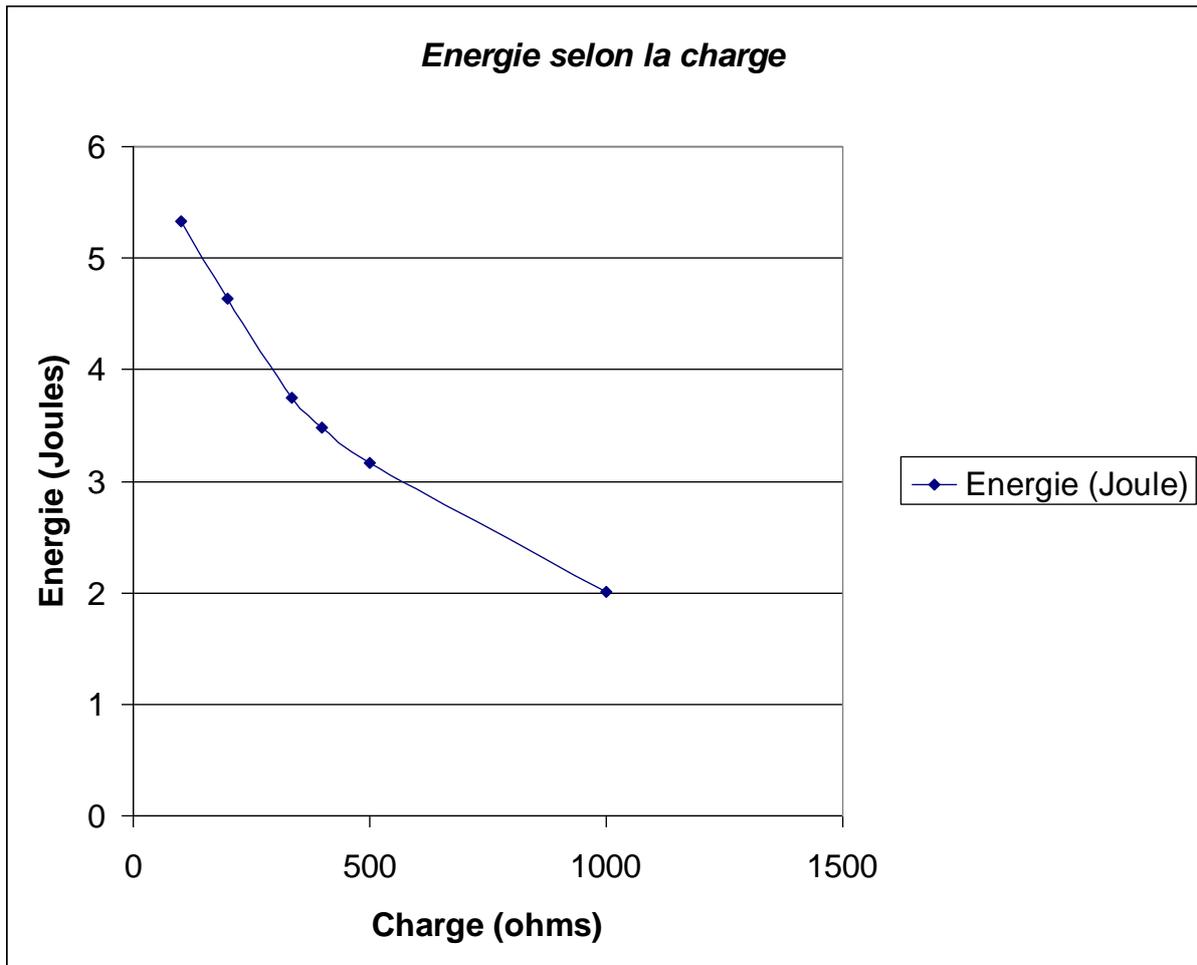
Le raisonnement est strictement identique pour obtenir E_{cc} , on a :

$$E_{cc} = \frac{R_{charge}}{R_{charge} + R_{cc}} \times E_{totale}$$

5.5. Annexe 5 : Fiche détaillée de chaque électrificateur

Les fiches résumant les données collectées pour chaque électrificateur sont données dans les pages suivantes.

AgronMaster



Précisions sur les différents sites de mesures :

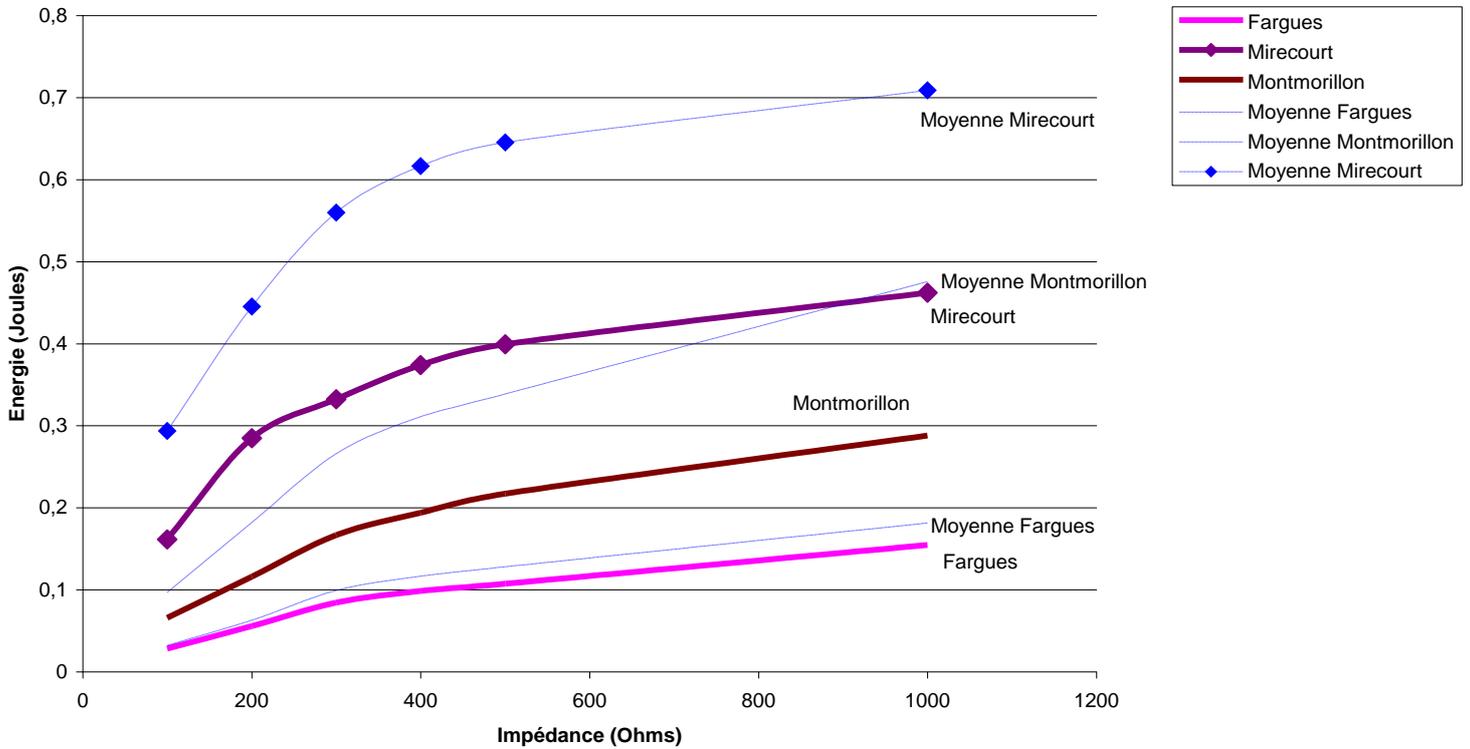
- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture. Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

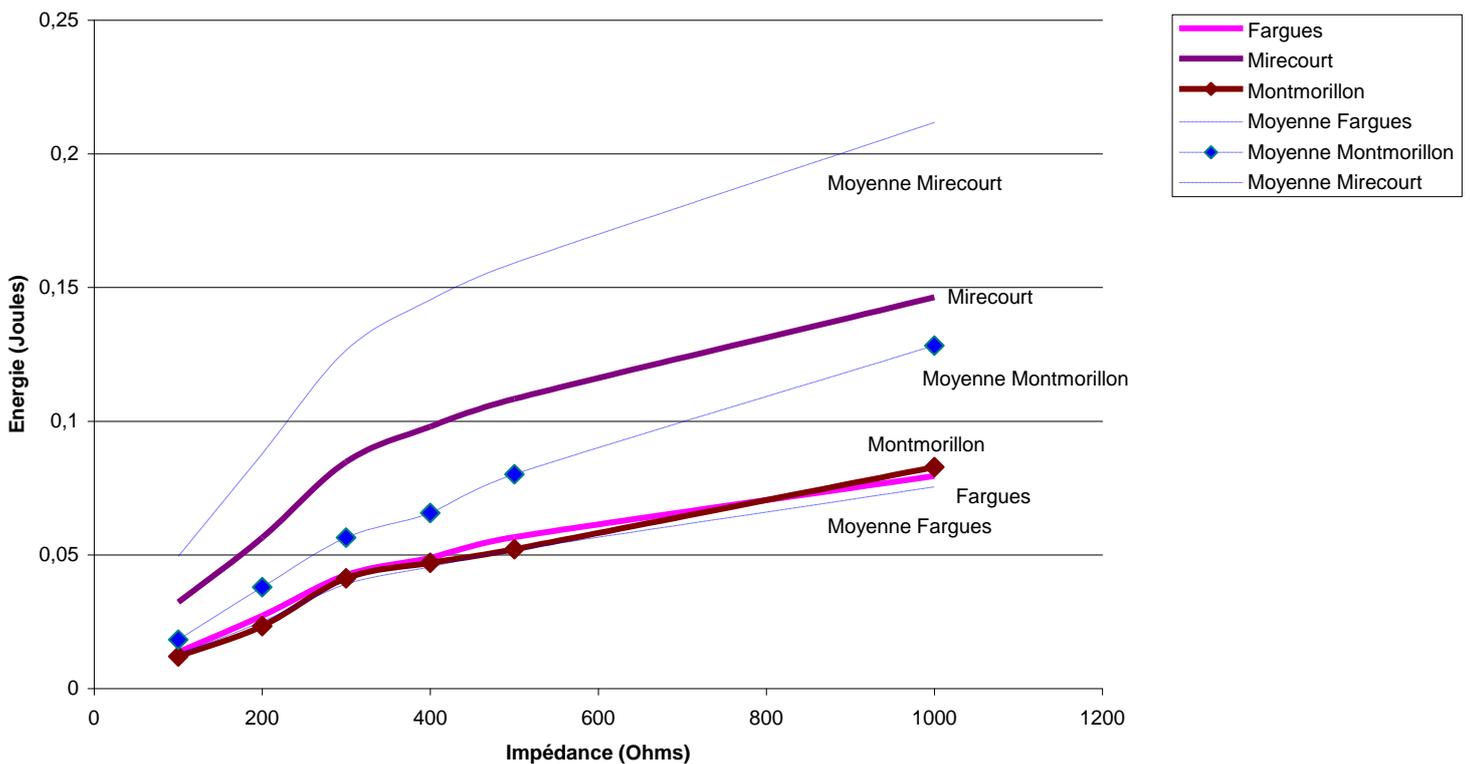
Energie maximale mesurée : **0,46 Joule**

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

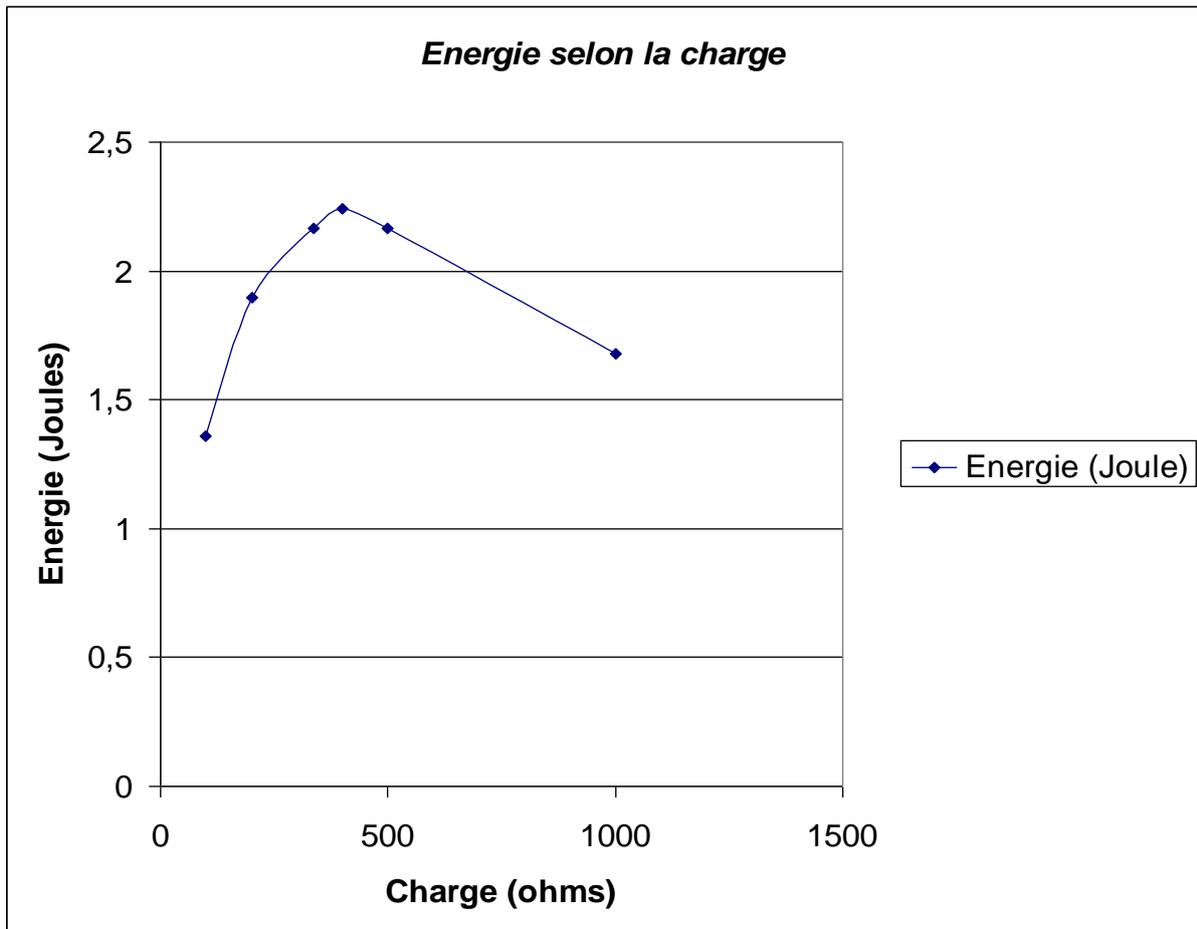
Agronmaster Début de clôture



Agronmaster Fin de clôture



Clos2005



Précisions sur les différents sites de mesures :

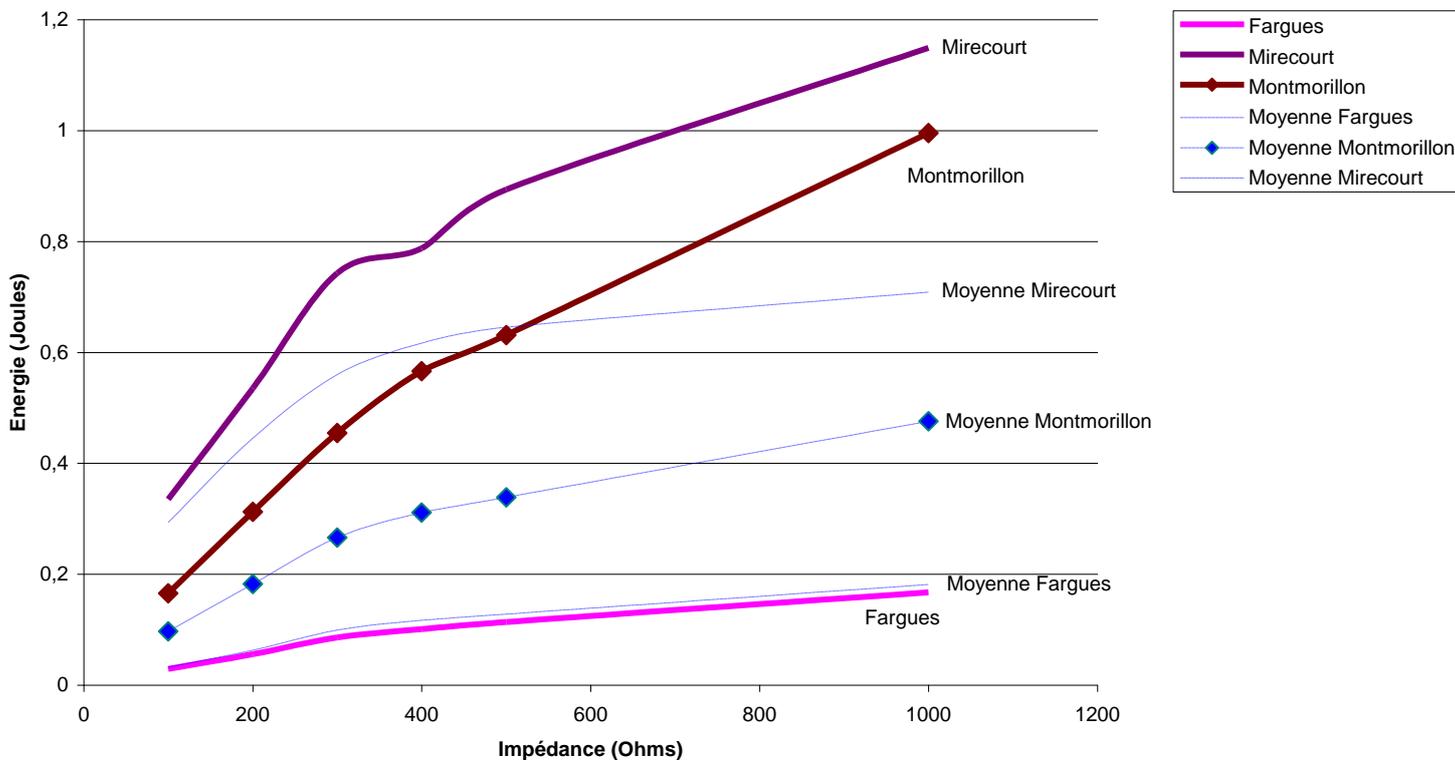
- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture. Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

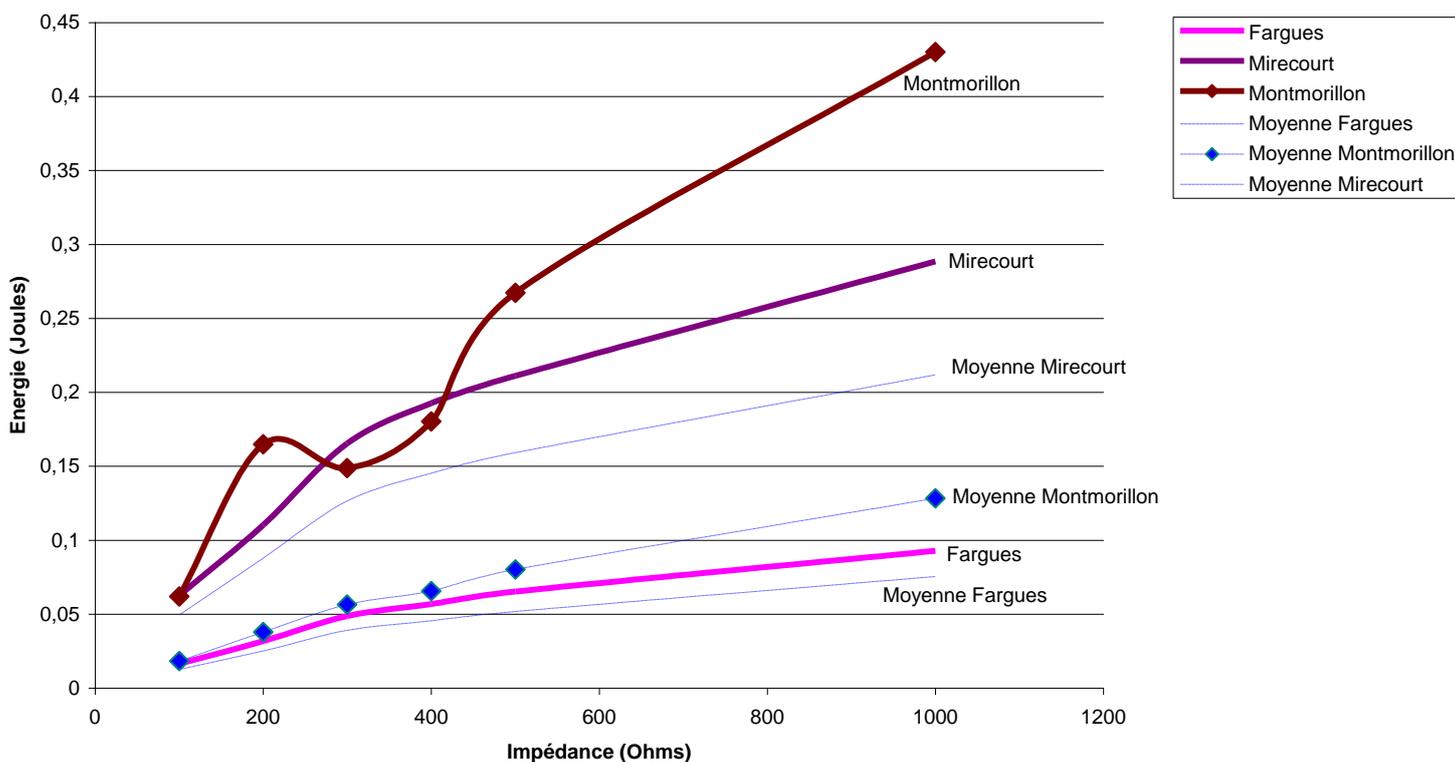
Energie maximale mesurée : 1,15 Joules

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

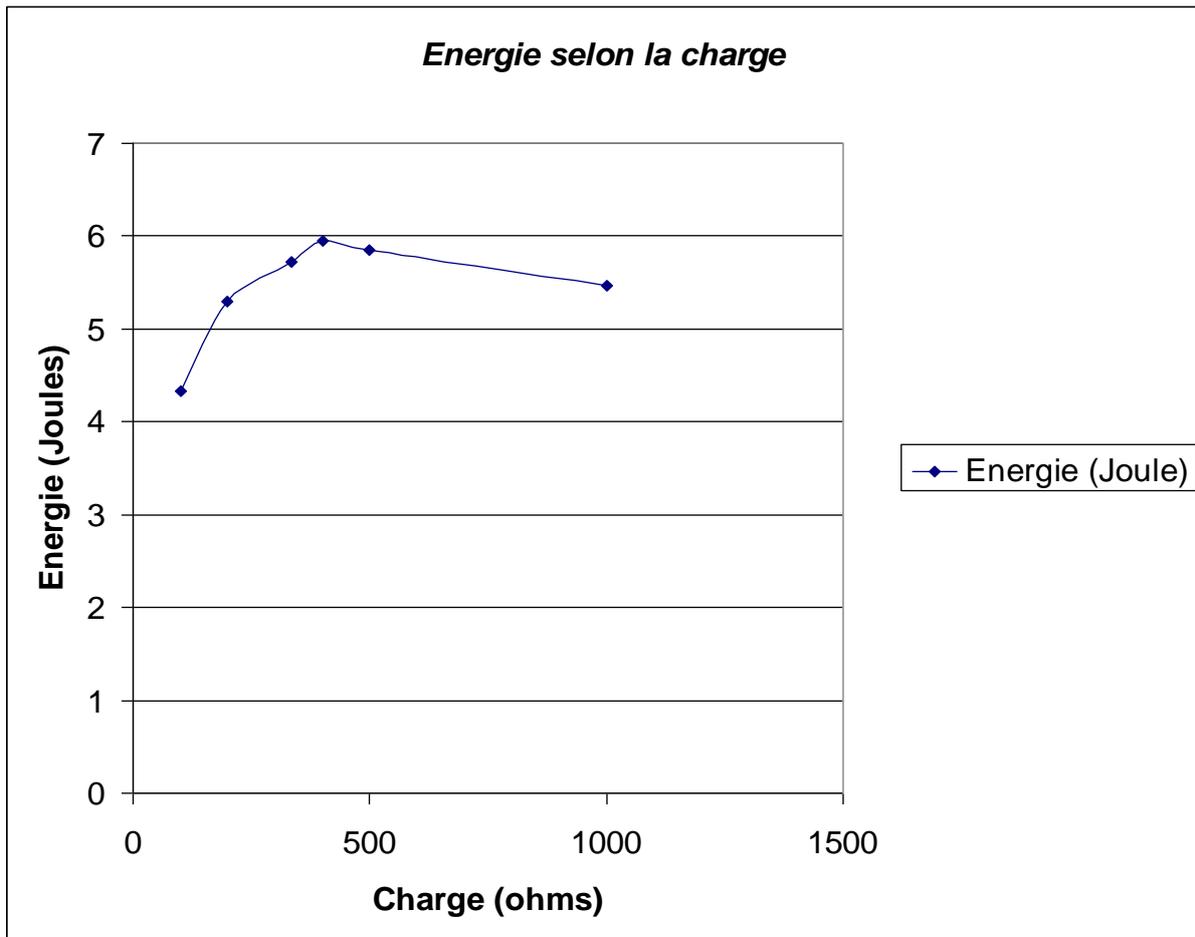
**Clos2005
Début de clôture**



**Clos2005
Fin de clôture**



Hyperflash Turbo



Précisions sur les différents sites de mesures :

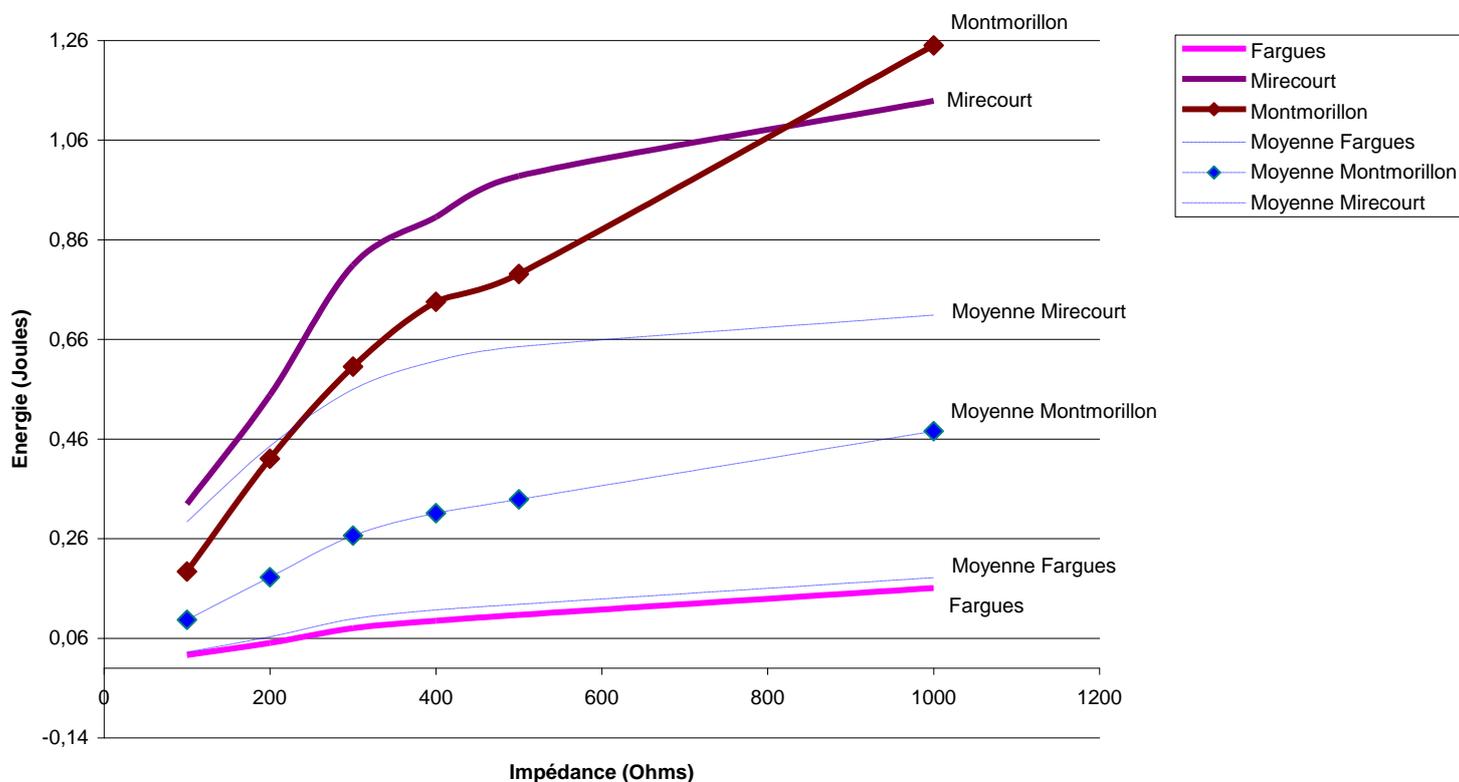
- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture. Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

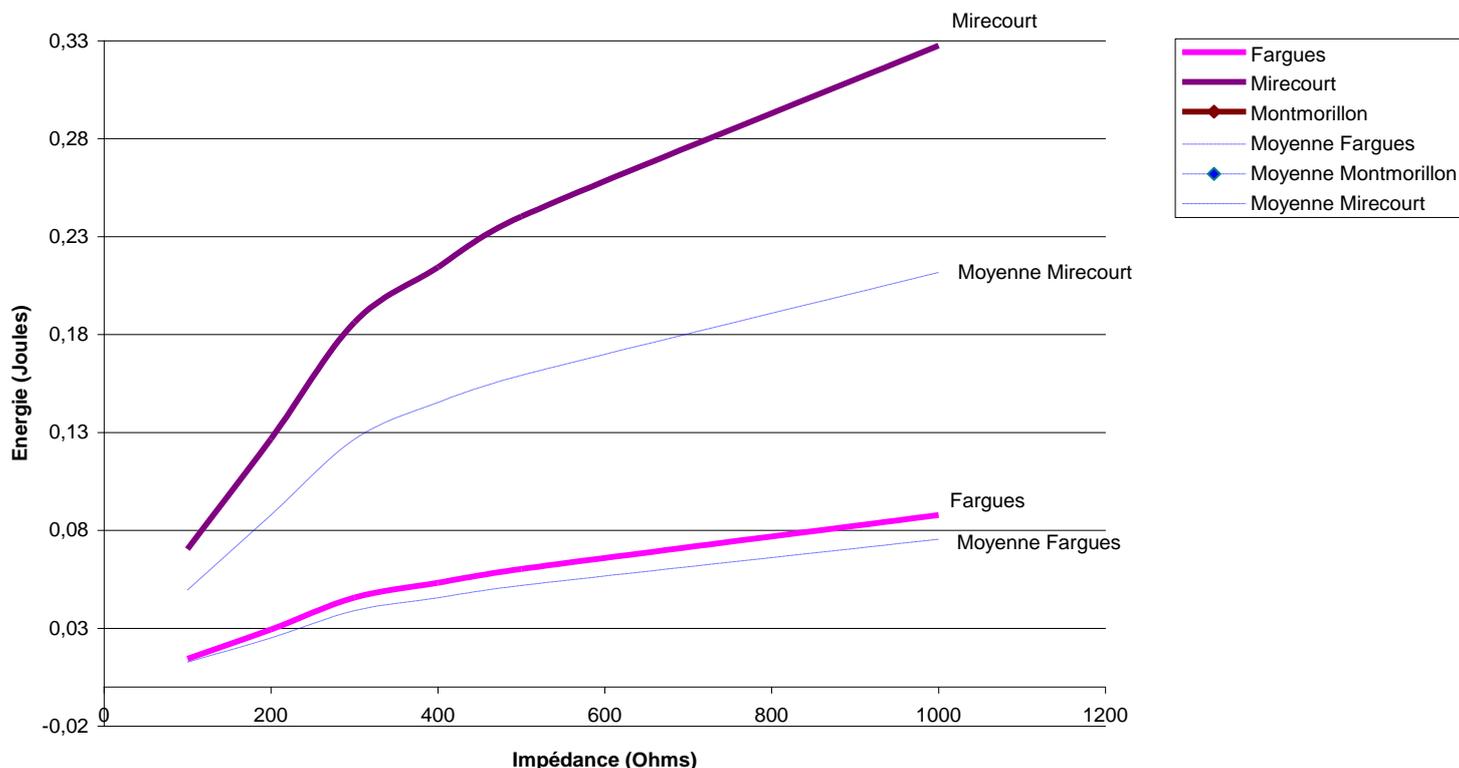
Energie maximale mesurée : 1,25 Joules

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

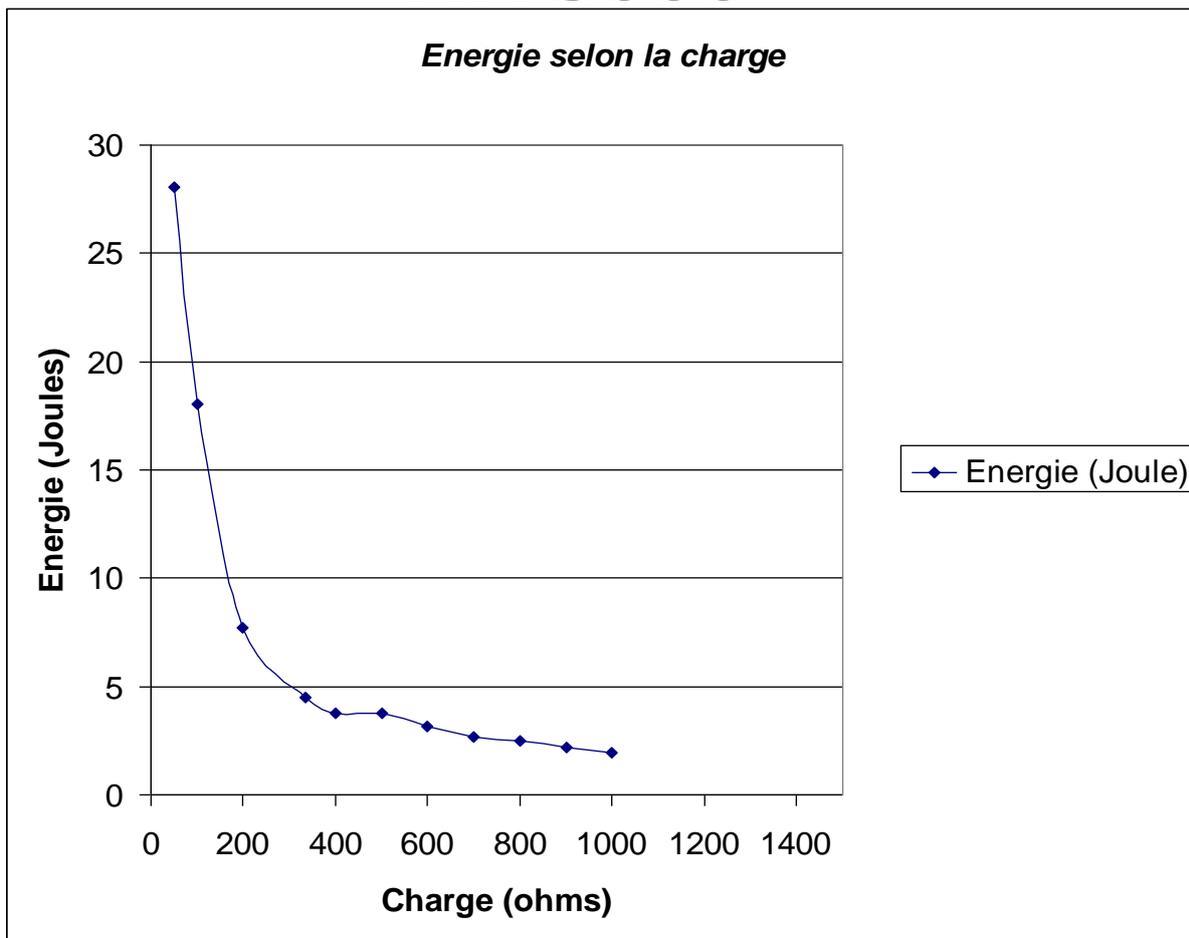
Hyperflash Début de clôture



Hyperflash Fin de clôture



MR 5000



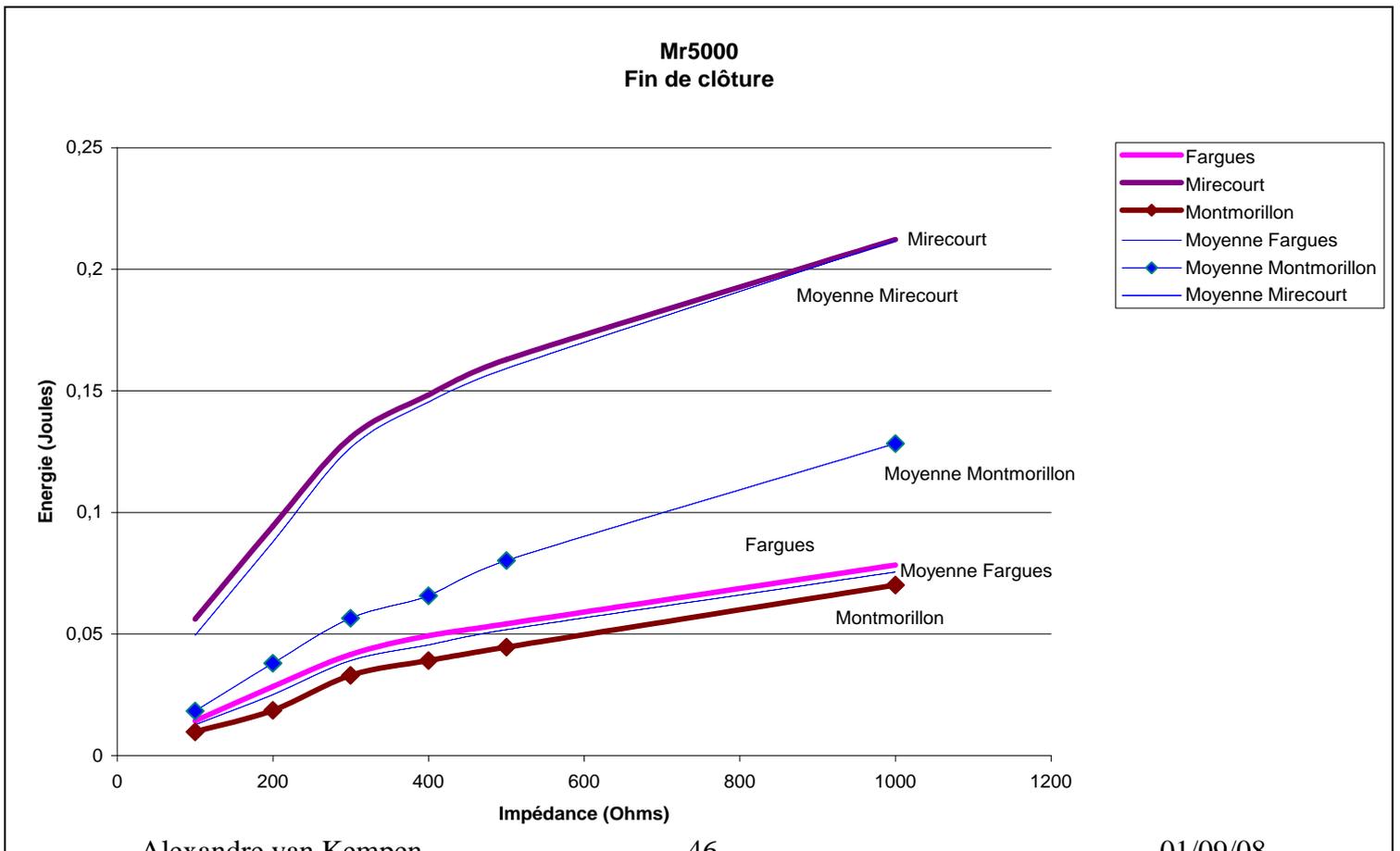
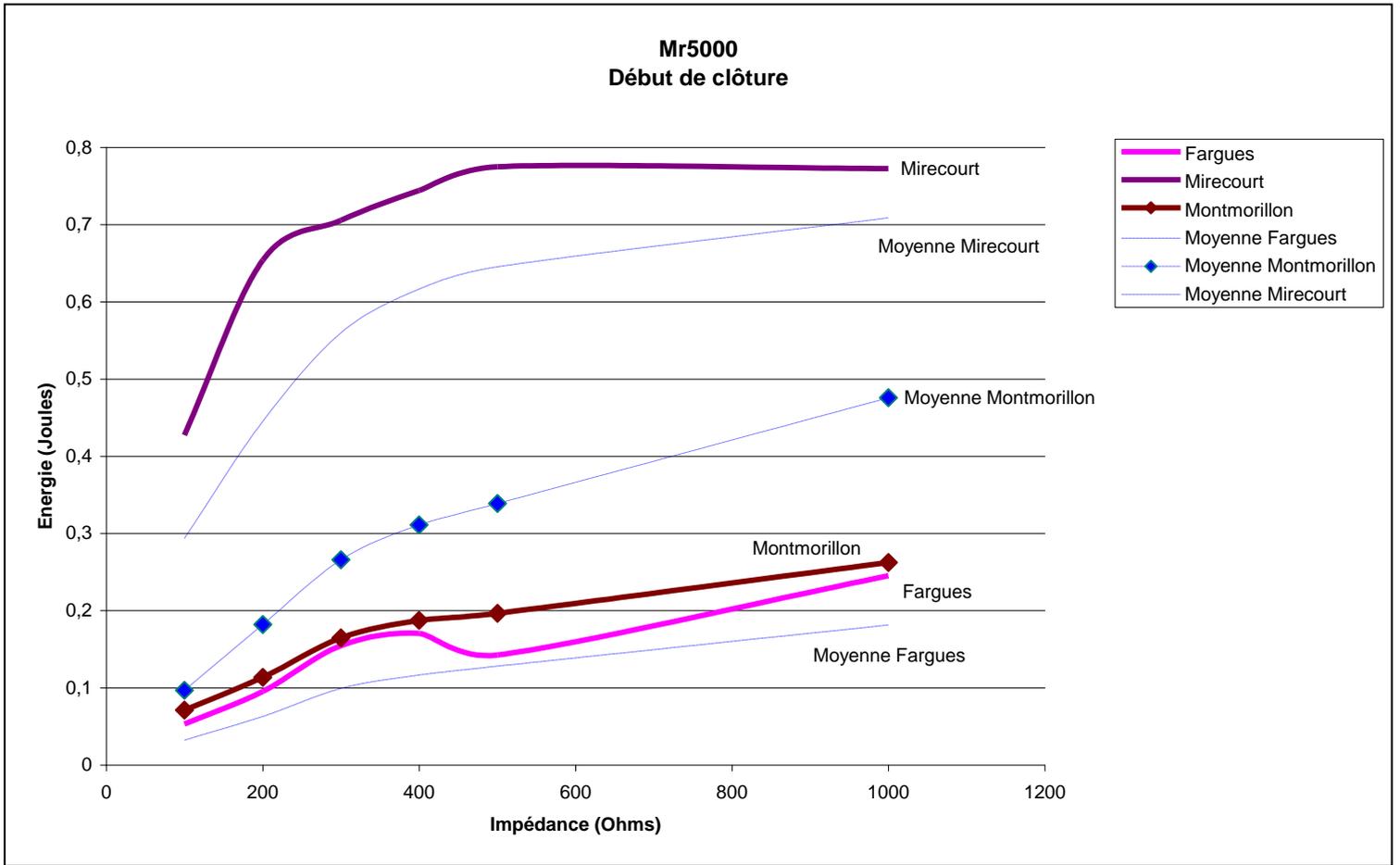
Précisions sur les différents sites de mesures :

- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

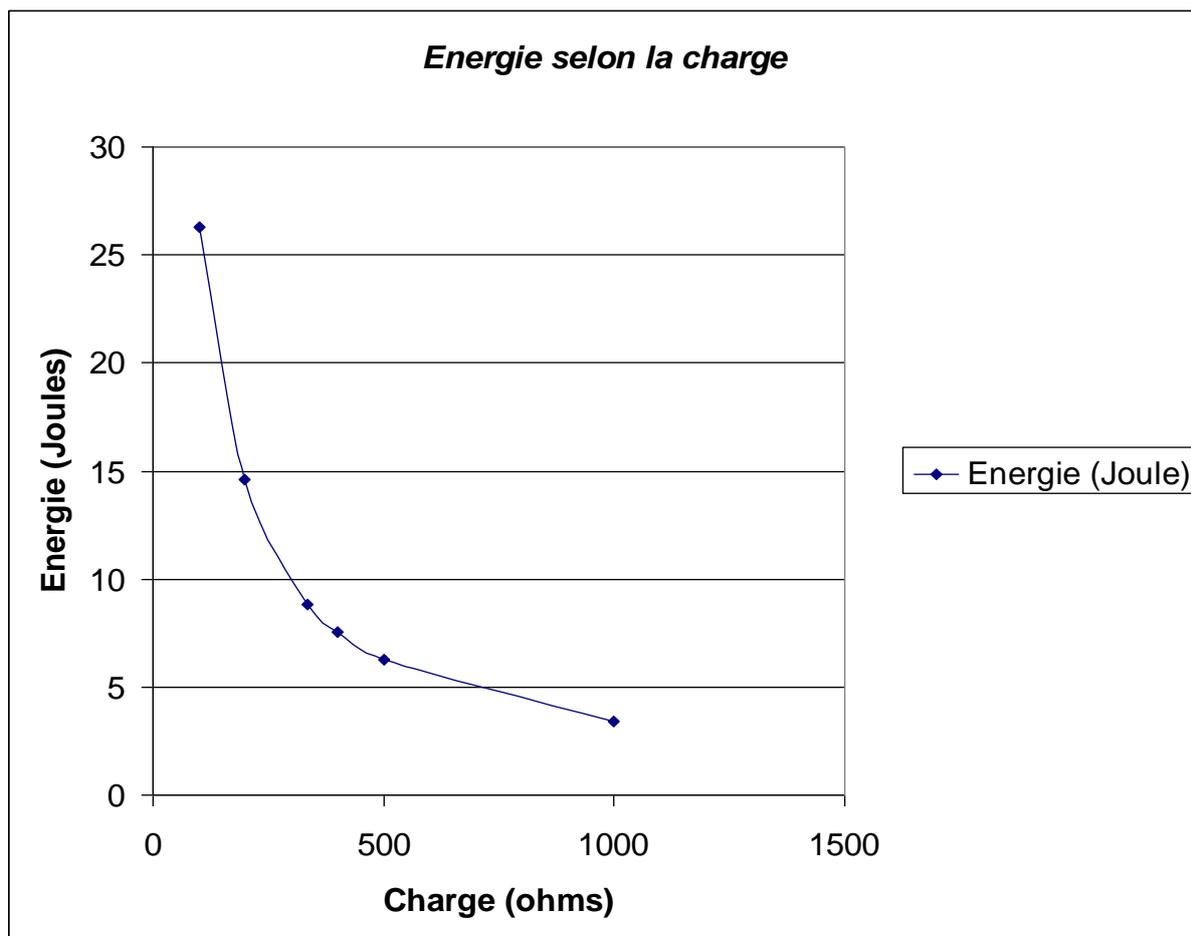
Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture. Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

Energie maximale mesurée : **0,77 Joule**

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)



Mx7500



Précisions sur les différents sites de mesures :

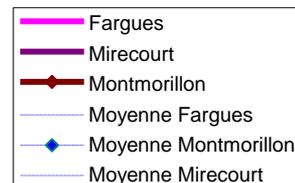
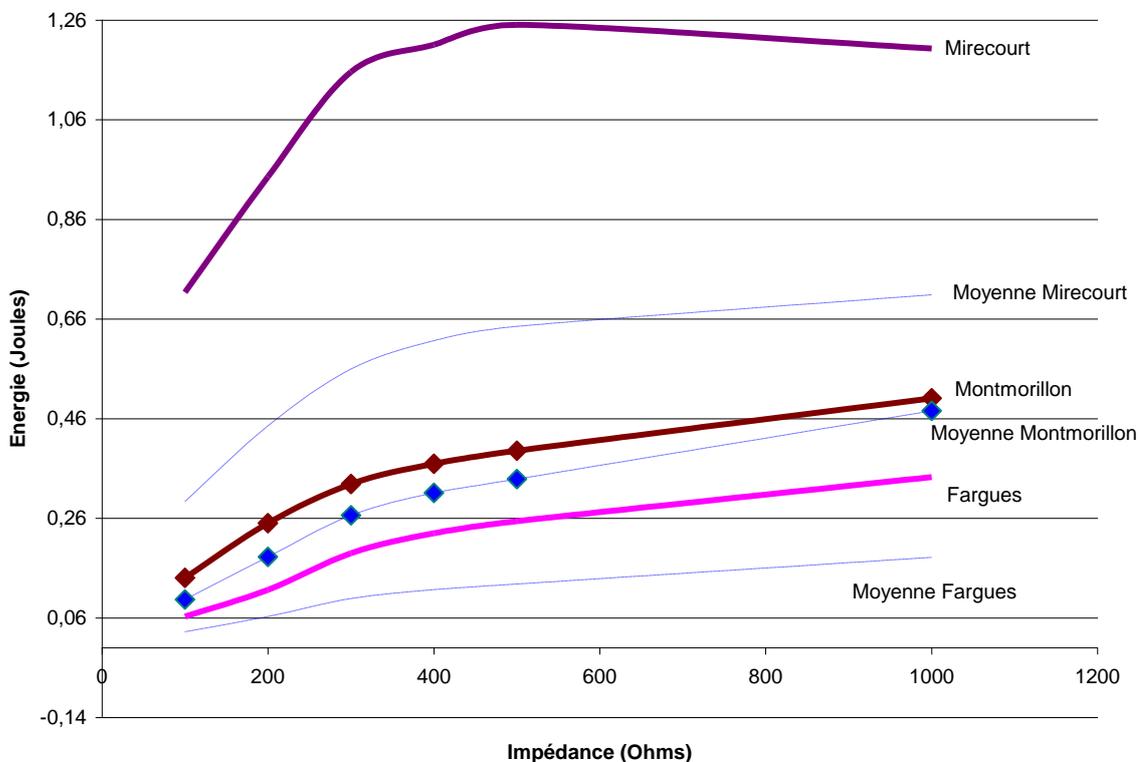
- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture. Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

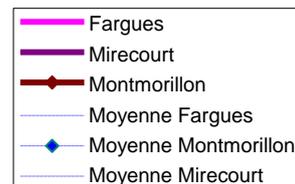
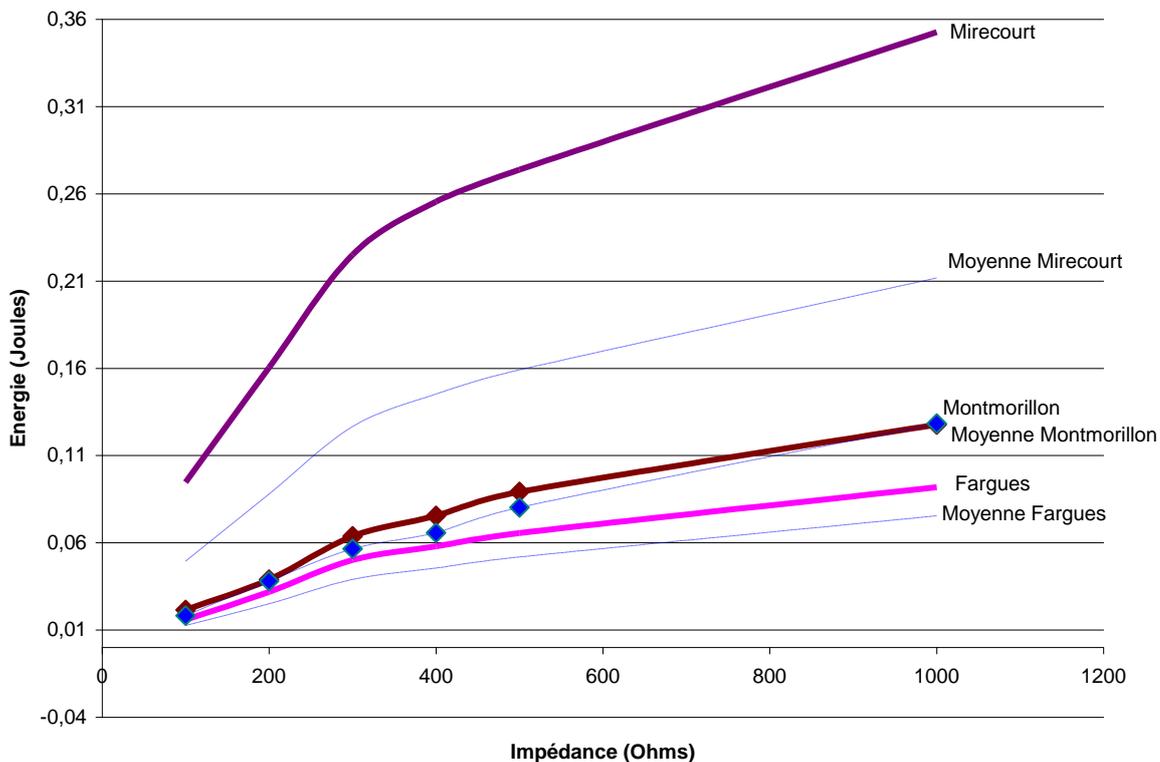
Energie maximale mesurée : 1,25 Joules

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

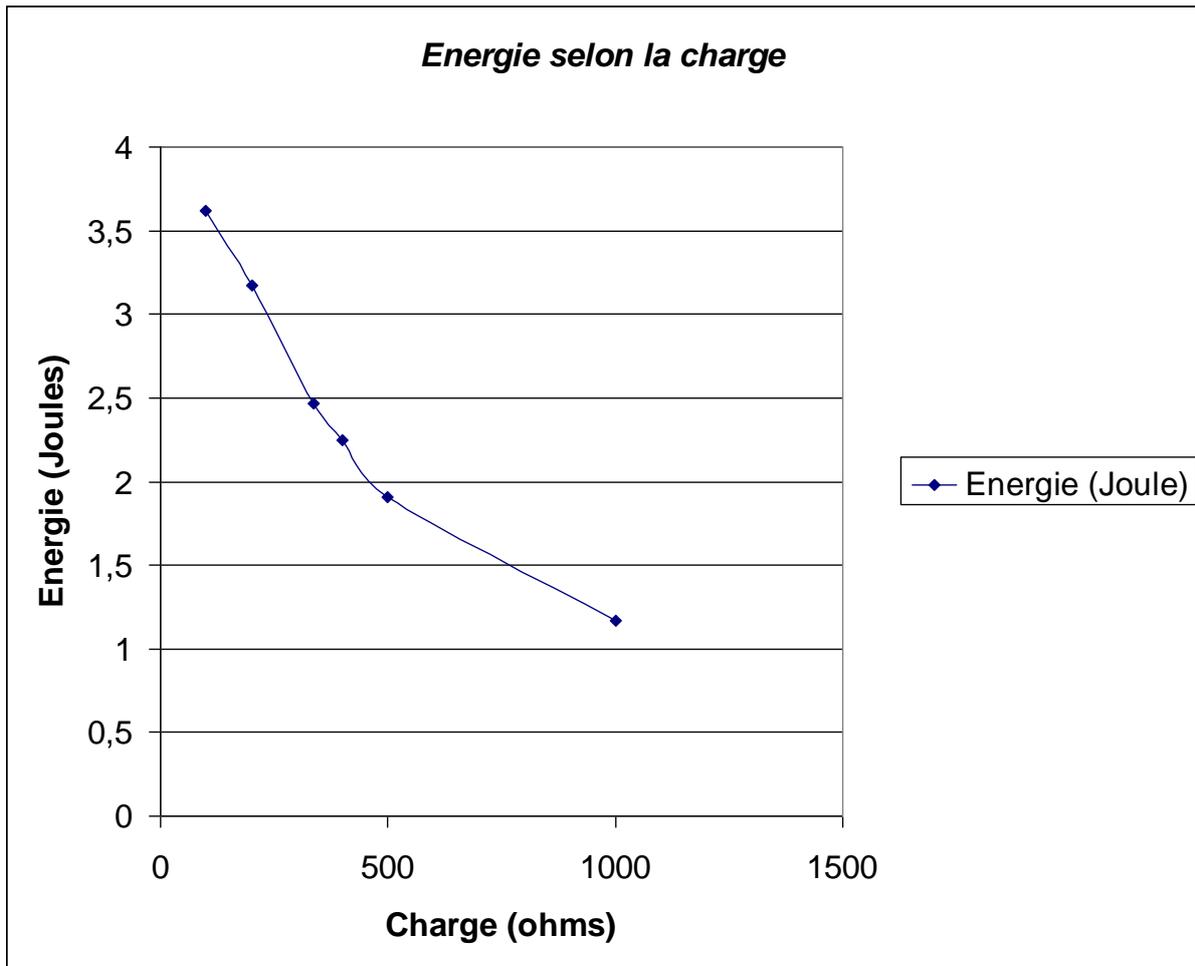
**Mx7500
Début de clôture**



**Mx7500
Fin de clôture**



N140



Précisions sur les différents sites de mesures :

- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

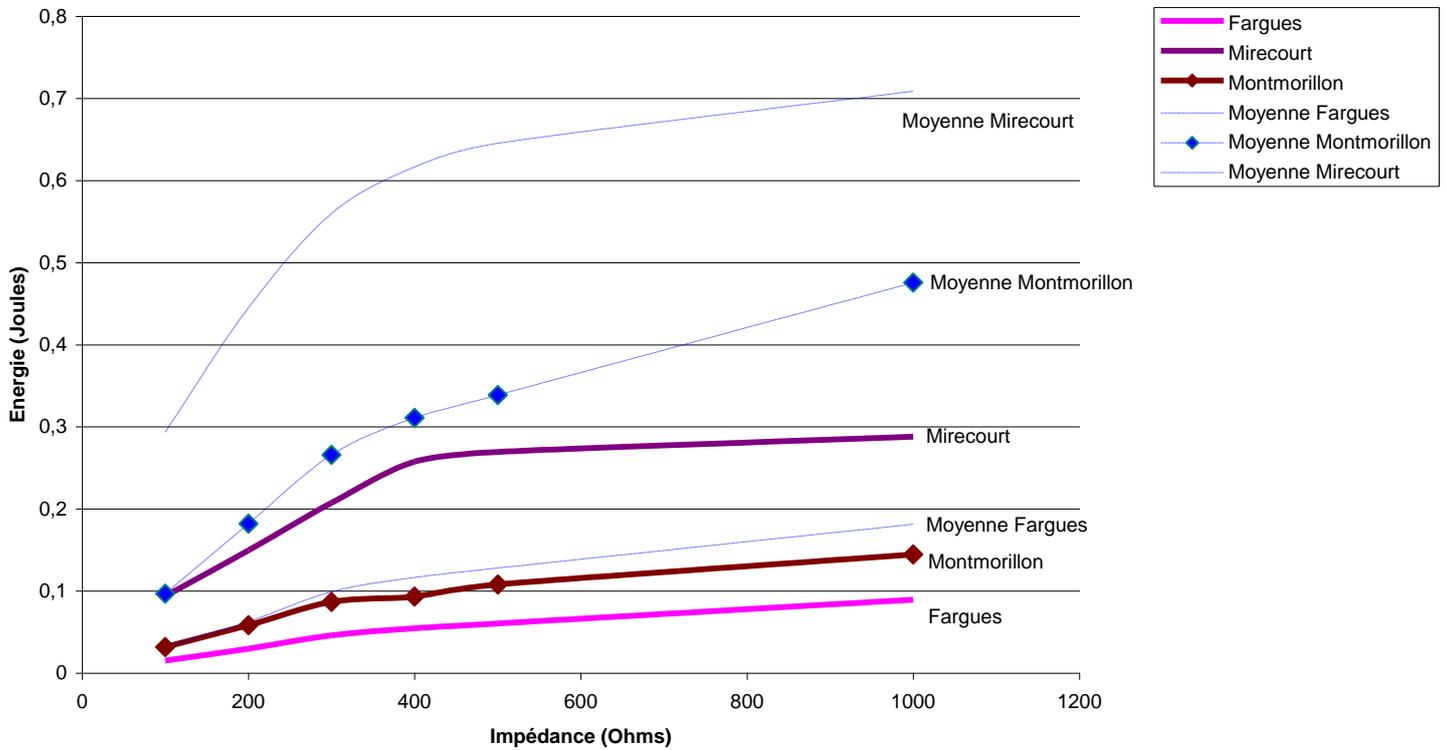
Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture.

Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

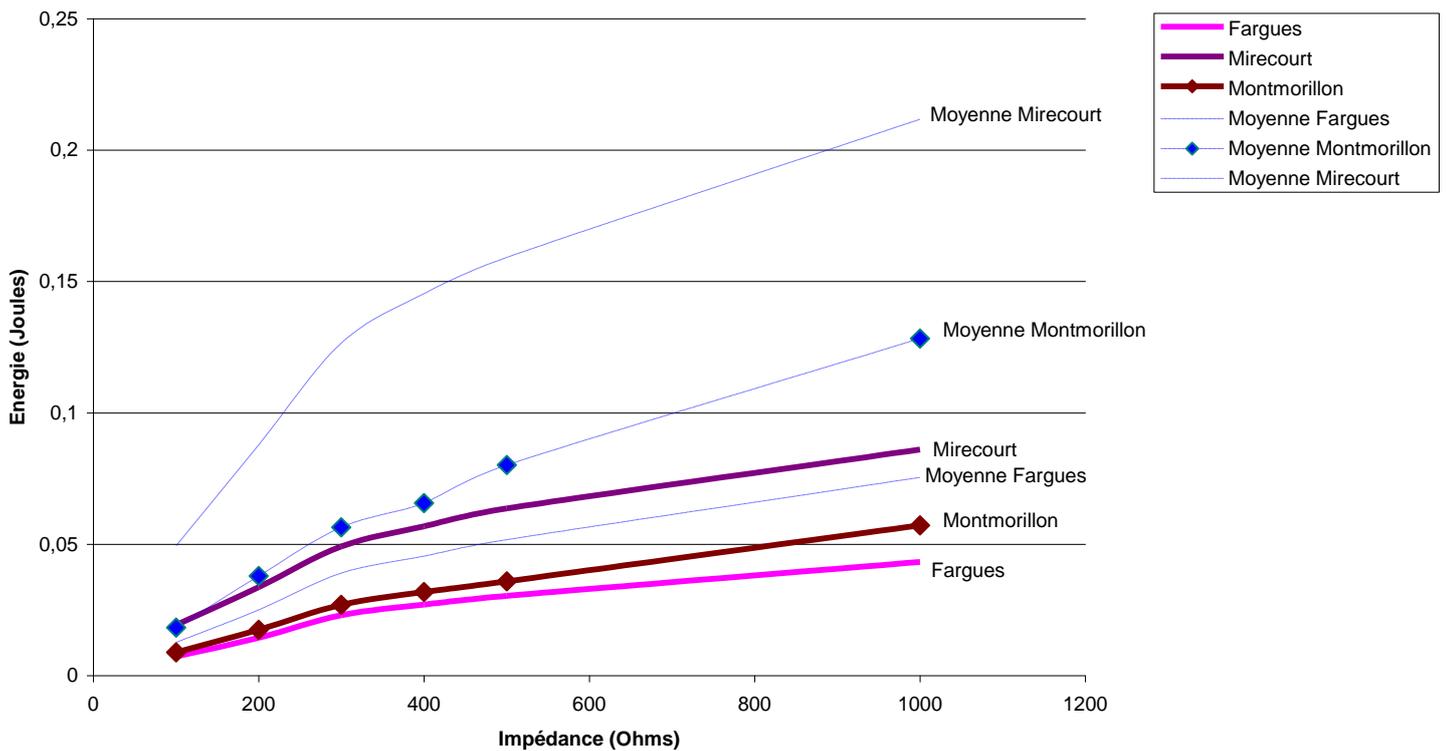
Energie maximale mesurée : **0,29 Joule**

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

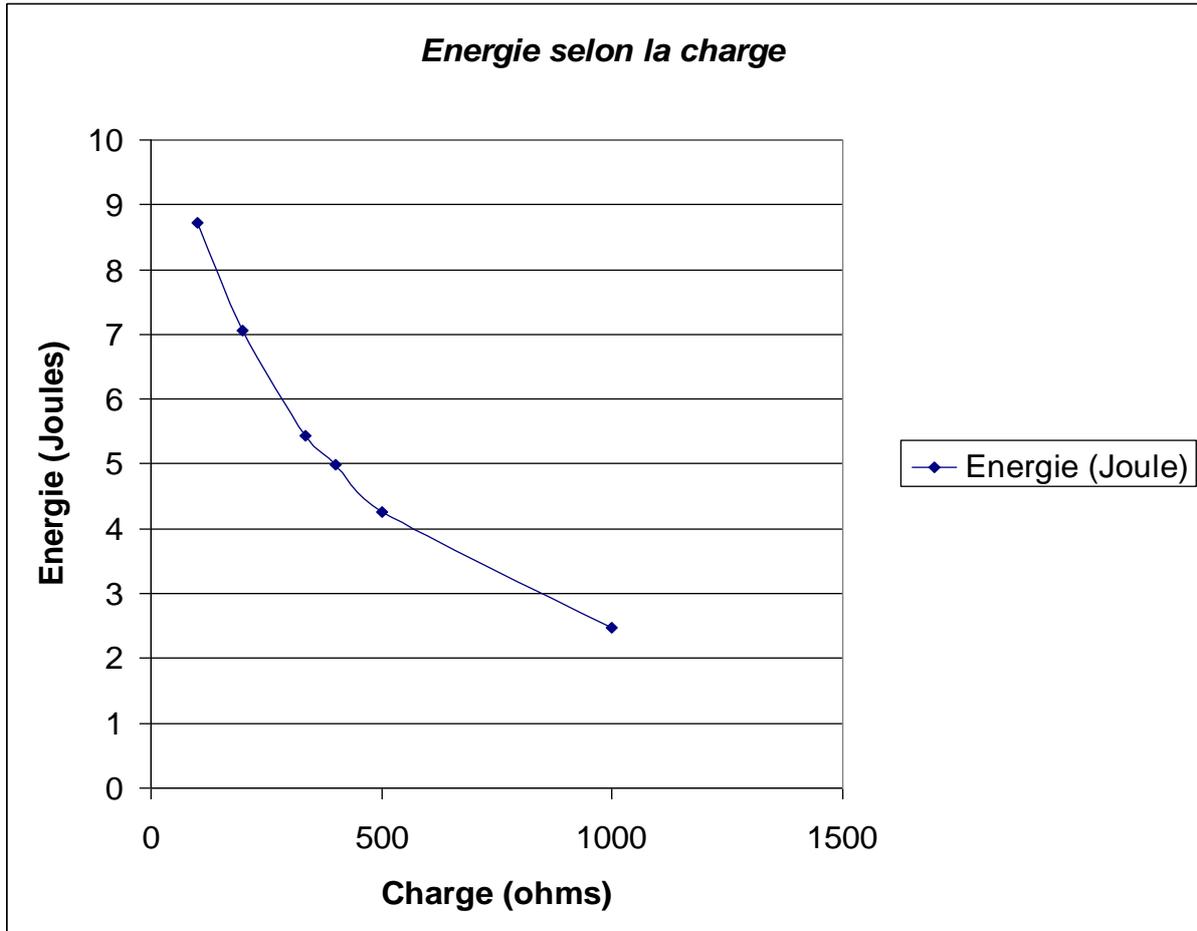
N140
Début de clôture



N140
Fin de clôture



N200 Plus



Précisions sur les différents sites de mesures :

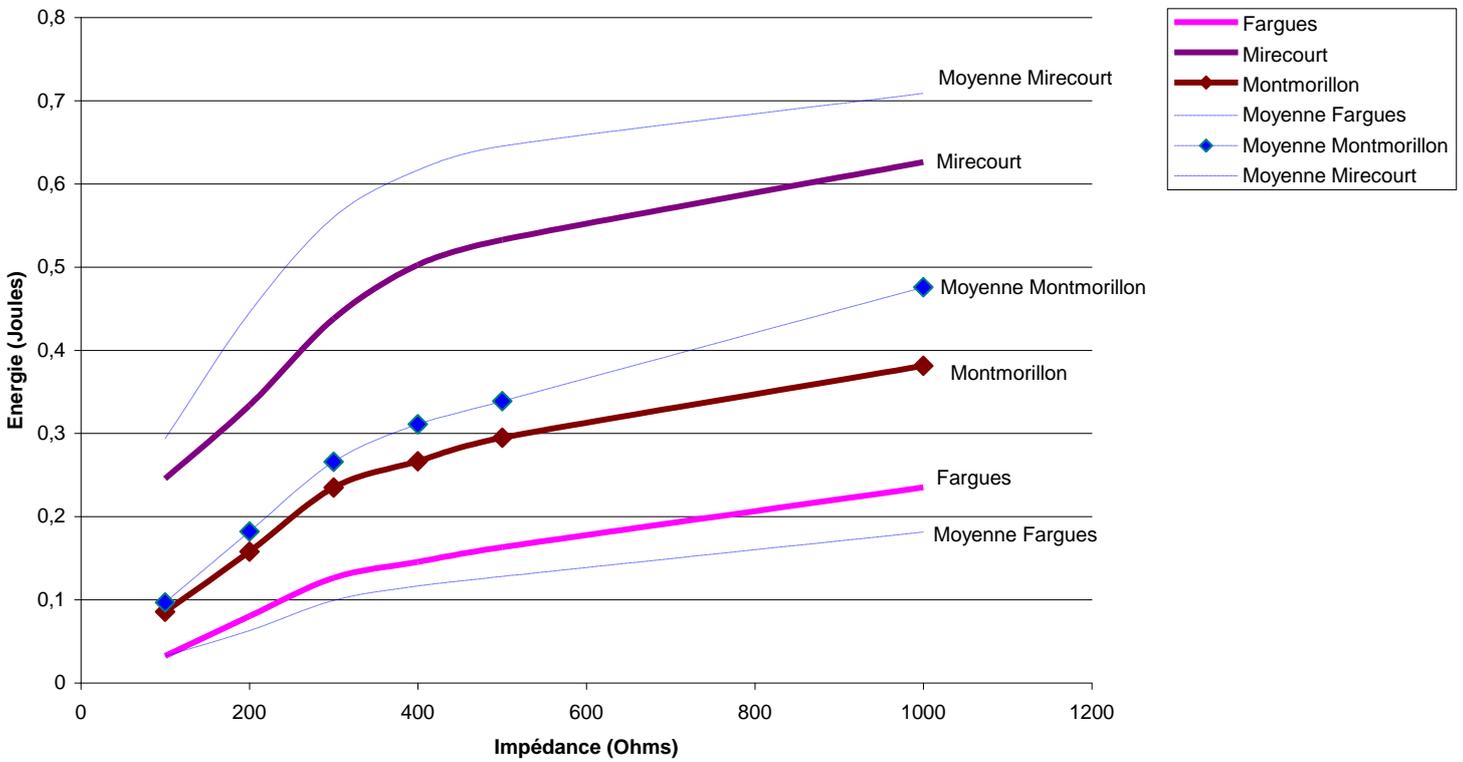
- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture. Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

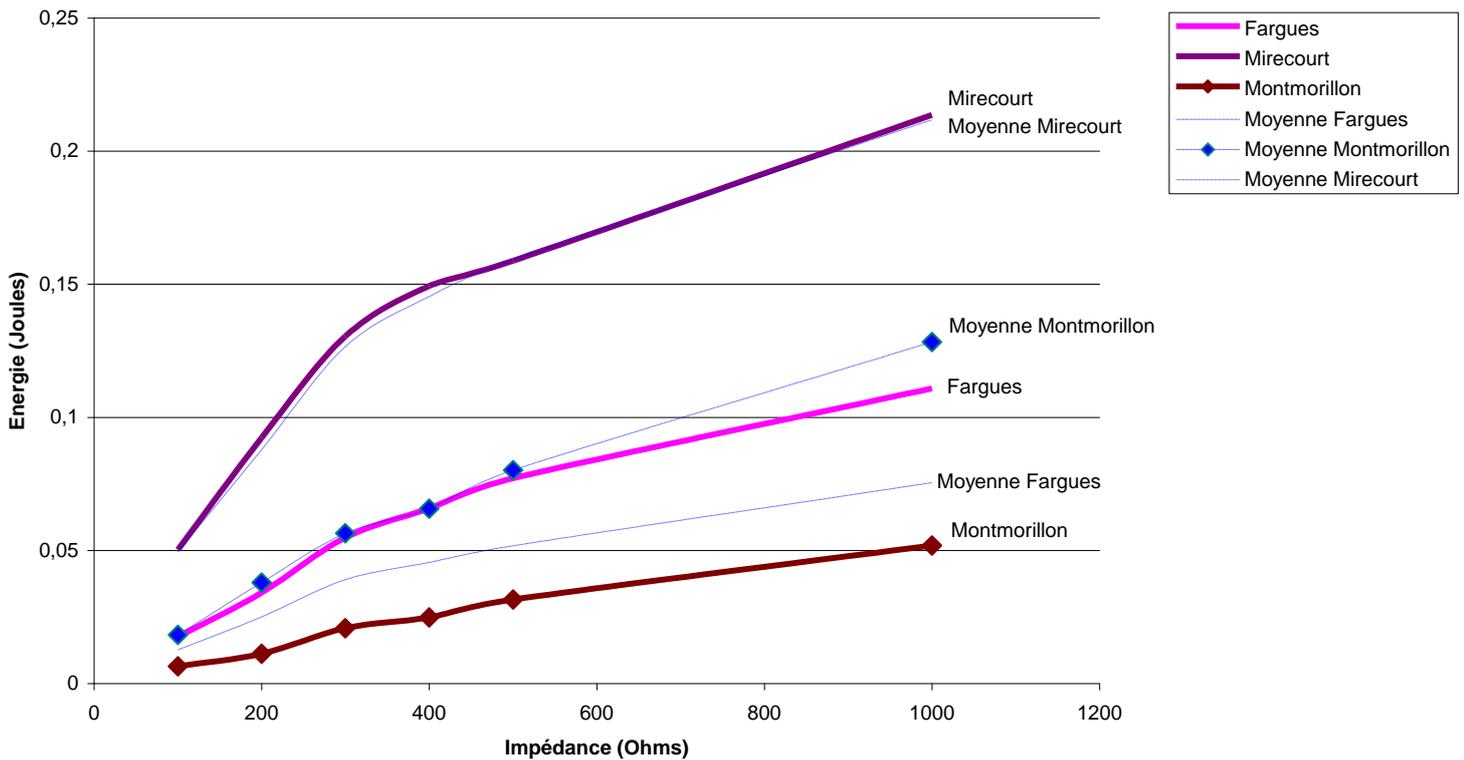
Energie maximale mesurée : 0,63 Joule

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

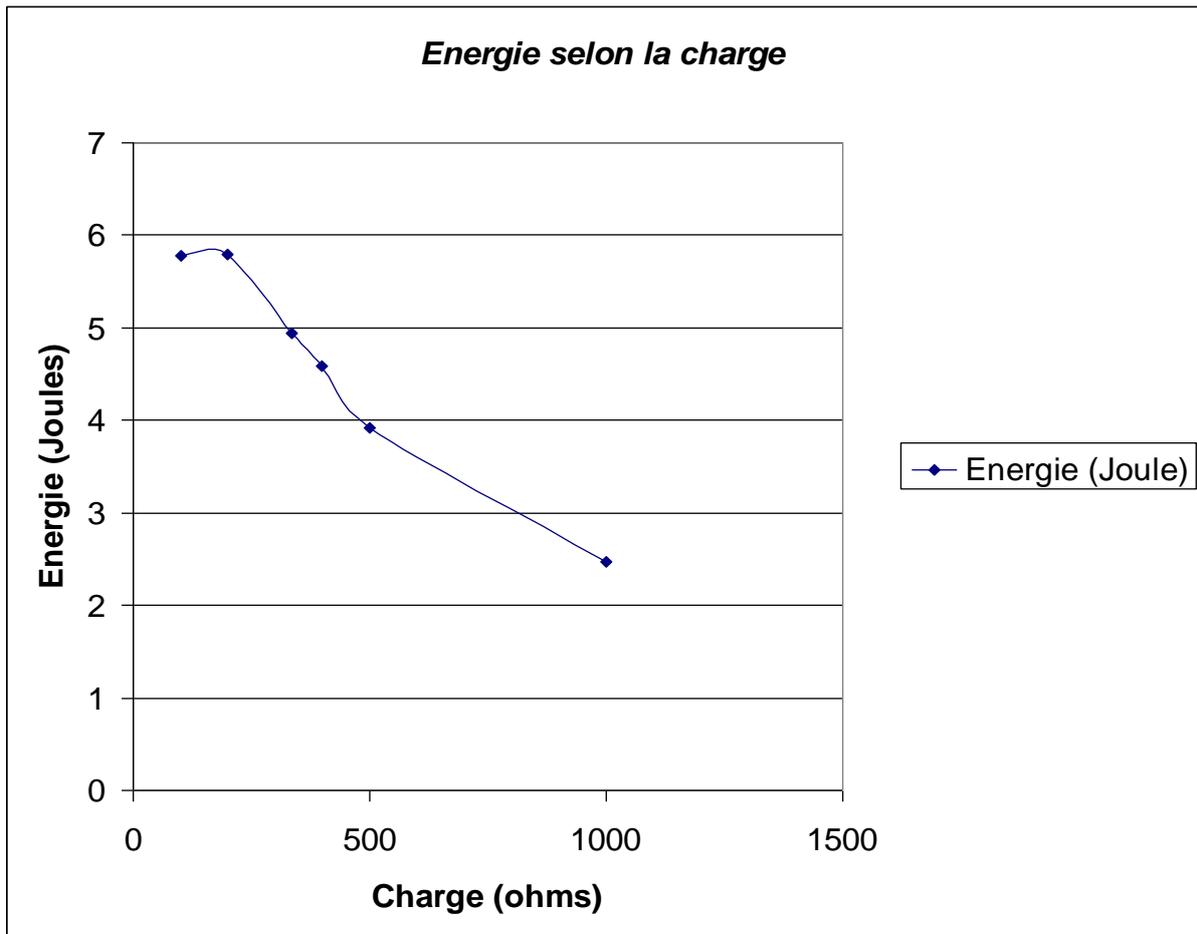
**N200 Plus
Début de clôture**



**N200 Plus
Fin de clôture**



P4000



Précisions sur les différents sites de mesures :

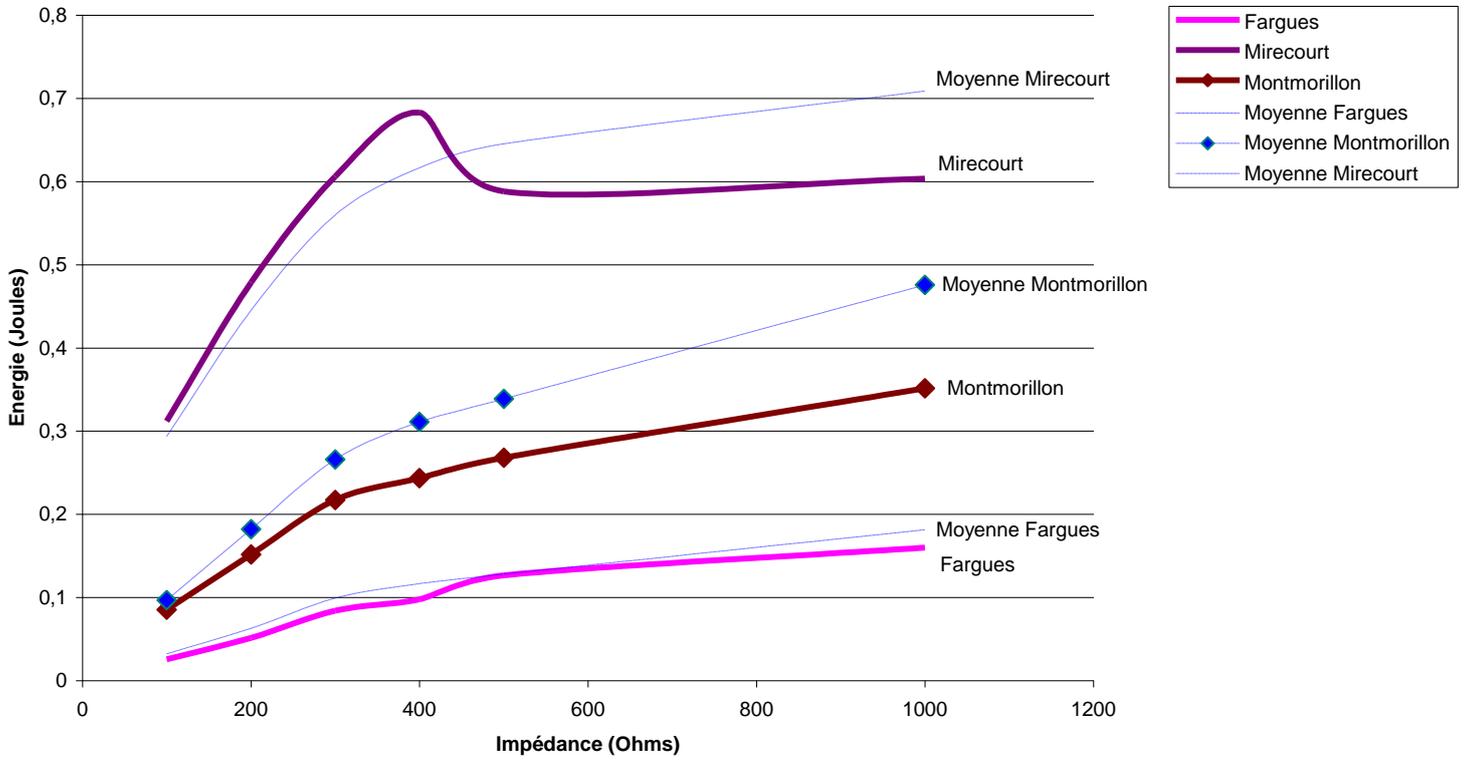
- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture. Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

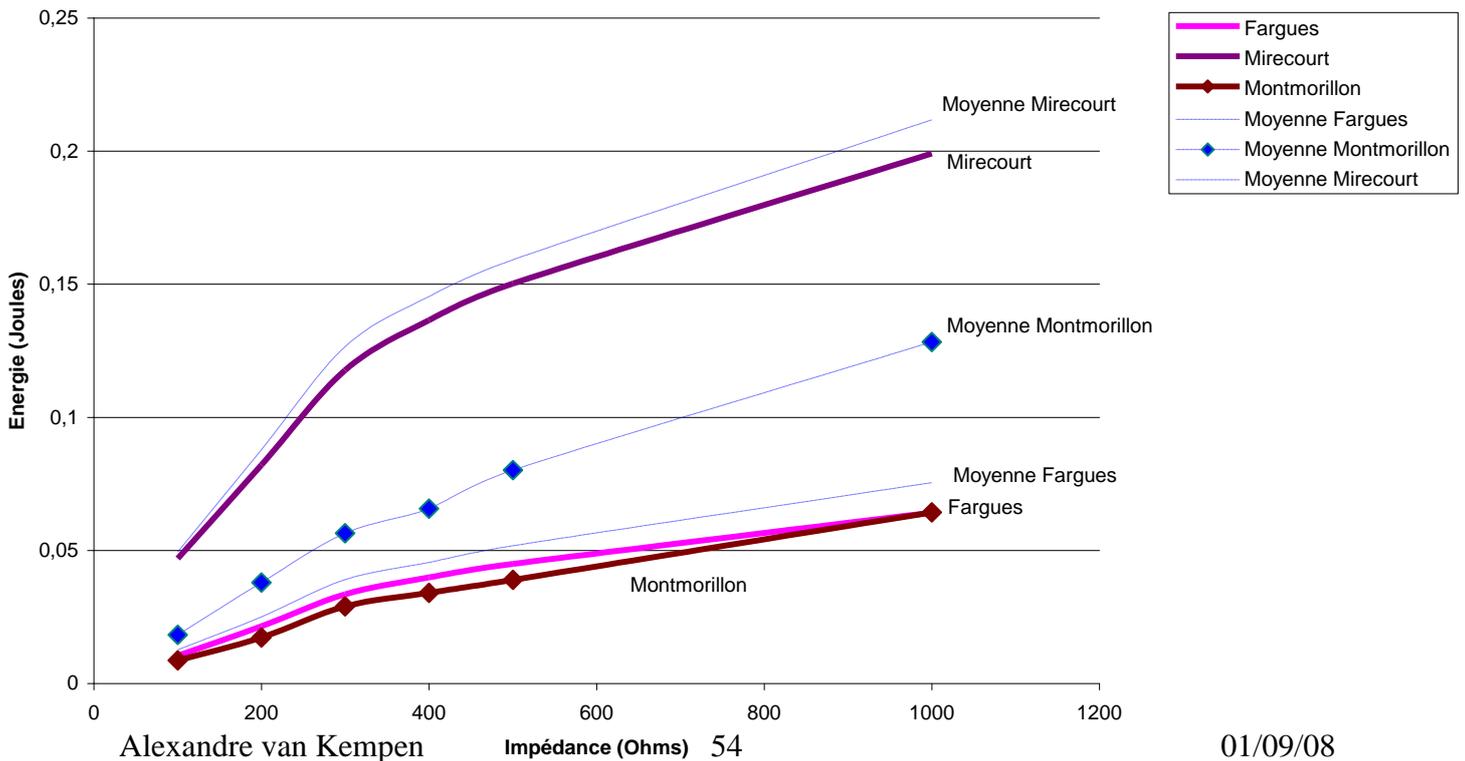
Energie maximale mesurée : **0,68 Joule**

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

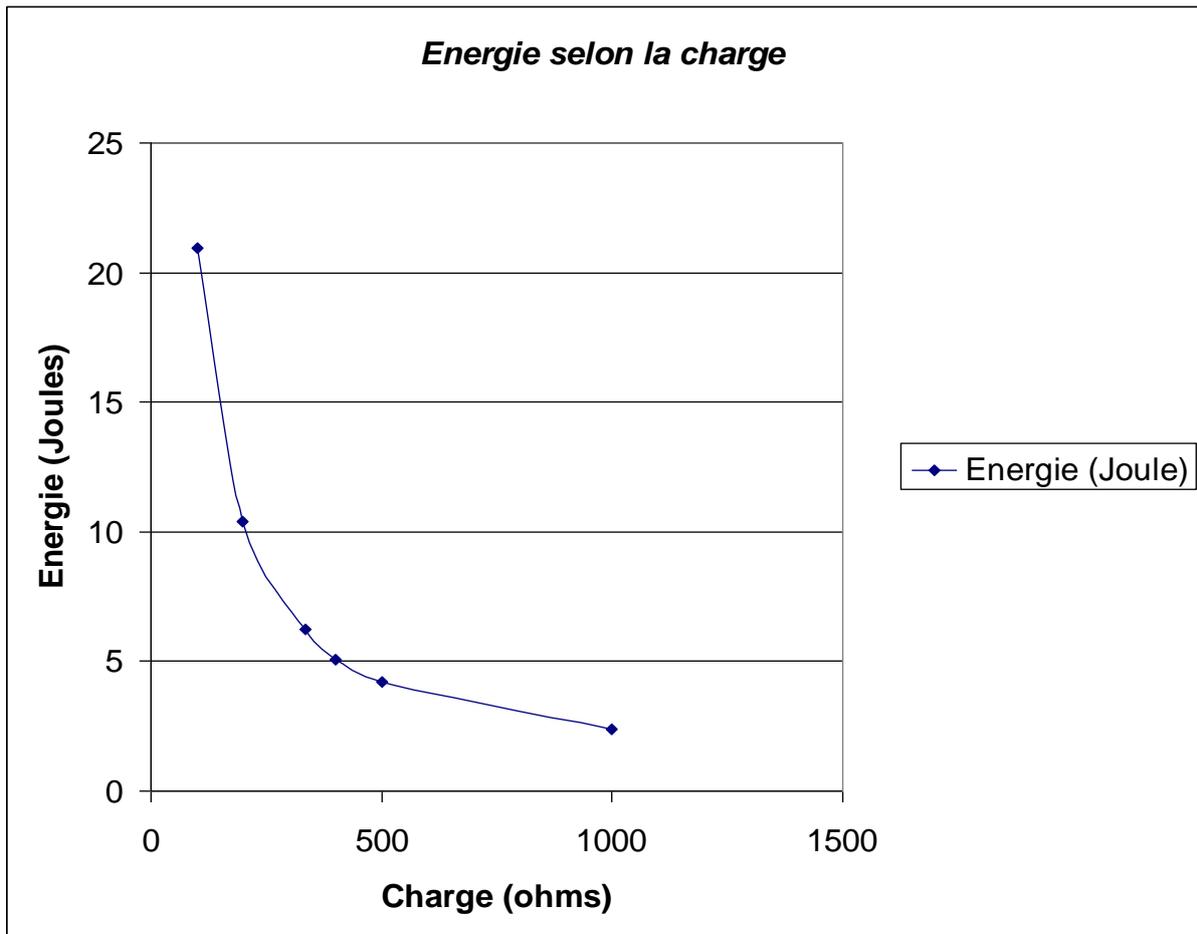
P4000
Début de clôture



P4000
Fin de clôture



P8000



Précisions sur les différents sites de mesures :

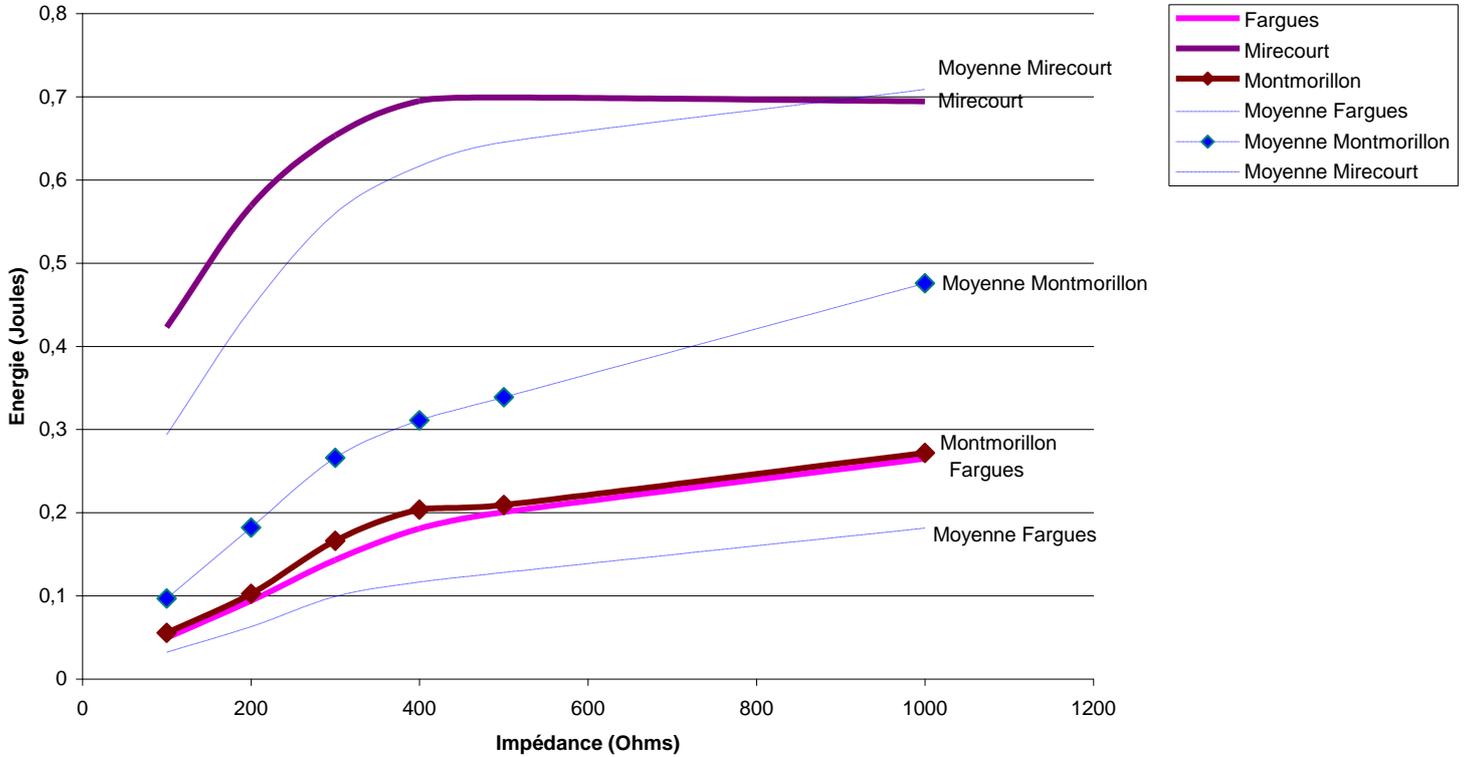
- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture. Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

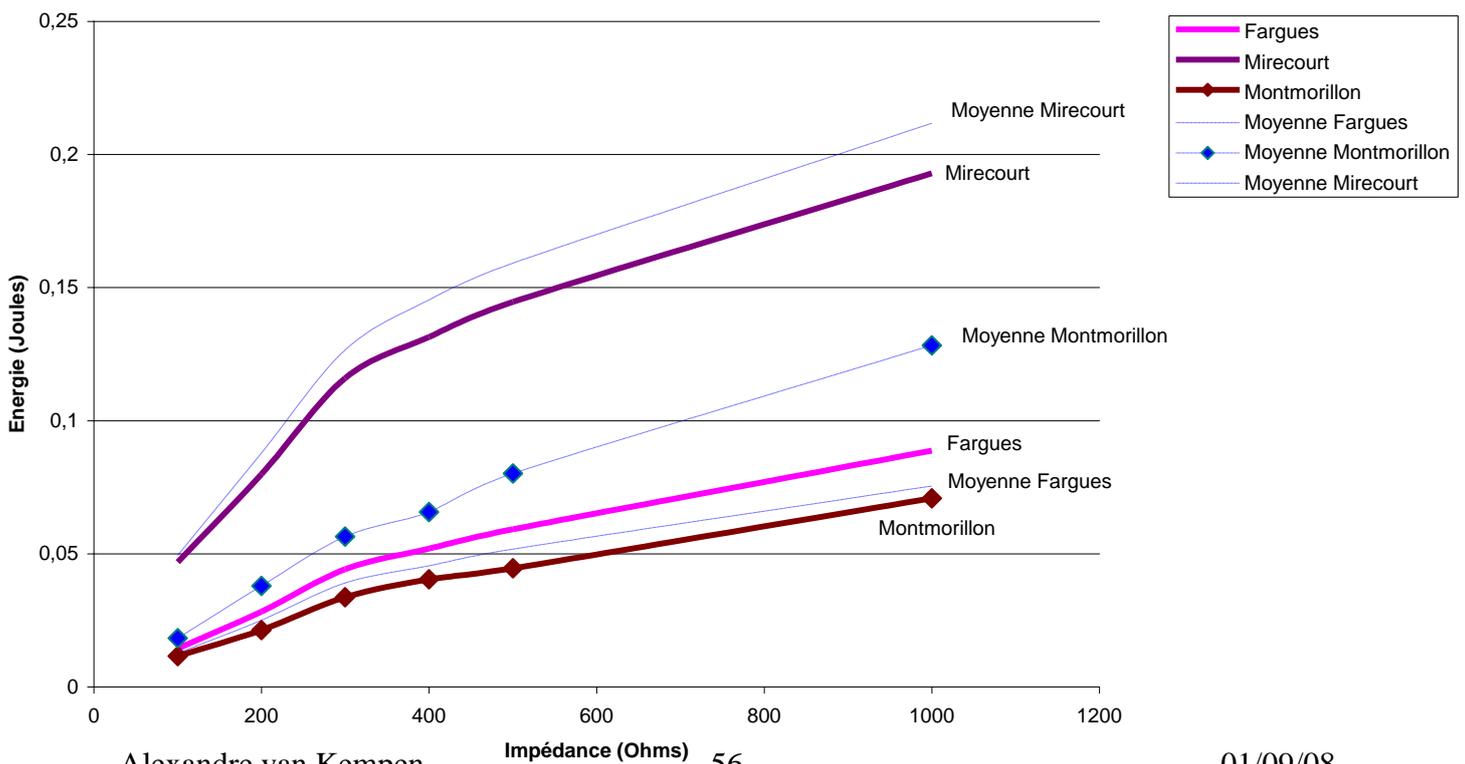
Energie maximale mesurée : **0,70 Joule**

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

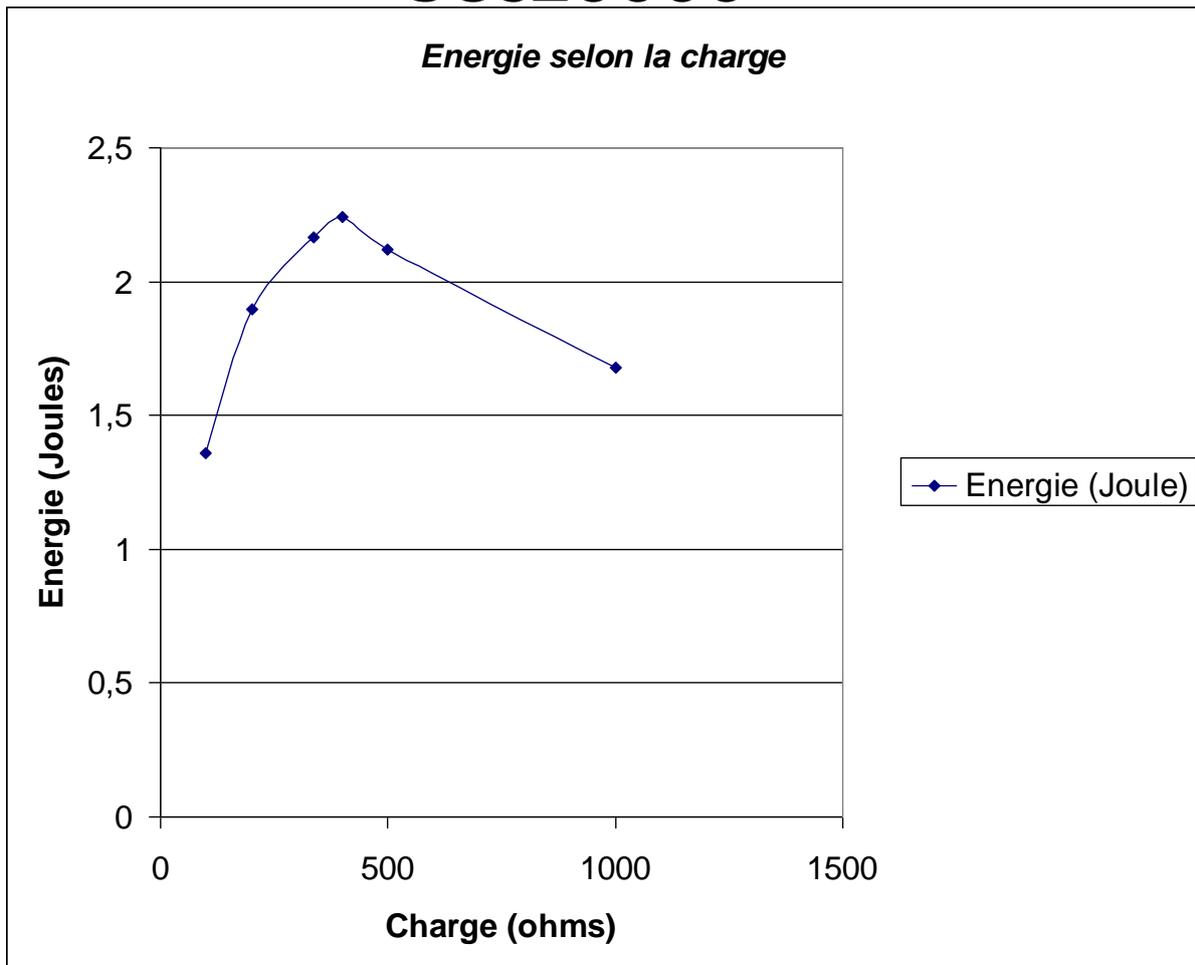
P8000
Début de clôture



P8000
Fin de clôture



Sec10000



Précisions sur les différents sites de mesures :

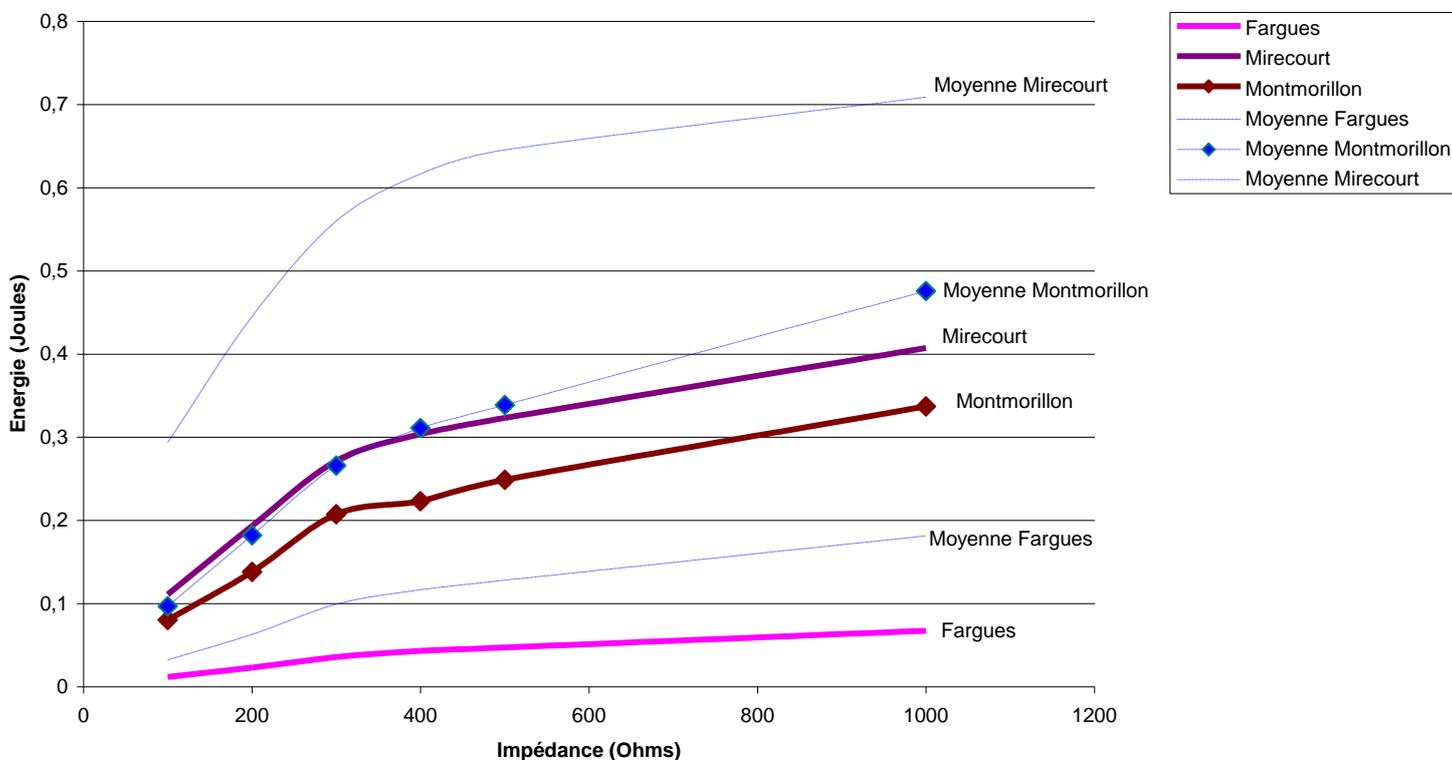
- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture. Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

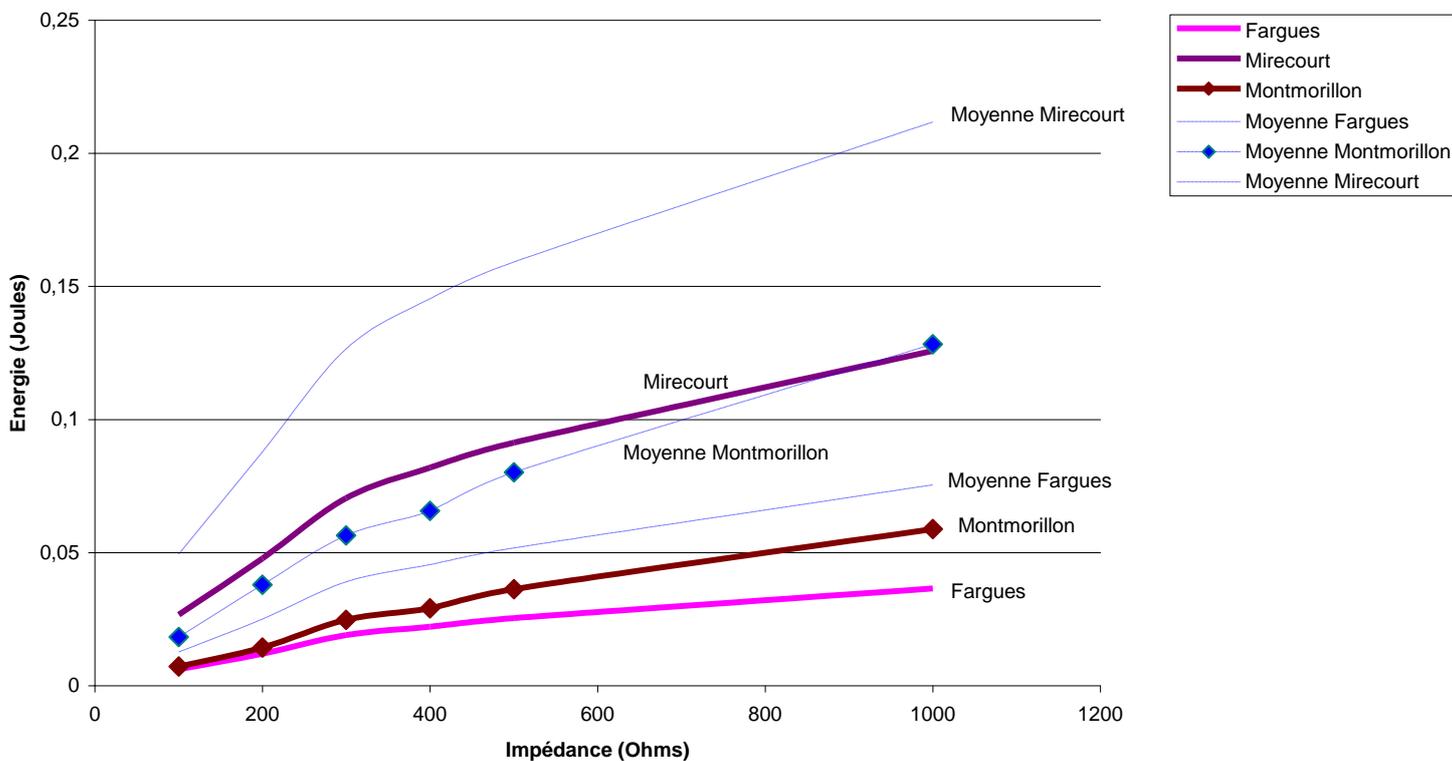
Energie maximale mesurée : 0,41 Joule

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

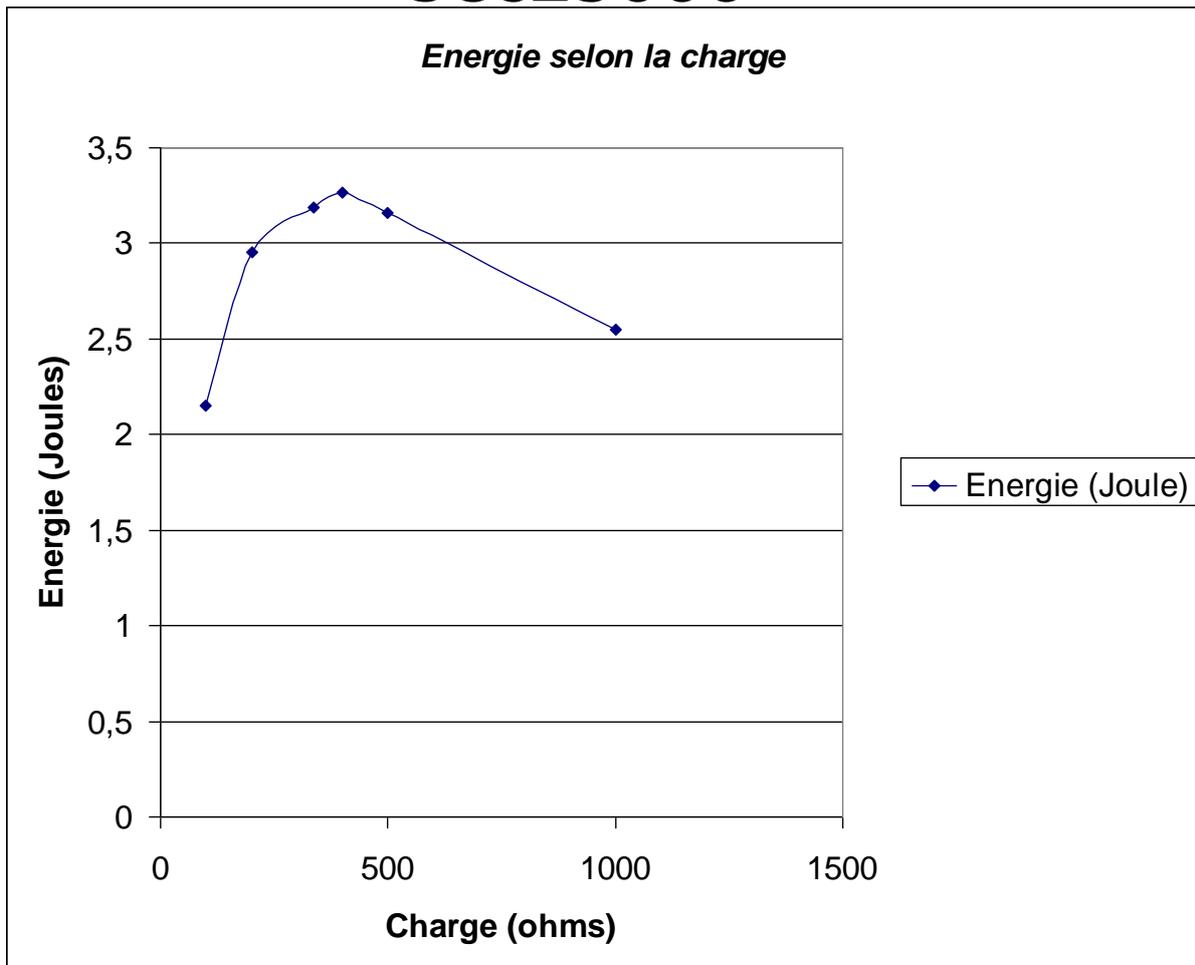
Sec10000
Début de clôture



Sec10000
Fin de clôture



Sec15000



Précisions sur les différents sites de mesures :

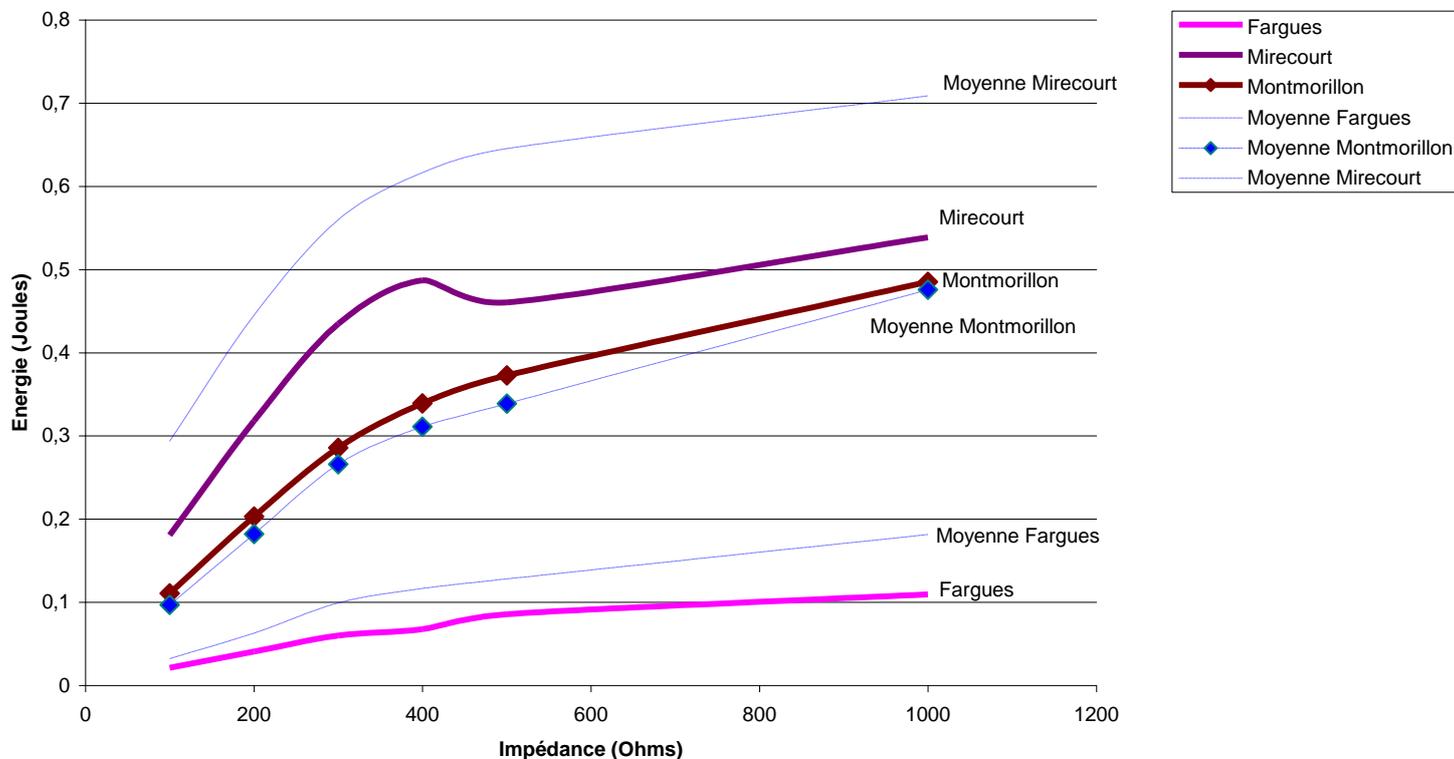
- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture. Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

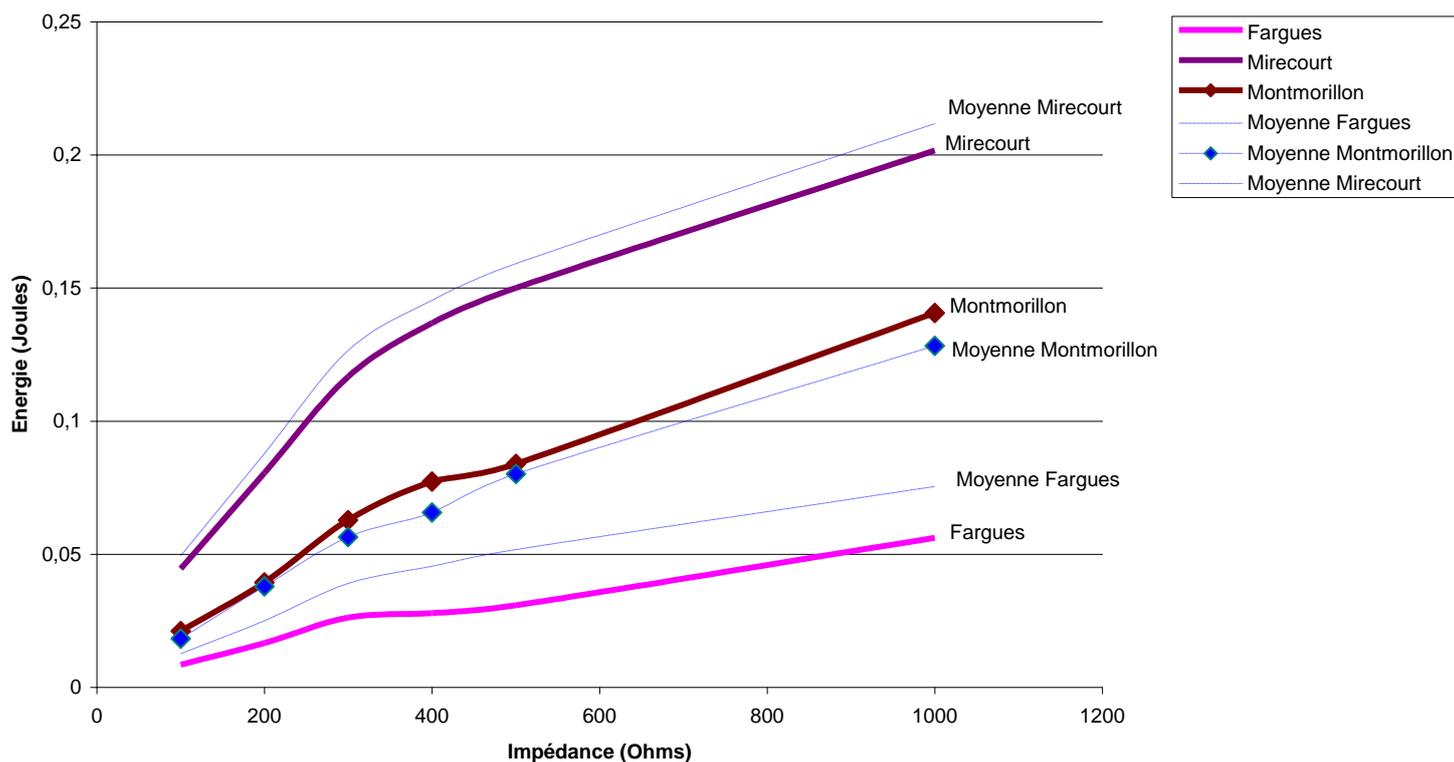
Energie maximale mesurée : 0,54 Joule

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

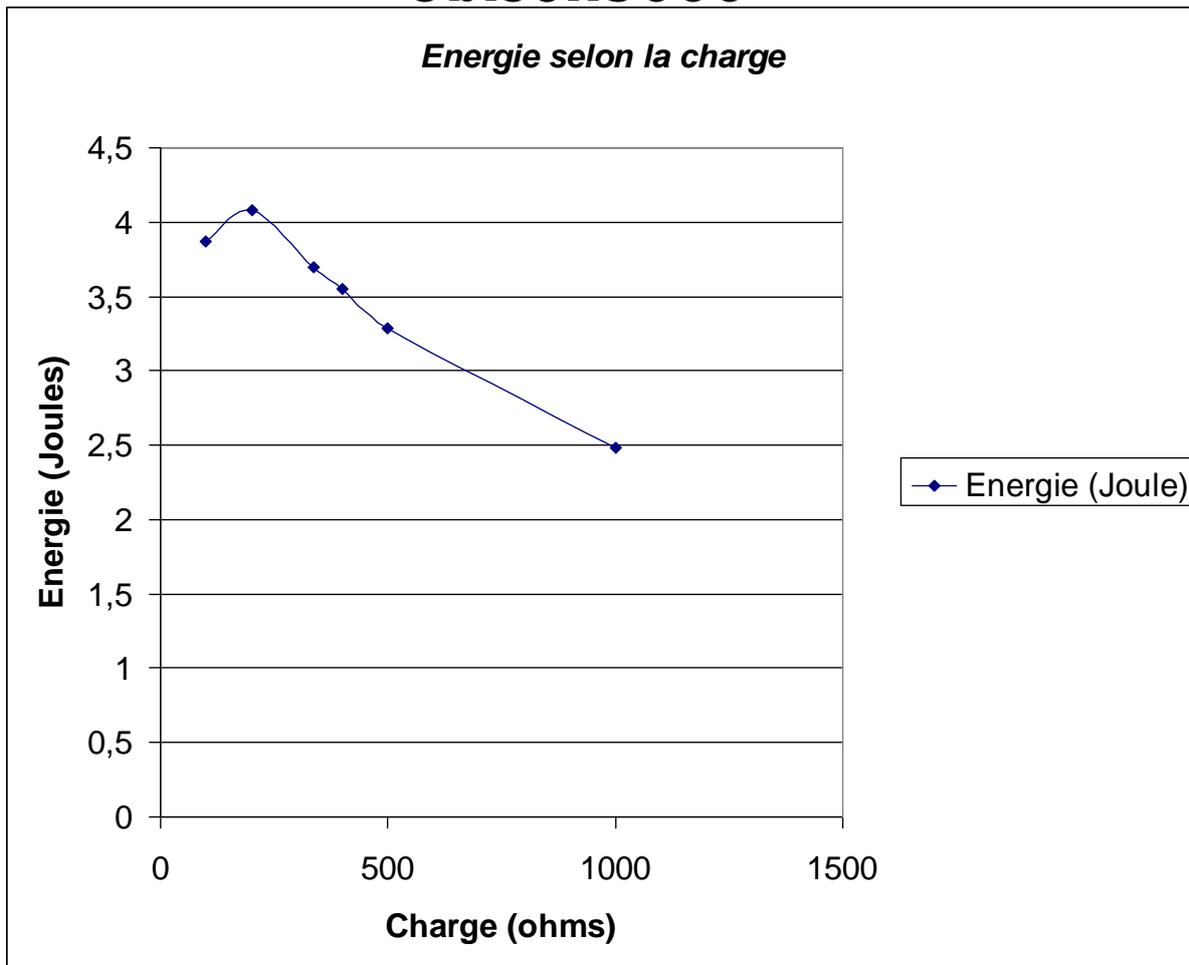
**Sec15000
Début de clôture**



**Sec15000
Fin de clôture**



Ubison5000



Précisions sur les différents sites de mesures :

- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

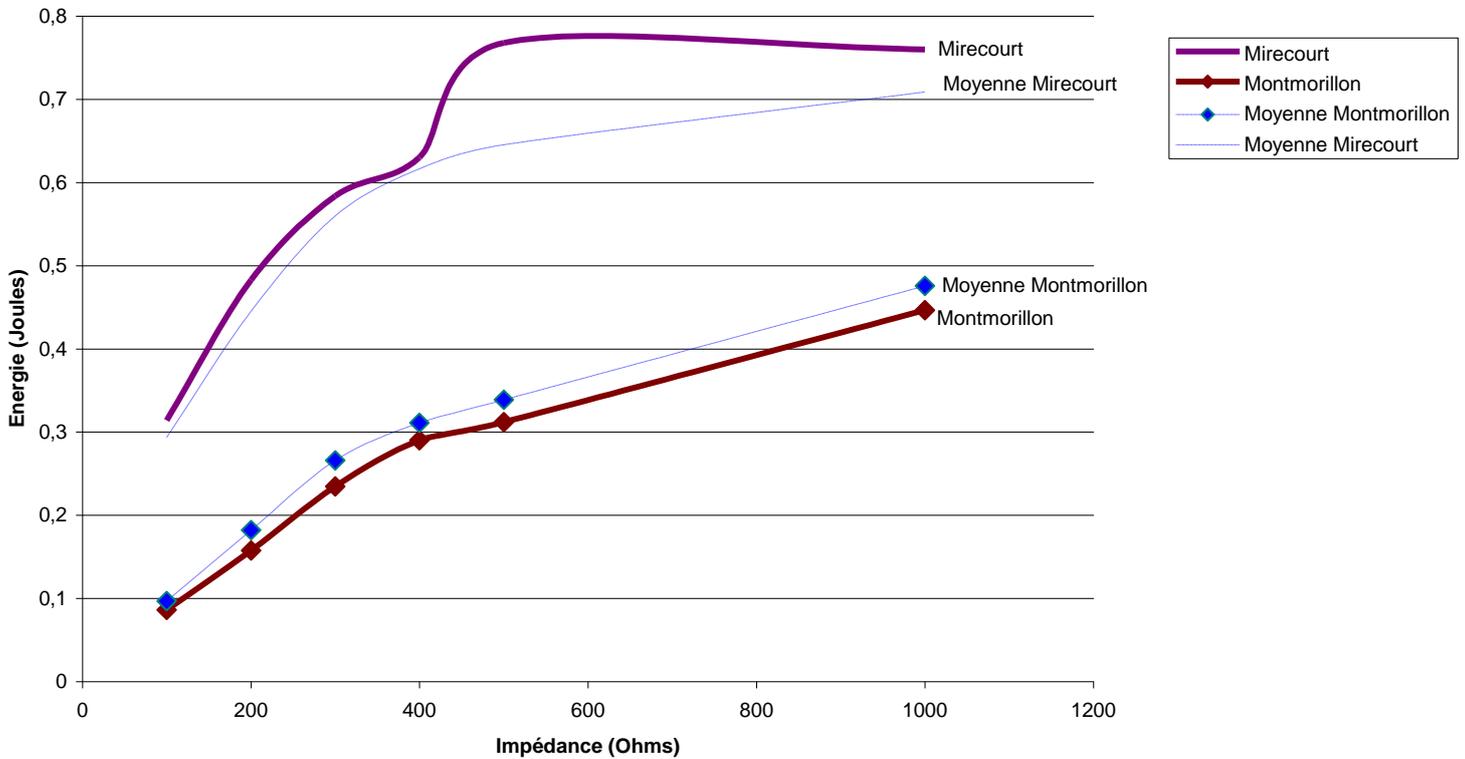
Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture.

Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

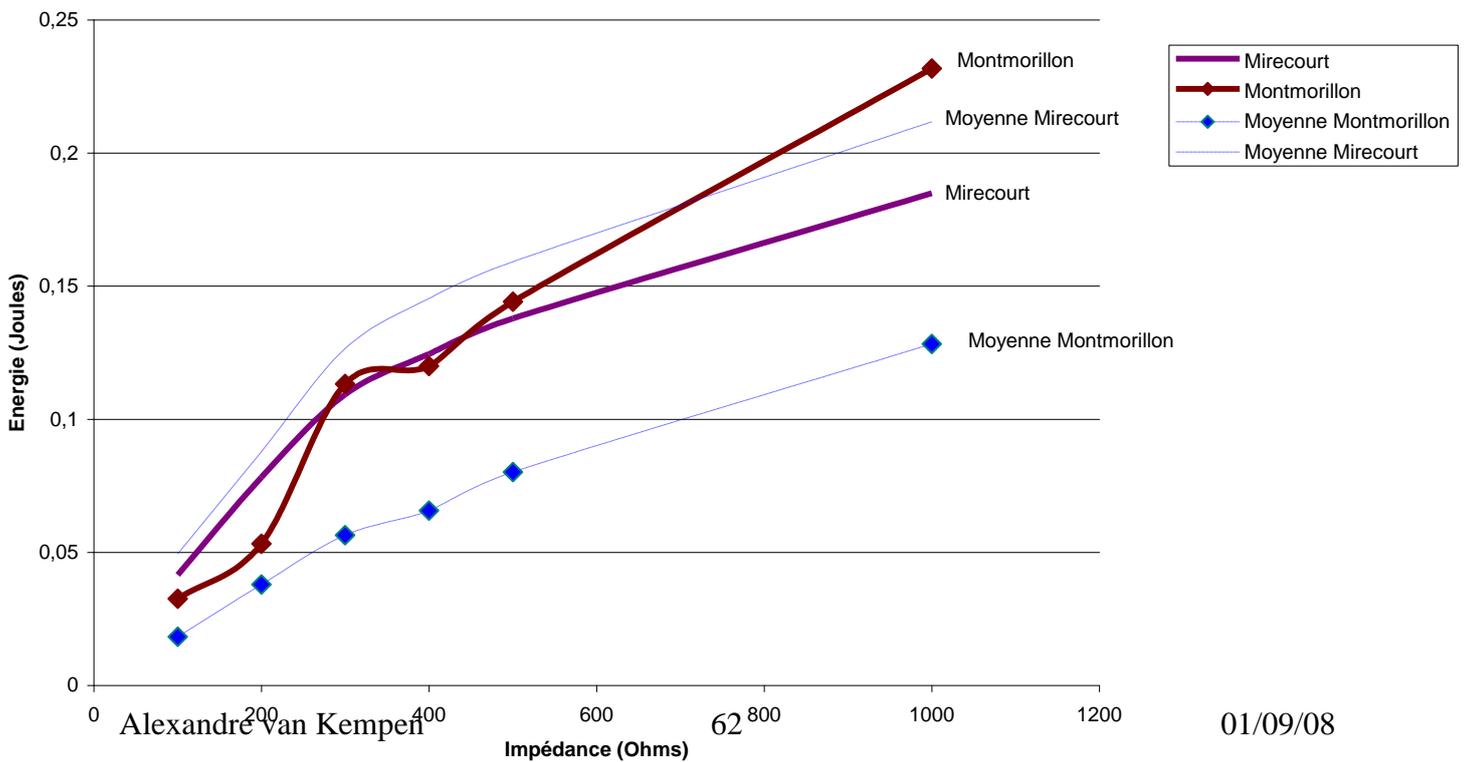
Energie maximale mesurée : **0,77 Joule**

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

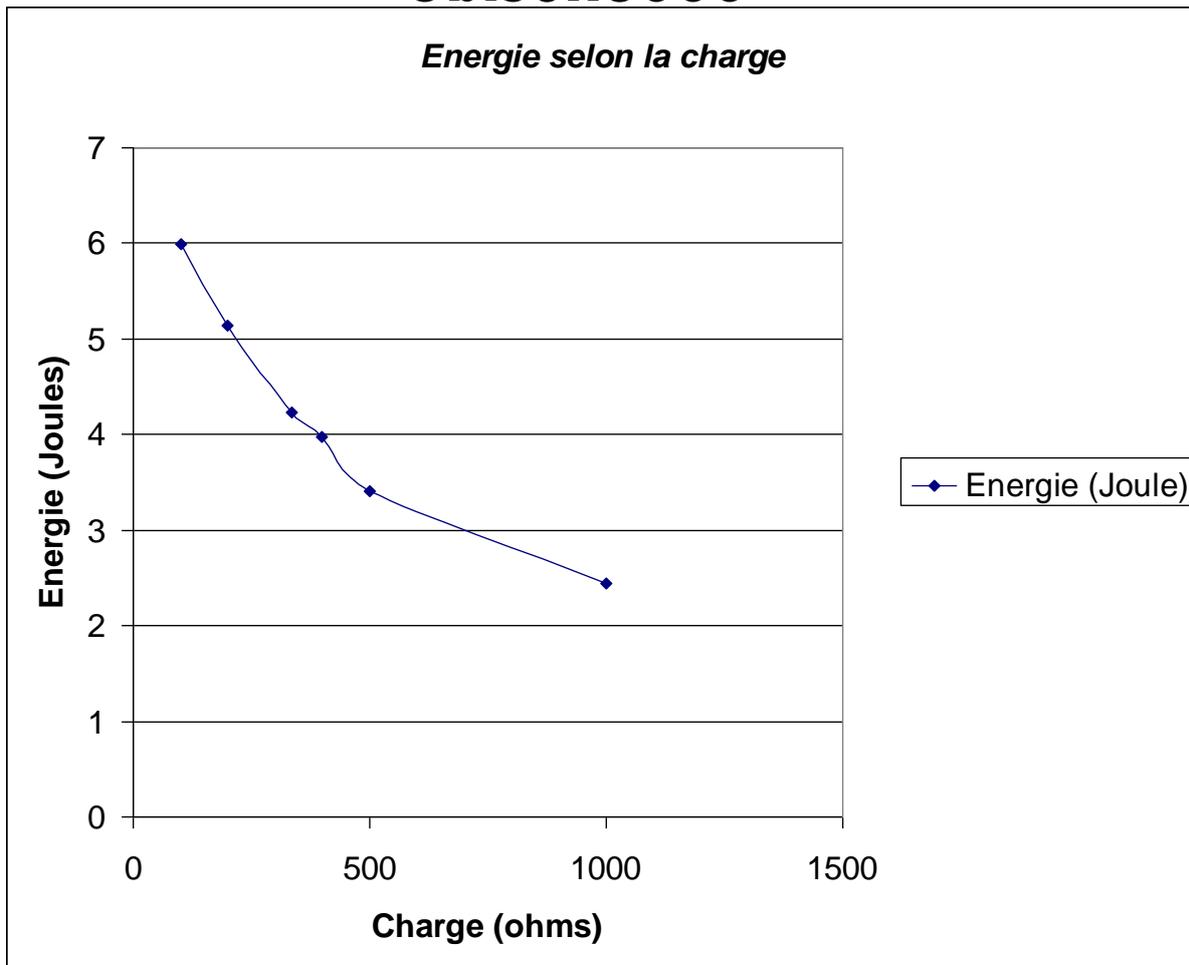
Ubison5000
Début de clôture



Ubison5000
Fin de clôture



Ubison8000



Précisions sur les différents sites de mesures :

- Fargues (11km de clôture pour ovins)
 - Bonne installation de terre mais un sol très sec et très caillouteux
 - 3 fils, le plus bas étant à environ 30cm du sol
 - Végétation importante
- Mirecourt (10km de clôture pour ovins et/ou bovins)
 - Très bonne installation de terre et sol limoneux argileux
 - 1 fil à 1m du sol (autres fils à 30 et 60 cm non alimentés lors des essais)
 - Aucune végétation en contact avec le fil alimenté
- Montmorillon (4,5km de clôture pour bovins)
 - Mauvaise installation de terre (un seul piquet de 60cm)
 - 3 fils, le plus bas étant à 50 cm du sol
 - Aucune végétation

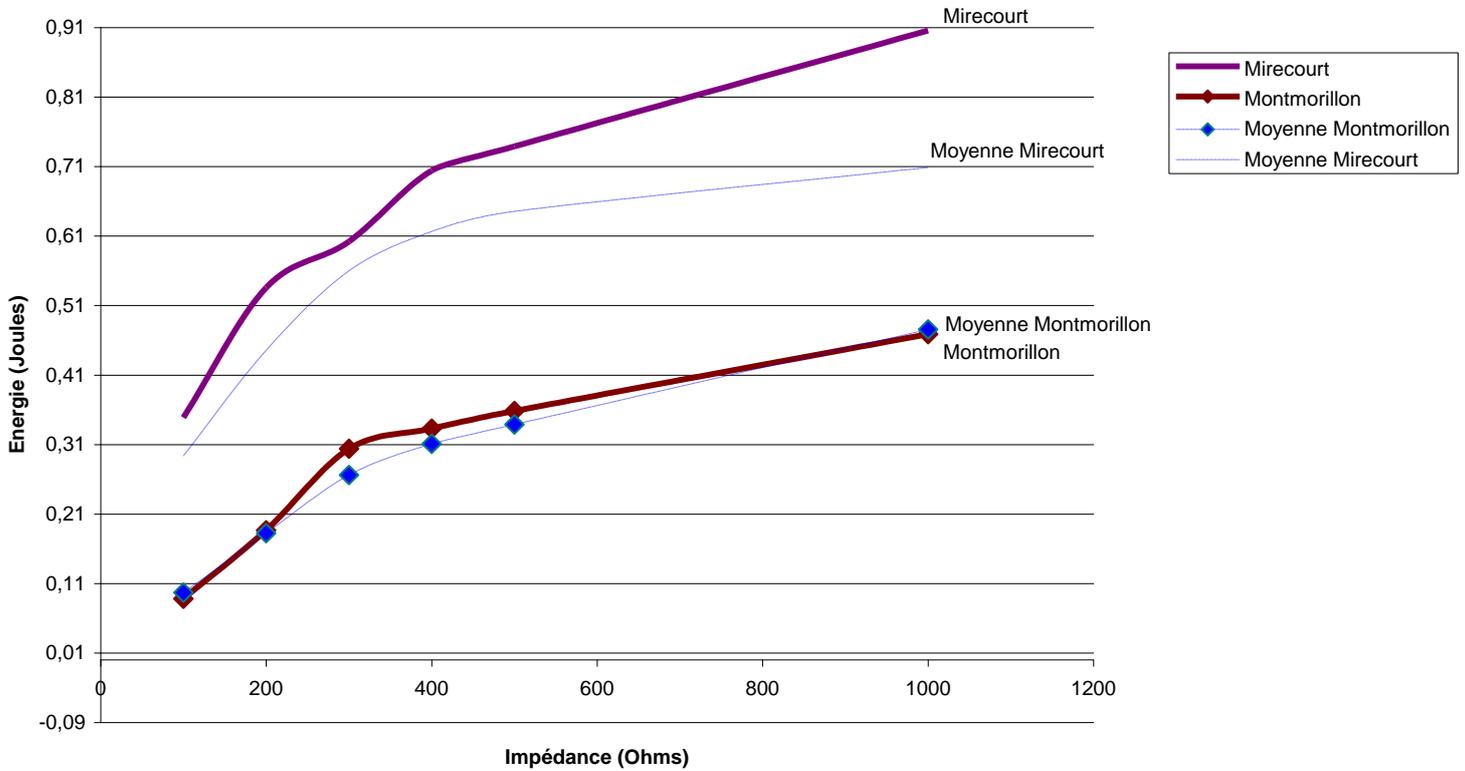
Les mesures de tension ont été effectuées à vide et sous six impédances de charge (100, 200, 300, 400, 500 et 1000 Ohms) en début et fin de clôture.

Les courbes moyennes ont été calculées à partir des valeurs mesurées sur environ 13 électrificateurs dont l'énergie de sortie varie de 4 à 57 joules.

Energie maximale mesurée : **0,90 Joule**

(Valeurs obtenues avec cet appareil sur 36 mesures)

Ubison8000
Début de clôture



Ubison8000
Fin de clôture

