

- LE COSINUS ϕ -

-DIFFERENCES ENTRE VAh et Wh -

- COMPTEURS LINKY ET ELECTROMECHANIQUE -

1 -	INTRODUCTION.....	2
2 -	LE COSINUS ϕ, FACTEUR DE PUISSANCE "FP"	2
2.1 -	Puissance apparente – VA et puissance active en Watt.....	2
3 -	COMPTAGE DE L'ÉNERGIE PAR VOTRE COMPTEUR ELECTRIQUE.....	3
3.1 -	Energie active.....	3
3.2 -	Energie réactive.....	3
3.3 -	Puissance apparente.....	3
3.4 -	Energie apparente.....	3
3.5 -	Déphasage ϕ selon le types d'appareils.....	3
3.5.1 -	1 - Appareils "résistifs" : le décalage ϕ entre tension et courant est égal à zéro.....	3
3.5.2 -	1 - Appareils "capacitifs" : le décalage ϕ entre tension et courant est positif.....	3
3.5.3 -	2 - Appareils "inductifs" : le décalage ϕ entre tension et courant est négatif.....	3
4 -	COMPTAGE DE L'ÉNERGIE PAR LES COMPTEURS.....	4
4.1 -	Energies comptabilisées par un compteur Linky.....	4
4.2 -	Mesure exacte de la consommation mesurée par un compteur Linky.....	4
4.2.1 -	Facturation de la consommation de l'électronique du Linky au client.....	4
4.2.2 -	Seuil d'affichage de la puissance apparente sur le compteur Linky à 10 VA.....	5
4.2.3 -	Influence du cosinus phi sur la mesure de puissance par le compteur Linky.....	5
4.3 -	Les compteurs électromécaniques.....	5
4.4 -	Exemples de différence de facturation entre énergies active et apparente.....	5
4.4.1 -	VMC d'habitation au ralenti.....	5
4.4.2 -	Radiateur de 1000W.....	5
4.4.3 -	Ampoule dite basse énergie de 14 W.....	6
5 -	TEMPS DE DISJONCTION DU COMPTEUR LINKY ET "BACO".....	6
5.1 -	Disjoncteurs BACO et rupteur Linky.....	6
5.1.1 -	Puissance de disjonction.....	6
5.1.2 -	Temps de réaction de disjonction du BACO en cas de surintensité.....	6
5.1.3 -	Temps de réaction de disjonction en mode différentiel.....	7
6 -	CONCLUSIONS AU SUJET DU COMPTEUR LINKY.....	8

1 - INTRODUCTION

Parce que le sujet du cosinus phi, ou $\cos \phi$, est abordé très fréquemment en réunion d'information sur le compteur Linky, il nous a semblé utile de proposer ce document très simple pour clarifier cette notion très importante. Mieux comprendre le comptage de l'énergie électrique en courant alternatif permet de mesurer l'impact de la prise en compte ou non de ce fameux $\cos \phi$.

Ce document précise aussi plusieurs points techniques sur des différences de fonctionnement entre compteurs électromécaniques et Linky, sa façon de compter l'énergie et de disjoncter.

2 - LE COSINUS ϕ , FACTEUR DE PUISSANCE "FP"

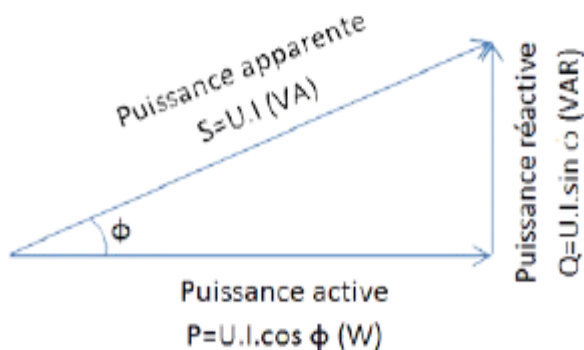
Un voltage 230 Volts alternatif (celui de Enedis) induit un courant qui circule dans les câbles et appareils dans votre maison. Selon ce qui est branché chez vous, tension et courant sont synchrones mais ne coïncident pas exactement la plupart du temps. Leurs ondes sont souvent un peu décalées.

Le décalage entre tension et courant s'appelle le déphasage "phi" (lettre grecque ϕ)

Le cosinus phi, $\cos \phi$, ou facteur de puissance FP mesure ce déphasage entre la tension alternative U et le courant I. Il est égal à 1 (maximal) uniquement lorsque tension et phase coïncident, donc lorsque l'angle $\phi = 0^\circ$.

2.1 - Puissance apparente – VA et puissance active en Watt

Il est important de clarifier ces notions.



La puissance commerciale d'un appareil électrique est exprimée en Watts (**W**) sur sa plaque signalétique. Elle dépend de la tension **U** (généralement **230 V**), de l'intensité **I** (**A**), et de son facteur de puissance **FP** ou $\cos \phi$. Le $\cos \phi$ dépend de l'angle du déphasage ϕ entre tension alternative et courant. Il varie de 0 à 1.

Les formules de calcul de ces puissances sont :

$$\begin{aligned} P_{\text{APPARENTE (en VA)}} &= U_{(V)} * I_{(A)} \\ P_{\text{ACTIVE (en Watts)}} &= P_{\text{APPARENTE (VA)}} * \cos(\phi) = U_{(V)} * I_{(A)} * \cos(\phi) \end{aligned}$$

Lorsque **FP** ou $\cos \phi = 1$ (cas d'une charge purement résistive comme un radiateur électrique) la puissance apparente est égale à la puissance active.

Mais si **FP** ou $\cos \phi < 1$, ce qui est le cas de la majorité de nos appareils modernes qui utilisent une alimentation à découpage, la **puissance apparente** est **TOUJOURS SUPERIEURE** à la **puissance active** réellement consommée.

3 - COMPTAGE DE L'ÉNERGIE PAR VOTRE COMPTEUR ELECTRIQUE

D'un point de vue commercial, ce n'est pas la puissance en courant alternatif qui est facturée mais l'énergie consommée. La conversion entre la puissance et l'énergie comptée se fait par la formule simple :

$$\boxed{\text{Energie} = \text{Puissance} * \text{Temps}}$$

3.1 - Energie active

L'énergie que l'utilisateur consomme vraiment et dont il doit s'acquitter s'appelle l'énergie active.

La mesure de l'énergie active doit tenir compte du cosinus ϕ et s'exprime en kilowatts heures (kWh).

$$\boxed{\text{Energie}_{ACTIVE} = \text{Puissance}_{ACTIVE} * \text{Temps}}$$

3.2 - Energie réactive

L'énergie dite réactive est celle provoquée par un courant dont son angle de phase est $\phi = 90^\circ$ par rapport à la tension alternative. Le courant réactif est à 90° de la tension.

L'énergie réactive peut provoquer un échauffement des fils secteur mais ne fournit aucune puissance au client, donc elle ne devrait pas être facturée. Les anciens compteurs électromécaniques du service public EDF respectent ce fait physique. Par construction, leur roue de comptage visible sur les compteurs bleus ou noirs ne tourne qu'au prorata strict de l'énergie active.

3.3 - Puissance apparente

La puissance apparente en **kVA** est apparue sur les factures d'Enedis depuis **février 2010** seulement.

A partir de cette date, le calibrage de la puissance délivrée par contrat a été converti en **kVA** au lieu des **kW**.

A l'inverse des **kWh**, la puissance maximale disponible en **kVA** ne tient plus compte du cosinus ϕ .

Nous verrons paragraphe § 4 que la puissance réellement disponible dans chaque domicile est systématiquement minorée par cette mesure.

3.4 - Energie apparente

L'énergie apparente en **kVAh** se calcule d'après la puissance apparente, c'est-à-dire qu'elle ne tient pas compte du cosinus ϕ .

$$\boxed{\text{Energie}_{APPARENTE} = \text{Puissance}_{APPARENTE} * \text{Temps}}$$

3.5 - Déphasage ϕ selon le types d'appareils

La plupart du temps, le cosinus ϕ des appareils de votre maison est compris entre 0 et 1. Que ce décalage ϕ entre tension et courant soit positif ou négatif, son cosinus reste inférieur à 1, avec comme conséquence que la puissance apparente est toujours supérieure à la puissance active.

3.5.1 - 1 - Appareils "résistifs" : le décalage ϕ entre tension et courant est égal à zéro.

Les appareils qui ont un $\cos \phi = 1$ sont ceux qui chauffent fort : grille-pain, radiateurs électriques, résistances chauffantes de four, sèche-cheveux ... Dans leurs cas, énergie active et apparentes sont identiques.

3.5.2 - 1 - Appareils "capacitifs" : le décalage ϕ entre tension et courant est positif

Les appareils capacitifs demandent leur courant en avance sur la tension.

La majorité des appareils électroniques actuels fonctionnent avec une alimentation "à découpage" très capacitive.

Leur cosinus ϕ est inférieur à 1. Ainsi, de nos jours, les logements sont très "capacitifs".

3.5.3 - 2 - Appareils "inductifs" : le décalage ϕ entre tension et courant est négatif

Les appareils inductifs consomment le courant en retard sur la tension.

Les transformateurs, anciens blocs alim, les moteurs anciens de moulin à café, mixeurs, etc ... sont inductifs.

Leur cosinus ϕ est aussi inférieur à 1. Dans le passé, les logements étaient plutôt inductifs.

4 - COMPTAGE DE L'ÉNERGIE PAR LES COMPTEURS

4.1 - Energies comptabilisées par un compteur Linky

- ① Le compteur Linky affiche sur son affichage lumineux l'énergie instantanée dans le logement en énergie apparente - **VA** qui ne tient pas compte du $\cos \phi$
- ② De plus, un petit flash lumineux en haut du compteur apparaît au rythme de chaque **Watt heure** comptabilisé, c'est-à-dire que le linky mesure aussi l'énergie **active** réellement utilisée par le logement.
- ③ Enfin, la consommation énergétique cumulée du logement affichée est en **kWh** et non en **kVAh**.

Comme ce nouveau compteur communique en permanence avec Enedis nos données, nous ne savons pas si ce sont les index en VAh ou kWh, ou les deux, qui sont transmis pour facturation. De plus, comme ce compteur est configurable à distance, il est impossible de savoir si les kWh affichés sur le compteur prennent ou non en compte une partie de l'énergie réactive par un coefficient **kPr** transmis à distance et sur lequel l'utilisateur n'a pas accès, selon une formule du type :

$$\text{Energie facturée (en kWh)} = E_{ACTIVE (kWh)} + kPr * E_{APPARENTE (kVAh)}$$

4.2 - Mesure exacte de la consommation mesurée par un compteur Linky

Comme dit précédemment, le temps mesuré avec un chronomètre précis entre deux flashes lumineux sur la facade du compteur Linky permet de calculer la consommation mesurée par le Linky en Wh sur cet intervalle de temps.

L'intervalle de temps T_{flash} entre deux flashes sur le linky correspond au comptage exact de 1Wh par celui-ci. On peut ainsi remonter à la puissance de l'appareil branché, supposée constante, vue par le linky grâce à la formule :

$$W = \frac{3600_{(Wh/sec)}}{T_{flash}}$$

Il est ainsi facile de contrôler le bon fonctionnement du compteur Linky dès que l'on connaît la puissance exacte en W consommée par le domicile, où si nous disposons d'un second compteur personnel qui nous renseigne sur cette valeur.

Pour la mesure d'appareil dans une résidence où le linky est opérationnel, il faut avant cette expérimentation avoir tout débranché dans la maison et vérifier que les disjoncteurs, même déconnectés, n'ont pas un petit courant de fuite.

Dans le cas où nous contrôlons la puissance d'un appareil avec un compteur personnel, il faut bien sûr connaître sa consommation et la rajouter à celle de la charge branchée pour les comparer à celle chronométrée.

4.2.1 - *Facturation de la consommation de l'électronique du Linky au client*

Chez un particulier équipé d'un compteur Linky, nous avons branché selon le protocole décrit ci-dessus des charges résistives dont nous connaissons précisément leur consommation en Wh.

Les mesures précises répétées du temps entre flashes lumineux du Linky nous indiquent que la puissance qu'il comptabilise est systématiquement majorée d'environ **0,2 W**.

Nous savons que ce compteur n'émettait pas de CPL au moment des mesures. Sinon, la puissance d'émission, qui peut atteindre le watt, se serait ajoutée à cette consommation dite de veille du compteur.

Cette expérimentation contredit les dires officiels qui prétendent que la consommation électrique du compteur est prise à la charge de Enedis. Suite à nos mesures, nous concluons que **0,2 Wh** du compteur sont ajoutés à la facture du client, environ **1€/an**, sans compter la puissance des émissions du courant CPL qui s'ajoute.

Avec cette consommation de veille compteur Linky, la consommation facturée pour une résidence secondaire dont le disjoncteur est placé sur OFF se verrait incrémentée de **+1 kVA** au bout de **210 jours, 6 mois et 25 jours**.

4.2.2 - Seuil d'affichage de la puissance apparente sur le compteur Linky à 10 VA

Un autre point étonnant a été constaté : l'afficheur de la puissance apparente sur le compteur Linky, accessible par pressions successives sur ses touches en façade, affiche une puissance apparente qui reste à **0** tant que la charge branchée n'atteint pas **10 VA**. Aucun affichage de puissance apparente n'apparaît entre 0 et 10 VA !
Est-ce pour ne pas montrer la puissance apparente du compteur qui semble être de quelques VA ?

4.2.3 - Influence du cosinus phi sur la mesure de puissance par le compteur Linky

Des mesures sur un compteur Linky installé nous ont montrées que, dans un appartement où tout est éteint par ailleurs comme précédemment, l'ajout d'une capacité de **22 µF**, soit une puissance réactive de **365 VA**, en parallèle sur une lampe à incandescence de **60 W** modifie la mesure du compteur en **Wh**.

Le chronométrage entre deux flashes du témoin lumineux se raccourcit légèrement en présence de la capacité. **1 watt se rajoute** à la mesure de la puissance de lampe.

En théorie, le rajout d'une capacité aurait plutôt dû diminuer la puissance consommée de la lampe à incandescence car l'appel de courant dans les câbles par la capacité charge le réseau 230 V et réduit légèrement sa tension.

Il semble donc que, même si la puissance réactive de cette forte capacité n'est pas facturée par le compteur, à ce jour, une telle charge capacitive majore de **1,66 %** le calcul de la puissance réelle présente dans le domicile.

4.3 - Les compteurs électromécaniques

- Les compteurs électromécaniques, ceux avec roue tournante visible en façade, comptent l'énergie de l'habitation en énergie active en **kWh**. Par leur construction même, ces compteurs sont des appareils métrologiques. Le principe même de la mesure utilise un principe physique inviolable. Ils tiennent compte du cosinus ϕ des appareils branchés dans le logement. L'index d'un compteur électromécanique se calcule par la formule dessous qui intègre bien le cosinus ϕ , dans la puissance active.

$$\boxed{\text{Energie Consommée}_{(en kWh)} = P_{ACTIVE (kW)} * \text{Temps}_{(heures)}}$$

Vu très simplement, l'indication d'un compteur électromécanique en kW sera toujours inférieure à celle du compteur Linky en VA car elle est diminuée du cosinus ϕ toujours inférieur à 1.

4.4 - Exemples de différence de facturation entre énergies active et apparente

Si l'énergie apparente était facturée par le nouveau compteur Linky, ce qui n'est pas le cas à ce jour, la différence de comptage d'énergie comparée avec un compteur électromécanique donnerait les chiffres dans les exemples réels qui suivent :

4.4.1 - VMC d'habitation au ralenti

Une ventilation mécanique consomme sur le **230 V** un courant de **0,13 ampères**, avec un cosinus ϕ de **0,26**. D'après les formules ci avant, sa puissance consommée est de **8,2 W**, et sa puissance apparente **30 W**.

Sur un an, un compteur électromécanique facture :

$$(230 \text{ V} \times 0,13 \text{ A} \times 0,26) / 1000_{(kW)} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ j} \times 0,13 \text{ €/kWh} = \mathbf{8,85 \text{ €ttc}}$$

et un compteur Linky facturerait (cos ϕ supprimé) :

$$(230 \text{ V} \times 0,13 \text{ A}) / 1000_{(kW)} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ j} \times 0,13 \text{ €/kWh} = \mathbf{34,05 \text{ €ttc}}$$

4.4.2 - Radiateur de 1000W

Sa puissance active est de **1000 W**, et sa puissance apparente est aussi de **1000 VA** car le facteur de puissance (comme pour toute résistance simple) est égal à **1**.

4.4.3 - Ampoule dite basse énergie de 14 W

Une ampoule LFC vendue pour une puissance pour 14 W est mesurée en réalité à **13,6W**.

Mais son $\cos \phi$ mesuré ou **FP** est de seulement **0,6**.

Sa puissance apparente est **22,7 VA** ($22,7=13,6/0,6$).

Le compteur électromécanique ne facturerait que **13,6W**.

5 - TEMPS DE DISJONCTION DU COMPTEUR LINKY ET "BACO"

5.1 - Disjoncteurs BACO et rupteur Linky

5.1.1 - Puissance de disjonction

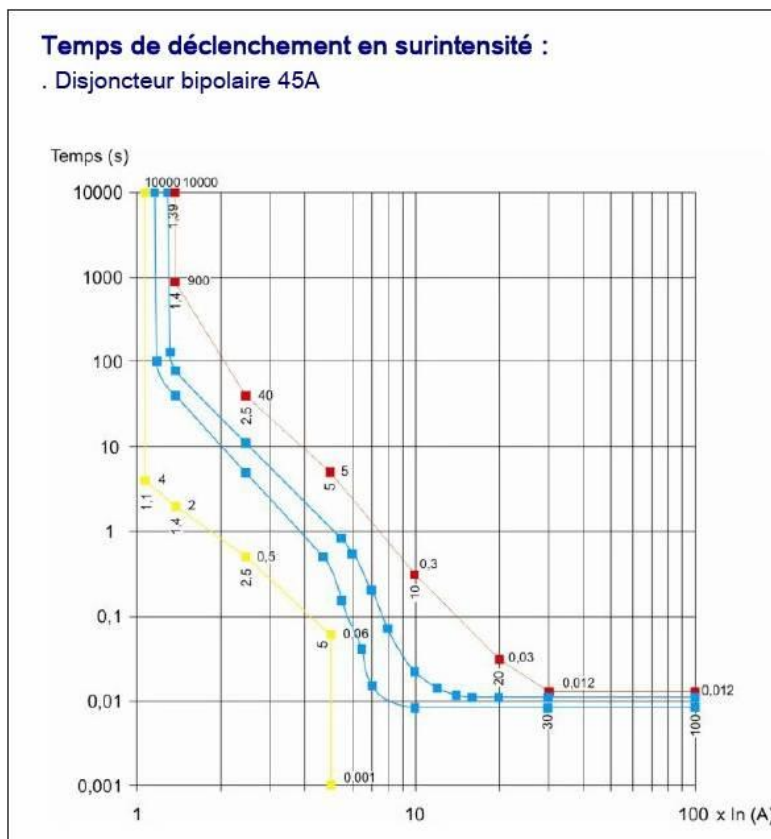
Le compteur Linky intègre un rupteur de disjonction que n'ont pas les compteurs électromécaniques. Depuis longtemps, la fonction de protection de l'habitat contre les courts-circuits est confiée à un disjoncteur électromécanique du type "BACO" qui déclenche au courant maximal de l'abonnement Le Linky lui déclenche instantanément le rupteur dès que la puissance apparente du logement atteint la valeur indiquée sur le contrat d'abonnement Enedis.

Cette différence a pour fâcheuse conséquence que si, au moment du pic de puissance détecté, le $\cos \phi$ est inférieur à 1, la puissance active en **kW** à laquelle le compteur disjoncte est inférieure à celle annoncée par le contrat, elle en **kVA**.

$$\boxed{\text{Puissance disjonction}_{(\text{en kW})} = \text{Puissance Contrat}_{(\text{kVA})} * \cos \phi}$$

5.1.2 - Temps de réaction de disjonction du BACO en cas de surintensité

Contrairement au Linky qui réagit instantanément, le disjoncteur BACO a par construction une temporisation au déclenchement en cas de surintensités momentanées qui permet de les tolérer, lors du démarrage de moteurs puissants ou charges capacitatives par exemple, là où justement le $\cos \phi$ est très inférieur à 1. La caractéristique de disjonction dessous est celle du disjoncteur bipolaire LEGRAND, extraite de ses caractéristiques.



Sur l'axe des abscisses, la valeur de disjonction à laquelle est ajusté le disjoncteur correspond à 1, en relatif.
 Sur toutes les courbes, le disjoncteur réagit avec un temps, de l'ordre de la seconde variant selon la surintensité.
 Bien que n'ayant pas trouvé la signification des couleurs, une surintensité de 2 fois le courant maximal par exemple peut durer **10 secondes** sur la courbe bleue avant disjonction, ou 1 seconde sur la courbe jaune.

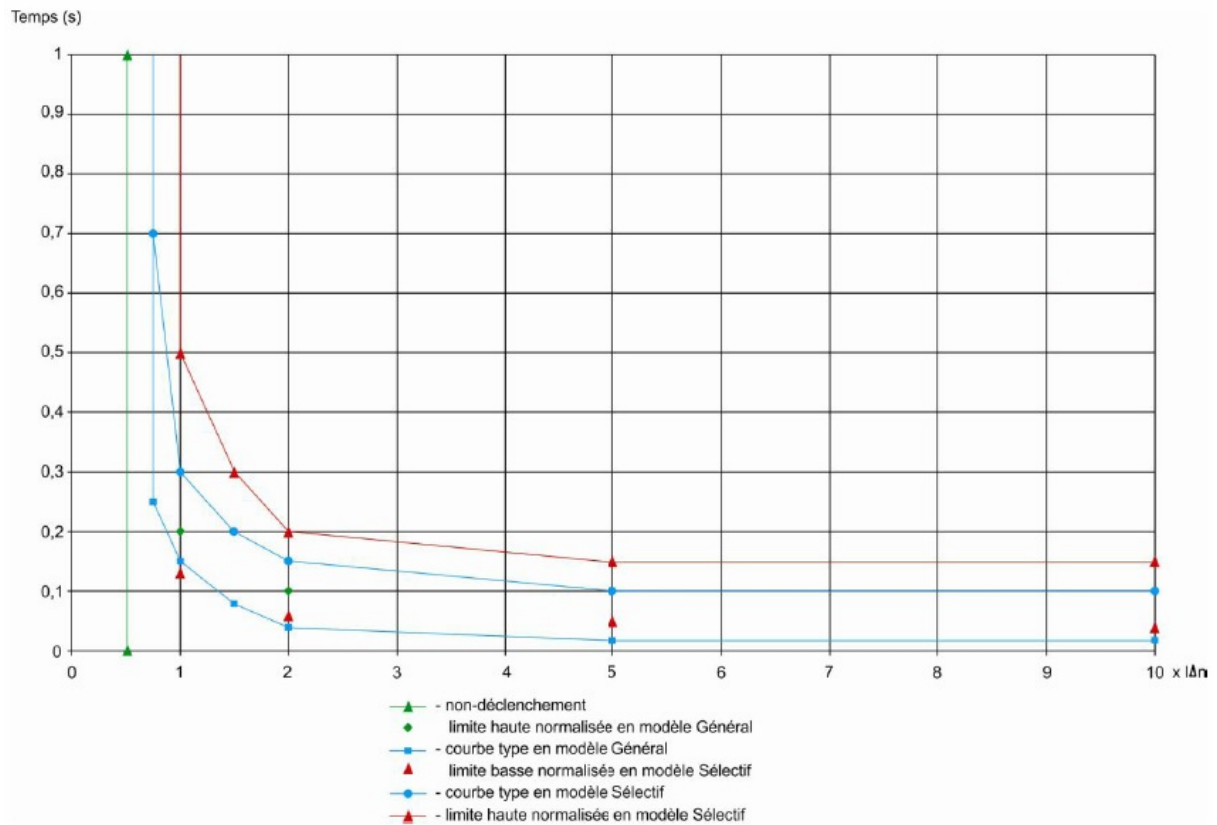
Le compteur linky a un facteur de surintensité réduit à 1,1 par rapport à celui des anciens disjoncteurs anciens à 1,6. Ceci oblige à changer plus rapidement d'abonnement en présence de surintensités qui le font disjoncter.

5.1.3 - Temps de réaction de disjonction en mode différentiel

De plus, le disjoncteur BACO est conçu pour offrir un temps de disjonction en mode différentiel beaucoup plus rapide que celui en cas de surintensité, ce qui est normal car c'est une protection à la personne humaine en cas de problème d'un défaut de terre.

Le Linky, qui n'a qu'un rupteur unipolaire, ne peut pas réagir dans ce mode de protection différentiel. Le disjoncteur différentiel est donc toujours nécessaire dans un logement.

Temps de déclenchement en différentiel :



6 - CONCLUSIONS AU SUJET DU COMPTEUR LINKY

Les quelques points abordés dans ce récapitulatif nous montre que le compteur Linky présente des différences importantes par rapport au compteur électromécanique associé au disjoncteur électromécanique BACO ;

- ① Par sa conception électronique qui le situe plus au niveau d'un ordinateur de comptage de l'électricité, le compteur Linky **n'est plus un appareil de métrologie** car il est reconfigurable à distance par CPL. Un appareil de métrologie garantit **l'impossibilité de falsification** de la mesure **affichée** aux deux parties. Les compteurs électromécaniques présentaient cette qualité par le principe même de leur conception, basée sur un principe physique directement couplé à un compteur mécanique à roulettes. Le compteur Linky présente une couche logicielle importante, modifiable par Enedis, qui lui permet des modifications de paramètres de comptage à distance, par exemple dans le cadre de contrats horaires comme il est déjà annoncé.
- ① En fonction des contrats, où par reconfiguration du compteur à distance sans informer l'abonné, une surfacturation éventuelle de l'énergie consommée en énergie apparente pourrait être appliquée, qui majore toujours la valeur en énergie active, jusqu'à 50 % selon les appareils.
- ③ Nécessité de passer parfois à un contrat d'abonnement de puissance supérieure et de coût plus élevé à cause d'une **réduction de 1,6 à 1,1 du facteur de surintensité** du rupteur intégré du compteur, en comparaison aux disjoncteurs d'avant 1996.
- ④ Le rupteur intégré au compteur Linky ne protège pas l'habitation par disjonction en mode différentiel, ce qui oblige à lui associer comme avant un disjoncteur BACO pour la protection contre les risques électriques dans le domicile et pour ses habitants.