



L'Interrupteur Automatique de Champ (IAC) du crocodile

Version : V1.1

Date : 31 mars 2013

Auteur : croco31

Résumé :

Ce document décrit la construction d'un prototype d'un Interrupteur Automatique de Champ (IAC) qui est un circuit de déconnexion de la ligne de phase d'un circuit d'alimentation de prise ou de lampe quand celle-ci n'est pas utilisée, afin de supprimer toute pollution électrique inutile par les fils du secteur 240V/50Hz.



Avertissement :

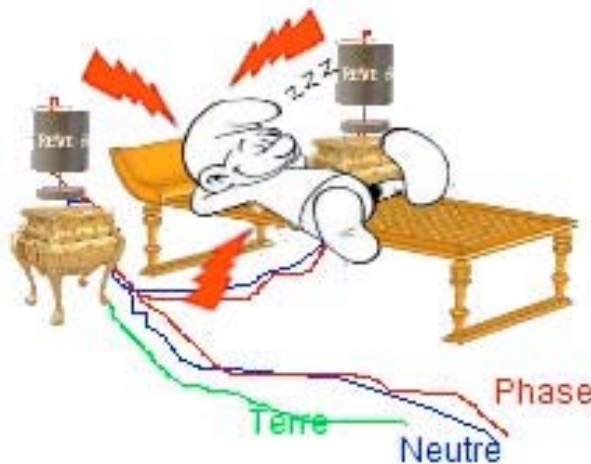


Les informations données ici sont destinées à la réalisation expérimentale d'un montage électronique. L'auteur met en garde contre le risque électrique de la manipulation d'un circuit relié directement au secteur 240V et décline toute responsabilité suite à son usage.

1. Introduction

Il est conseillé en géobiologie d'éviter de dormir dans une ambiance polluée électriquement, quand la tête est proche d'une source de perturbation électromagnétique (téléphone portable, box, câbles électrique sous tension, etc.). Il est courant de mesurer avec un voltmètre (mode AC calibre 20V), une tension de quelques volts entre le corps et la Terre, alors qu'il vaudrait mieux ne pas dépasser quelques 100mV voire aucune tension.

Cette situation de tension trop élevée se produit fréquemment quand on utilise des lampes de chevet alimentées en 240V/50Hz (ce qui génère un champ électrique alternatif) et encore pire un radio réveil trop proche de la tête du lit (car il génère en plus un champ magnétique perturbateur à cause de son transformateur interne non blindé qui l'alimente). Même si un fil de terre est obligatoire maintenant au niveau des prises, la lampe de chevet n'utilise pas ce fil de terre (prise plate à 2 fiches). Dans ce cas, le dormeur, isolé (de la terre) sur son lit se trouve au milieu d'un champ de potentiel électrique alternatif généré entre le fil de phase et la terre. Le neutre est proche du potentiel de terre, car il y est relié au niveau du transformateur EDF du quartier.



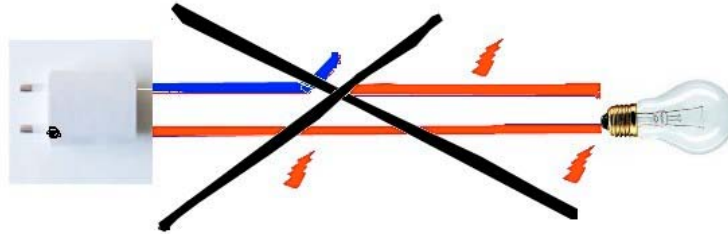
Une disposition classique du lit

Attention, on parle ici de potentiel électrique alternatif à 50Hz (en France) : ce n'est pas le problème des champs radio-fréquences qui est traité ici. En effet la fréquence 50Hz est très basse et ne se propage pas (très peu) comme les ondes hertziennes, dont la fréquence va de quelques Mégahertz à plusieurs Gigahertz (borne Wifi, téléphone GSM, téléphone DECT, radars, boîtiers réseau CPL...). Des systèmes d'écrans spécifiques (cages de Faraday) sont nécessaires pour se protéger des ondes hertziennes, notamment pour les personnes électro-sensibles.

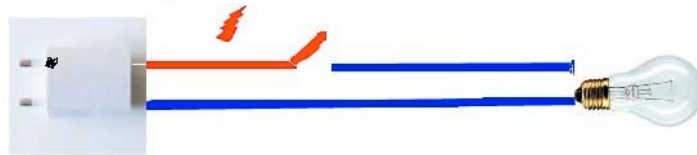
On notera néanmoins que le fil du secteur peut favoriser la propagation d'ondes indésirables : le réseau informatique à boîtiers CPL utilise justement les fils Phase/Neutre pour la communication entre boîtiers, mais en utilisant des tensions beaucoup plus faibles que le 240V mais à haute fréquence.

Les mesures qui peuvent être prises pour pallier ces problèmes de potentiel électrique:

- supprimer le radio-réveil en le remplaçant par un simple modèle à piles, ou au moins l'éloigner à l'autre bout de la chambre.
- Tester le sens des prises des lampes de chevet en s'assurant que la Phase est coupée par l'interrupteur qui est souvent unipolaire. On peut néanmoins remplacer cet interrupteur unipolaire par un modèle bipolaire que l'on trouve facilement en magasin de bricolage. En effet si on coupe le Neutre, la phase passe en permanence au travers de l'ampoule, ce qui rayonne un champ électrique. Une simple inversion de prise peut déjà suffire à diviser par 4 le champ électrique subi par le dormeur.



Mauvaise position de la prise : coupure du neutre



Bonne position de la prise : coupure de la phase

- Eventuellement utiliser du cordon blindé jusqu'à l'ampoule, blindage relié à une bonne terre (si elle existe sur la prise et si elle est vraiment correcte). Il existe aussi des rallonges multiprise blindées si une rallonge est nécessaire pour passer sous le lit.
- Utiliser un tapis/drap de cuivre (ou autre conducteur) relié à la terre pour créer un plan de masse sous le matelas (ou sous le drap pour ceux qui supportent sa texture), ce qui réduit le champ généré par un câble passant sous le lit ou dans le mur derrière la tête de lit (et du dormeur).
- Et la solution radicale : supprimer la tension 240V sur le fil de Phase quand aucun courant ne circule sur les prises (ce qui exclut en pratique d'y brancher un radioréveil qui consomme en permanence). C'est le but de l'IAC décrit ici : Interrupteur Automatique de Champ.

On s'intéresse ici à un schéma d'IAC réalisable par un électronicien moyen, bien qu'il existe des IAC vendus dans le commerce, à mettre au niveau du tableau électrique et valant de 80Euros à 400 Euros suivant le modèle.

Note : je rappelle ici le danger de manipulation de ce circuit IAC qui est relié directement au secteur. Son montage et sa mise au point doivent être faits en prenant le maximum de précautions pour éviter toute électrisation fatale ou accident, le minimum étant d'utiliser une ligne protégée par un disjoncteur différentiel 30mA et au mieux en rajoutant en plus un transformateur d'isolement..

2. Le principe IAC

Le principe est assez simple :

- quand on allume une lampe de chevet ou autre charge qui consomme du courant, le circuit IAC applique la Phase du secteur (240V AC par rapport au neutre) sur le fil de phase de la prise : on est en situation normale où on peut réduire la pollution électrique par les mesures citées auparavant.
- quand toutes les lampes ou charges du circuit sont coupées (la nuit notamment), le circuit IAC détecte cette situation et isole le fil de phase de la ligne de phase allant à la prise. Le neutre n'est jamais coupé. L'IAC teste en permanence le courant qui circule dans la ligne pour détecter cette coupure.
- Quand il est dans l'état « isolé », le circuit IAC applique sur le fil de phase une faible tension continue (de +12V par exemple) qui n'a pas d'effet polluant. Ce 12V est référencé par rapport au fil de Neutre lui-même proche du potentiel de la Terre. Cette tension lui permet de détecter qu'une ampoule ou autre charge vient d'être mise en service, en mesurant la

résistance qu'il voit entre les 2 fils. Si le circuit est ouvert, la résistance est très grande (>1Mohm normalement) et chute à quelques Kohms si le circuit est fermé (interrupteur). Cette chute dépend de la puissance de l'équipement qui est mis en marche sur la ligne. Une lampe à filament (à halogène de nos jours) de 40W a une résistance à chaud de 1Kohm environ (elle est encore plus basse quand l'ampoule est froide). Les lampes basse consommation sont plus difficiles à détecter, à cause du redressement de la tension vers un condensateur interne. Mais de toute façon, il vaut mieux les éviter en tête de lit car elles rayonnent un champ électromagnétique et émettent du mercure. Les lampes à LEDs sont aussi difficiles à détecter car elles consomment très peu, par contre elles n'ont pas trop d'inconvénients à priori (à part la lumière trop crue que je n'aime pas).

- On voit que sur une ligne protégée par un IAC, on ne peut pas laisser d'appareils qui consomment en permanence (comme un radio-réveil) car l'IAC n'isolera jamais la ligne ou coupera l'appareil si le seuil de détection de courant consommé est au-dessus de sa consommation propre (dans ce cas d'ailleurs l'IAC oscillera entre les deux états s'il n'est pas pourvu d'un contrôleur intelligent à microprocesseur).

Quelques contraintes ont été prises en compte pour concevoir le schéma de l'IAC :

- il vaut mieux privilégier un IAC qui a plutôt tendance à maintenir actif le circuit de phase que l'inverse : il est désagréable de ne pas avoir de lumière quand on en a besoin...
- on peut d'ailleurs prévoir un switch qui force la mise sous tension (ou qui coupe la mise hors tension)
- le temps de détection d'allumage de la lampe doit être le plus court possible et invisible si possible : on est impatient....
- le temps de coupure de la ligne est moins critique et peut prendre plusieurs secondes sans inconvénient.
- pouvoir détecter les nouvelles lampes à LEDs qui se banalisent
- avoir une puissance ou courant suffisants compatibles avec une prise 16A (pour l'aspirateur)
- pouvoir être intégré dans une boîte de dérivation exigüe (ou coffret du compteur) pleine de fils sous tension et dominos
- ne pas créer de problèmes de sécurité électrique et de cause d'incendie
- être réalisable par un bricoleur moyen avec des composants faciles à trouver
- qui n'a pas (trop) de réglages et fonctionne du premier coup (voir le choix du relais)
- et assez fiable pour ne pas avoir à y retoucher souvent.

3. Contraintes de sécurité

Comme de mon côté je compte installer l'IAC, qui sera sous tension en permanence, dans une boîte de connexion dans un coin de la chambre, boîte déjà pleine de fils sous tension et de dominos, quelques précautions doivent être prises en terme de sécurité :

- pas de point chaud : le schéma doit limiter au maximum sa consommation pour ne pas élever sa température et provoquer un incendie : le schéma doit être le moins consommant en permanence.
- pas de transformateur dissipant quelques Watts à vide : ces petits transformateurs, 220V/12V par exemple, ont un mauvais rendement et chauffent un peu à vide. On utilisera plutôt une conversion directe en chutant le secteur par un condensateur, ce qui ne génère que de la puissance réactive. De plus il n'est pas nécessaire ici d'avoir un circuit isolé du secteur.
- Protection par fusible (polyswitch réarmable) des circuits, ce qui protège contre un court-circuit interne du à une défaillance d'un composant : la protection générale différentielle sera toujours celle du différentiel 30mA de la ligne « chambre » venant du compteur électrique.
- Surdimensionnement des composants par rapport au besoin pour avoir une marge de fonctionnement et une bonne fiabilité
- Isolation correcte du circuit pour éviter un court-circuit dans la boîte de connexion avec les autres fils ou la terre
- Accessibilité uniquement visuelle, voire témoin LED de fonctionnement, pour contrôler l'état du circuit : de la gaine thermorétractable transparente sera utilisée en lieu et place d'un boîtier : cela gagne de la place.

4. Choix du relais

On utilise ici un relais mécanique : c'est une façon d'isoler simplement la ligne de phase venant du compteur de la ligne allant à la prise.

Un relais statique (TRIAC) ne fait pas l'affaire, car il laissera toujours passer un potentiel sur la ligne (en fait il est néanmoins possible de faire un schéma qui utilise un triac).

Le bon choix du relais est aussi la clef pour réduire la consommation du circuit IAC.

Le relais doit pouvoir supporter le courant d'une prise standard de 16A sous 250V. Ce qui fait souffrir un relais c'est la coupure du courant surtout continu: cela provoque un arc au niveau des contacts qui peut détruire le contact, surtout sur charge selfique comme un moteur.

Ce paramètre est moins critique dans le cas d'un IAC, car le relais ne coupera la ligne de la prise que si celle-ci n'utilise plus de courant. Par contre les contacts de relais doivent supporter le courant permanent maximal de 16A quand la ligne est active (aspirateur).

Ce doit être un modèle dit « bistable » ou « à enclenchement » (latching relay en anglais) : après une impulsion de courant de quelques 20mA dans la bobine, pour le faire changer d'état, il garde son état sans consommer d'énergie.

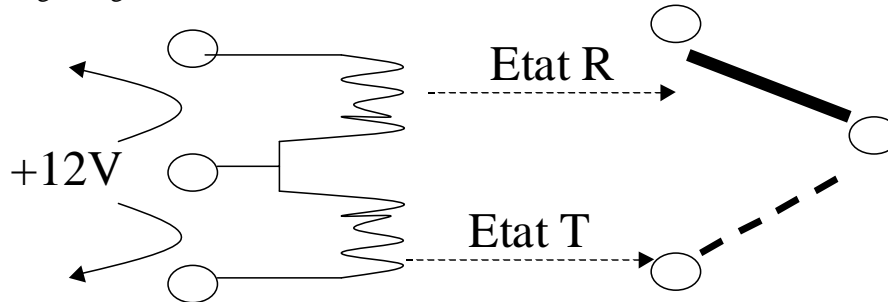
Il doit comporter 2 bobines dans notre cas car cela simplifie le schéma de sa commande par l'IAC : il faut au minimum 3 broches de bobines : une broche peut être commune entre les 2 bobines. Pour le mettre dans l'état 1 on envoie une impulsion dans la bobine 1, pour le passer dans l'état 2 on envoie une impulsion dans la bobine 2. Une seule bobine doit être activée à la fois sinon le relais ne bouge pas.

Il existe des relais bistables qui utilisent une seule bobine, mais on doit inverser son courant pour commander l'état 1 ou l'état 2 : un peu plus compliqué.

La tension de bobine peut être de 5V, 12V, 24V voire plus suivant le relais.

Dans notre cas c'est 12V qui est choisi car on utilise cette tension pour détecter l'usage de la prise. Mais on peut aussi utiliser un modèle 5V en mettant une résistance en série avec sa bobine.

Le schéma peut toutefois être adapté pour utiliser un relais 24V voire plus : les transistors utilisés pour la commande des bobines supportent 40V, mais marge oblige on se limite.



Relais bistable 1RT à 2 bobines 12V

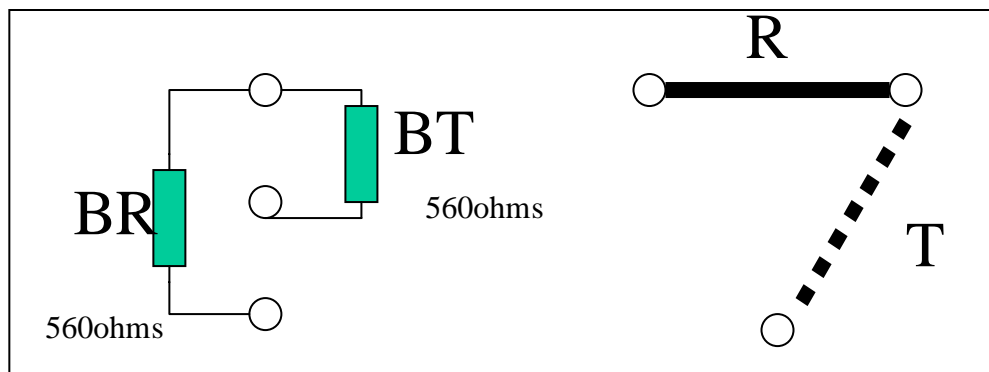
Le modèle de contacts doit être un 1RT (RT= Repos/Travail) au moins : un point est relié à un point 1 dans un état et à un point 2 dans l'autre état du relais. Si c'est un 2RT on peut relier les contacts en parallèle pour avoir plus de courant admissible (par exemple un 2RT de 8A/250V est OK pour tenir le courant 16A/250V).

J'ai retenu 1 modèle de relais pour circuit imprimé que j'avais en stock (15euros HT):

- ADJ14012 de Panasonic (Ref RS :699-5768 chez Radio-Spares) : modèle bistable à 2 bobines 12V avec point commun et 1RT 16A/250V. Sous 12V chaque bobine tire 20mA environ.



ADJ10012



Brochage vue de dessous du relais ADJ14012

Mais d'autres font l'affaire (moins chers sur Ebay à 5euros mais attention à leur qualité si fond de stock !!!) :

- RTE24F05 de Schrack (Radio-Spares): modèle bistable à 2 bobines 5V et 2RT 8A/250V à mettre en parallèle pour avoir 16A/250V
- RT314F05 de schrack chez ramelco (EBAY) : Bistable (latching) 2-coil relay 5V coil, 16A contact, SPDT 16A/250V
- RT314F12 de Schrack chez pcarena-bristol(EBAY) Components Relay Bistable 2 Coil 12V 16A/250V



RT314F12

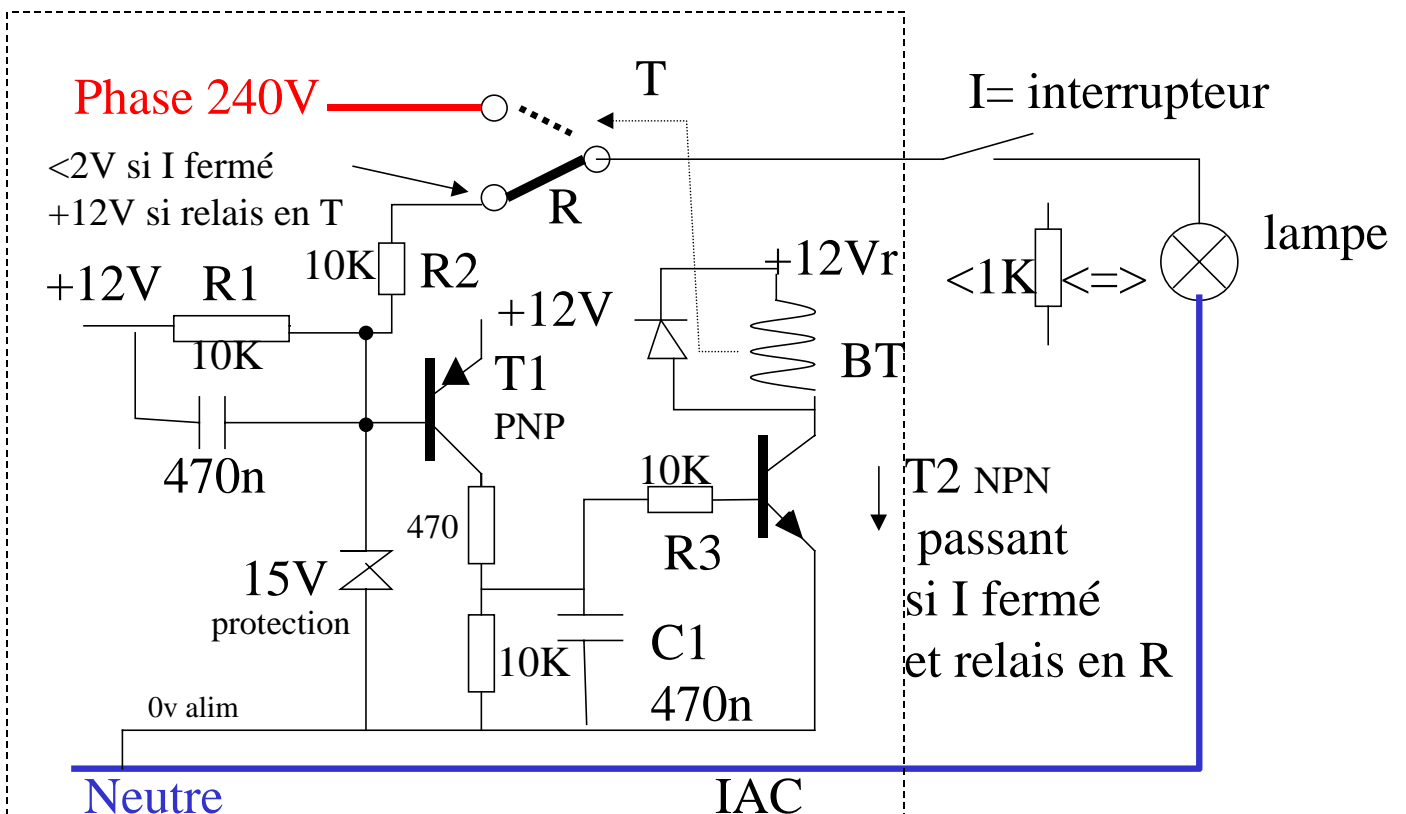
Attention : ils n'ont pas le même brochage : utiliser un ohmmètre pour trouver les contacts et une alim 12V ou 5V pour exciter les bobines. Ils ont tous la même taille de 30x15x15mm environ.

5. La détection d'utilisation de la ligne de prise

Quand l'IAC est dans l'état de repos, la ligne de la prise est isolée de la phase du secteur. Il faut donc que l'on reconnecte la ligne quand on branche un appareil sur la prise (et qu'on le mette en service). Pour cela, l'IAC applique une tension de +12V environ entre la ligne prise et le neutre qui reste connecté (on peut aller jusqu'à 30V qui est la limite du transistor PNP utilisé pour la détection).

En utilisant une résistance en série R1 +R2 de 20Kohms environ, la tension de la ligne de prise par rapport au neutre est à +12V si elle est « en l'air » et tombe en-dessous d'une valeur plus faible dès que la lampe de chevet (1Kohms environ si 40W) est allumée.

Quand la tension est tirée vers le bas, cela rend T1 conducteur, ce qui active T2 via le filtre R3C1 (de quelques 50ms) qui supprime des parasites éventuels et maintient la bobine active, comme la capacité de 470nF aux bornes de R1. T2 active la bobine BT du relais qui applique la phase sur la ligne. Le relais a sa propre ligne d'alimentation +12Vr, qui pourrait être confondue avec le +12V. T2 est protégé par une diode. On aurait pu n'utiliser que le PNP T1 pour commander la bobine, mais celle-ci serait alors référencée au 0V. La diode zener de 15V protège le circuit si fugitivement la phase était appliquée sur R2 lors de la commutation du relais. Cette diode zener doit avoir une valeur supérieure à la tension d'alimentation choisie.



Principe de détection d'utilisation de la ligne

Dès que le relais s'active, la tension +12V n'est plus appliquée à la ligne de prise (sinon la phase 240V détruirait le circuit si on ne rajoutait pas un petit circuit de protection ! !), ce qui fait que le détecteur arrête d'activer la bobine du relais : pas la peine de créer une impulsion de 20ms, l'activation de la bobine s'arrête dès que la ligne de prise a été reconnectée sur la phase et l'entrée de détection remonte à +12V.

En pratique on réglerà le seuil vers la moitié de la tension +12V, ce qui le rend indépendant d'une variation de celle-ci, si l'alimentation de la bobine est la même que l'alimentation du circuit de détection.

Cela permet aussi d'utiliser une tension plus élevée de +24V par exemple si on n'a que ce type de relais.

Si le système est trop sensible on peut rajouter une zener de 5.6V entre le +12V et l'émetteur de T1.

6. La détection de coupure de la ligne de prise

Quand l'IAC alimente la ligne avec la phase, il faut détecter le moment où la prise ne demande plus aucun courant pour basculer en position repos où la ligne de prise est isolée de la Phase 240V.

Ceci doit se faire sans dissipation dans l'IAC et sans déconnecter intempestivement la ligne (désagréable de se retrouver dans le noir). Il y a plusieurs solutions possibles pour cela :

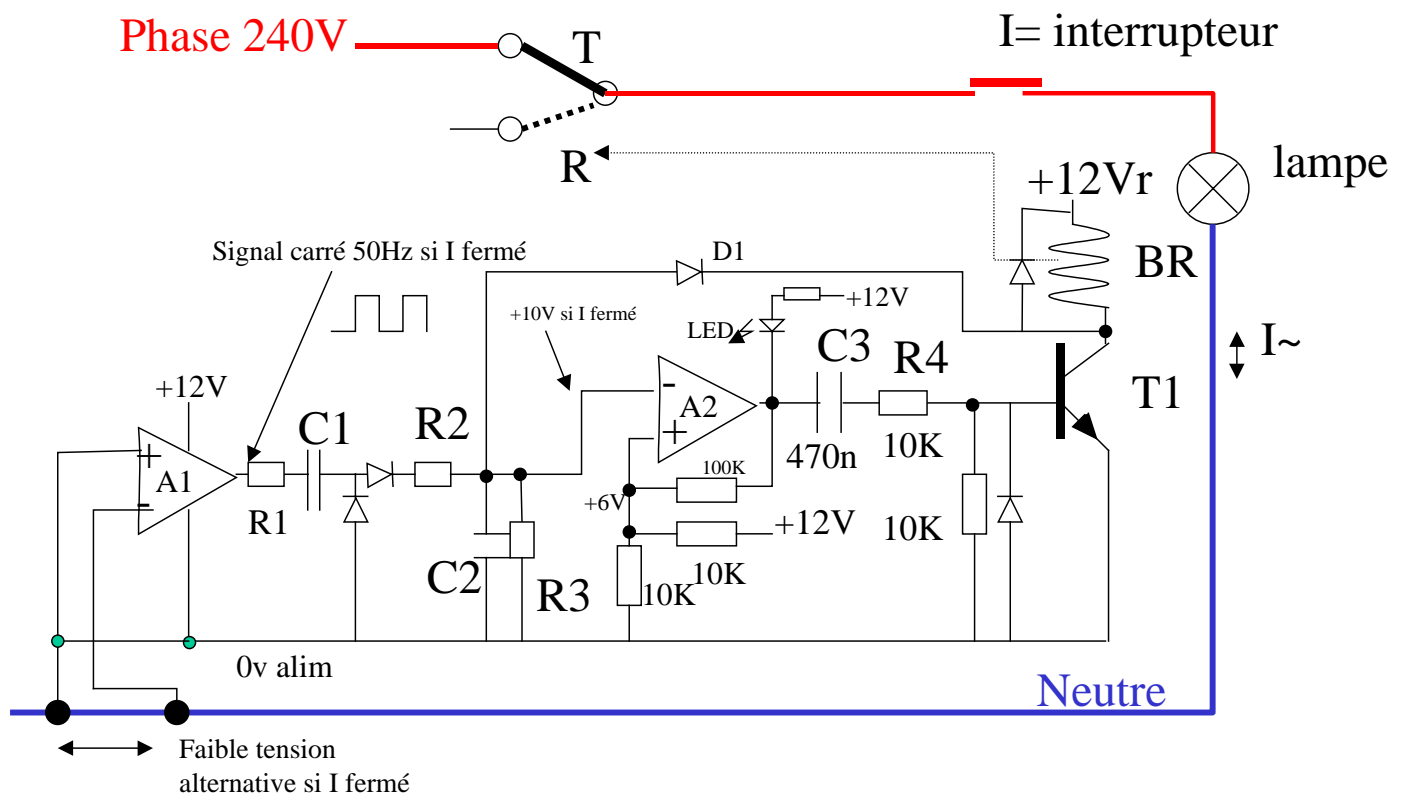
- un transfo de courant : compliqué et peu sensible
- un capteur à effet hall : coûteux et consommant
- un relais Reed sensible qui se ferme quand une bobine passe du courant : encombrant
- un simple shunt aux bornes duquel on mesure une tension alternative.

J'ai retenu la solution shunt, mais en détectant seulement la présence d'un courant alternatif qui traverse le fil du neutre allant vers la prise. Le fait de détecter un courant alternatif permet de ne pas détecter le courant continu qui sert à détecter la prise de ligne.

Le shunt est simplement un bout de fil de neutre aux bornes duquel un comparateur sensible (AOP en boucle ouverte) détecte une tension. La résistance du shunt dépend de la longueur de fil de neutre qui est pris dans la mesure (0.01ohms par exemple) et donne la sensibilité du montage. Cela n'a aucune dissipation (pas plus que le fil de neutre lui-même).

Attention : le 0V du montage doit être connecté sur le neutre en amont du shunt : du côté de l'arrivée du neutre. Ceci évite que le courant propre au montage soit détecté comme courant de prise, ce qui pourrait l'activer tout le temps.

Quand aucun courant alternatif ne passe, la sortie de l'AOP A1 est à +12V ou 0V en fonction de la tension d'offset sur les entrées et du courant continu qui peut passer.



Principe de détection de coupure de la ligne

Quand un courant alternatif passe dans le shunt, la sortie de l'AOP A1 utilisé en ampli très grand gain est un signal carré de 50Hz.

Attention : l'AOP doit accepter une tension d'entrée légèrement en dessous de son alimentation négative (le Neutre) , -0.3V suffit en pratique car la tension aux bornes du fil est très faible: c'est le cas du LT1013 utilisé. Néanmoins, si on n'a pas de tel AOP à disposition (vérifier sa datasheet), on peut utiliser une tension d'alimentation négative (-5V par exemple), par rapport au Neutre qui sert de 0V ce qui est assez simple à faire au niveau circuit d'alimentation, en rajoutant quelques composants.

Il suffit de détecter ce signal carré avec le redressement diode en tête et le condensateur C1 (avec R1 de faible valeur en série pour protéger l'AOP quand il vide C1 via la diode) qui ne laisse passer que l'alternatif et le filtre R2C2 qui fournit une tension continue de +10V environ quand un courant est détecté sur la ligne. C2 se charge avec la constante de temps R2C2.

Une résistance R3 permet aussi de décharger C2 et régler le temps de latence de détection d'absence du courant (évite le noir intempestif). Ce temps peut être de plusieurs secondes sans problème, ce qui évitera des oscillations du relais.

L'AOP A2 est utilisé en comparateur trigger de Ssmith grâce à la résistance de rebouclage de 100K sur son entrée + qui est polarisée à +6V (cela pourrait être un seuil réglable= sensibilité) . Quand un courant suffisant est détecté sur la ligne , sa sortie passe à 0V.

Quand le courant disparaît, au bout de quelques secondes C2 se décharge en dessous du seuil +6V, et A2 bascule sa sortie à +11V environ, brutalement à cause du rebouclage vers l'entrée + créant l'effet hystérésis, ce qui active le transistor T1 temporairement pendant 30ms environ, via la constante de temps C3R4. Ce qui active la bobine BR du relais pour repasser l'IAC en mode isolé.

La diode sur la base de T1 protège celle-ci de la tension négative générée quand C3 se videra.

La diode D1 vide C2 quand le relais bascule, ce qui évite des oscillations, car il faut alors attendre de recharger C2 (présence de courant alternatif assez longtemps) pour recommencer un cycle.

La LED indique qu'un courant est détecté et que la ligne consomme: prendre un modèle faible courant 2mA pour ne pas consommer bêtement 10 à 20mA alors que les circuits eux-mêmes ne dépassent pas 2mA !!!

7. Alimentation du circuit

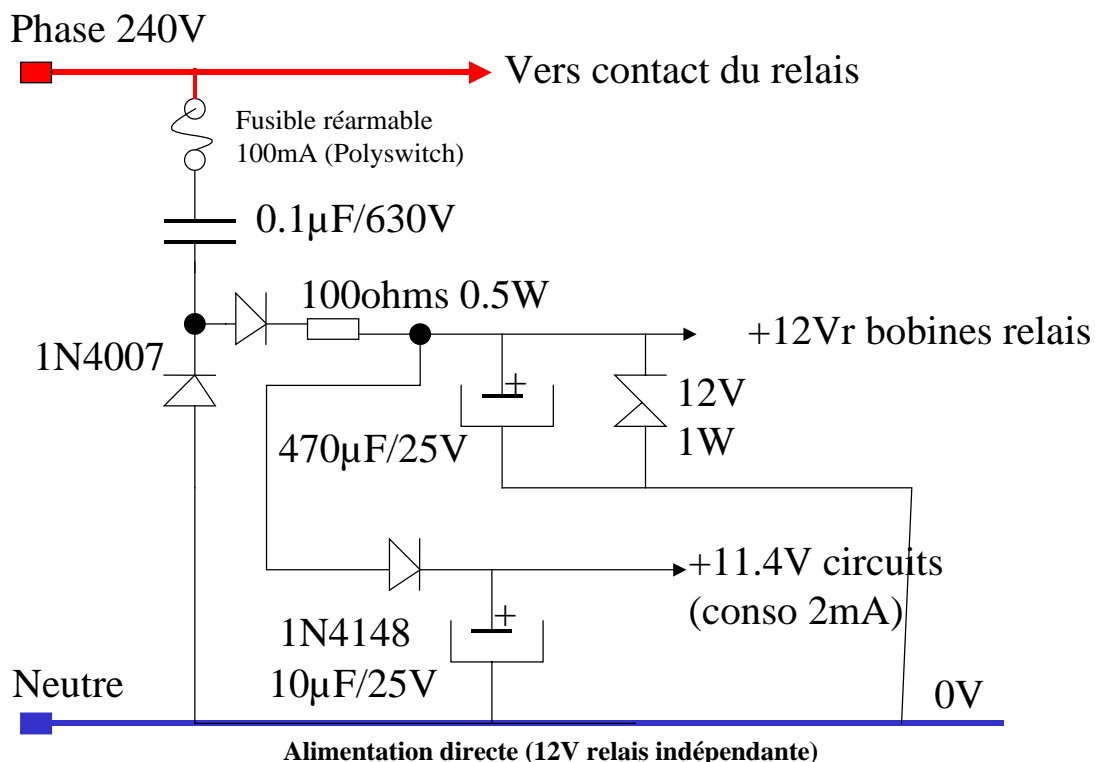
Le circuit doit être alimenté sans transformateur pour ne pas dissiper de l'énergie à vide. Comme il n'est pas nécessaire d'isoler le circuit du secteur, on utilise une capacité qui abaisse la tension 240V avant de la redresser pour obtenir +12V par rapport au neutre qui servira de référence 0V au circuit.

Il faut distinguer 2 alimentations :

- le +12V du circuit de détection lui-même qui demande quelques mA
- l'alimentation des bobines du relais qui demande 10 à 30mA environ pendant l'impulsion de commande de 30ms.

Il est préférable de ségréguer ces deux alimentations, pour éviter des pompages intempestifs, ce qui permet aussi d'adapter l'alimentation des bobines au type de relais bistable que l'on a sous la main (+24V notamment).

Il faut réduire au maximum la dissipation dans la zener et la résistance en série, pour la capacité en série doit être la plus faible possible, réglée en fonction du courant consommé par les circuits (ici supposé 2mA), de telle sorte que la diode Zener passe 4 ou 5 mA Cela se calcule par simulation LTSPICE IV (simulateur gratuit chez LinearTechnology).



Il est possible aussi d'utiliser un module à découpage isolé 1W (RadioSpares code RS : 771-9366 à 10euros) qui produit 12V sous 83mA, avec un rendement de 70% (le fait d'être isolé ne sert à rien ici).

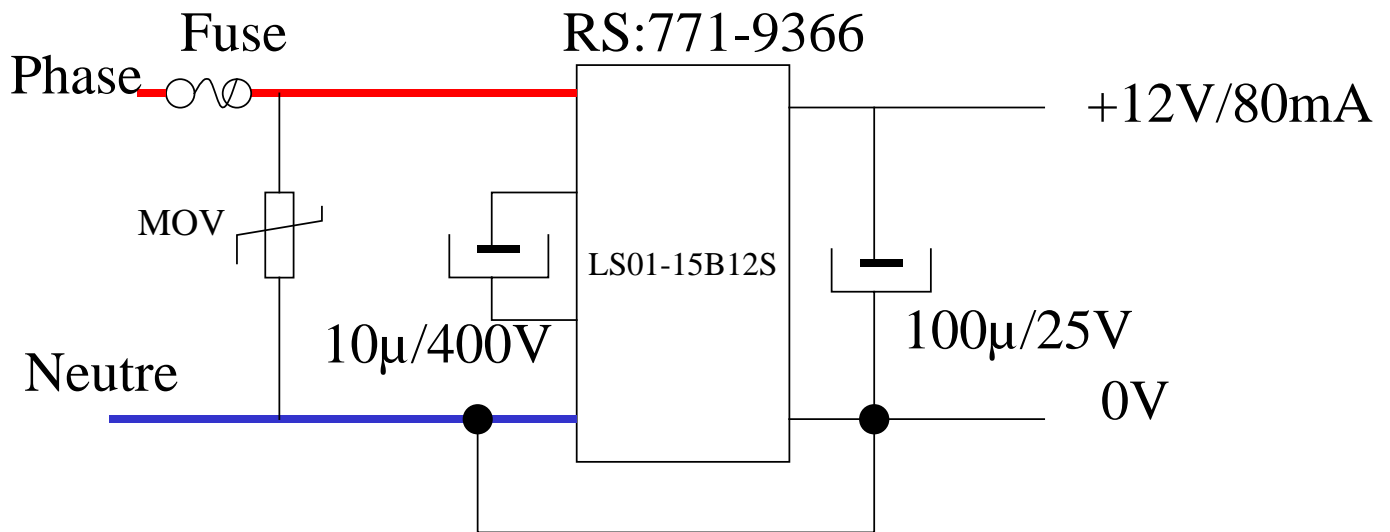


Il existe aussi en 24V et 9V et 5V.

Il faut lui rajouter une capacité $10\mu\text{F}/400\text{V}$ (qui n'est peut-être pas nécessaire mais que l'on trouve dans le culot de lampe basse consommation en panne), un fusible polyswitch en série sur la phase et d'un MOV en parallèle sur l'entrée pour le protéger contre les pointes de surtension, ainsi qu'une capacité de filtrage $100\mu\text{F}/25\text{V}$ en sortie.

Dans ce cas la même alimentation 12V est utilisée pour les circuits et les bobines du relais.

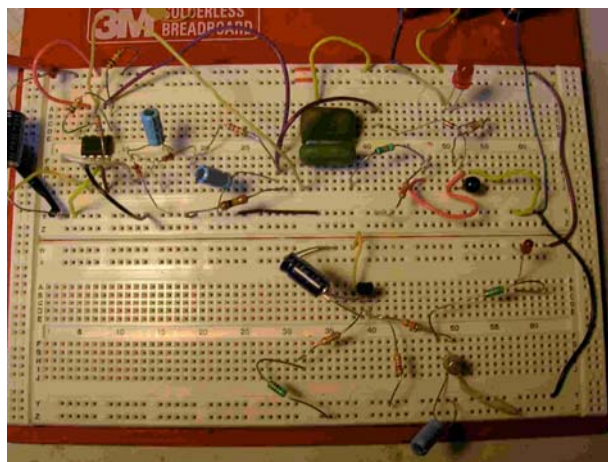
C'est la solution qui dissipe le moins et peut-être la moins encombrante.



Alimentation avec DC/DC intégré

8. Réalisation

Pour ma part j'ai d'abord prototypé les circuits sur une plaquette breadboard avant de réaliser le montage définitif sur une plaquette à souder.

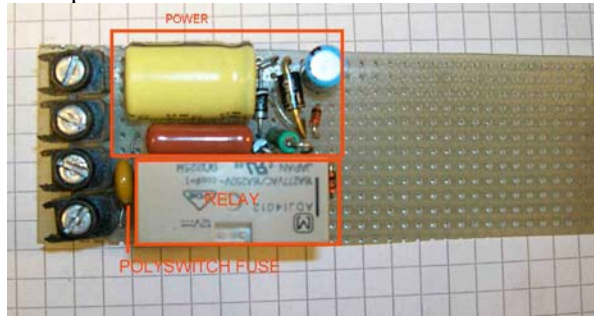


Prototypage de la détection de coupure de ligne

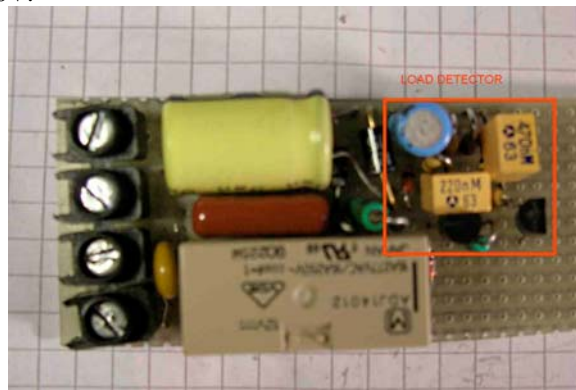
Ce prototypage a été fait hors connexion secteur, par sécurité en alimentant par une alimentation 12V de labo, en simulant le shunt par le toucher du doigt et en remplaçant la bobine relais par une LED.

Le circuit final a été câblé sur une plaquette à pastilles en epoxy, en y allant progressivement, car les composants sont montés debout et très serrés. La plaquette a été coupée à la fin à la bonne longueur.

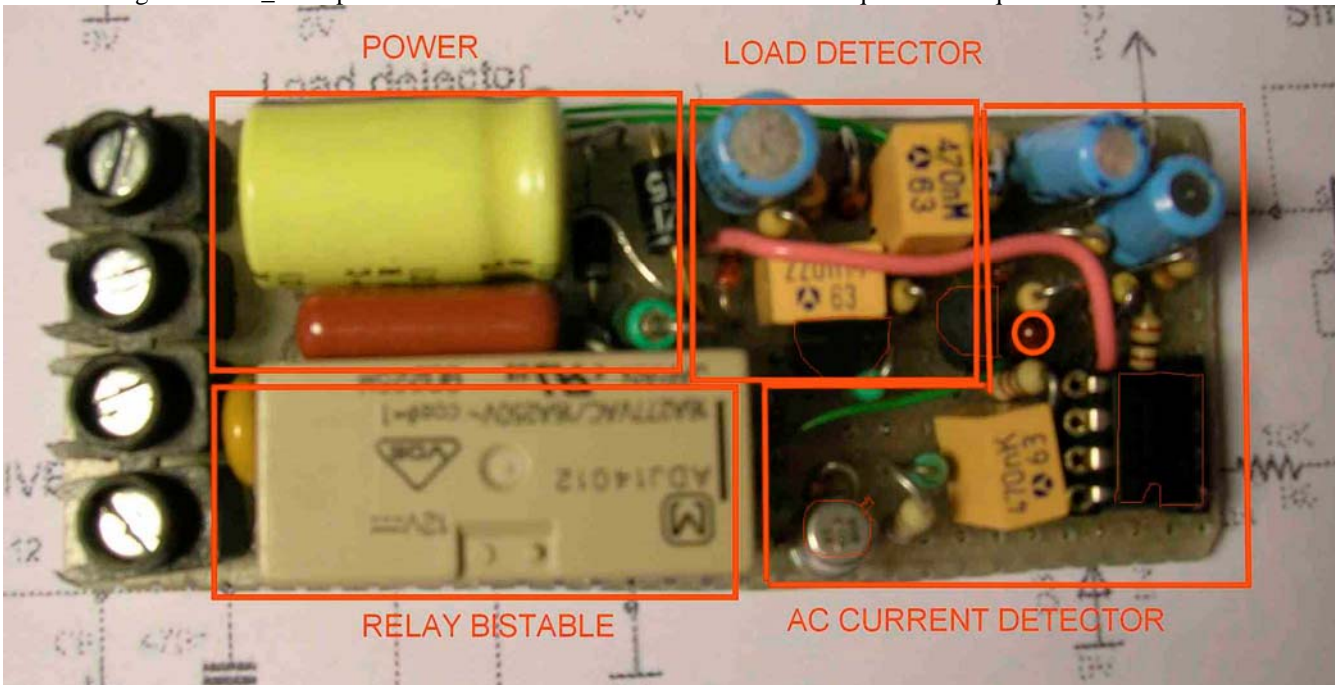
Le bloc alim avec le bornier de connexion et le relais a d'abord été monté et testé en vérifiant sur secteur (DANGER) que les tensions +12Vr et Vcc= 10.4V étaient bien présentes.



Puis le bloc de détection de prise de ligne a été monté et testé en alimentant par une alim labo aux bornes de la zener de 12V (attention : limiter le courant de l'alim à 10mA ou la tension à 11.5V sous peine de tuer la zener), et en simulant la prise d'eligne par une résistance de 1Kohms entre PhaseOUT et neutre : on entend le relais commuter et se relâcher aussitôt. Il faut le remettre en R ensuite par un fil entre BT et le 0V.

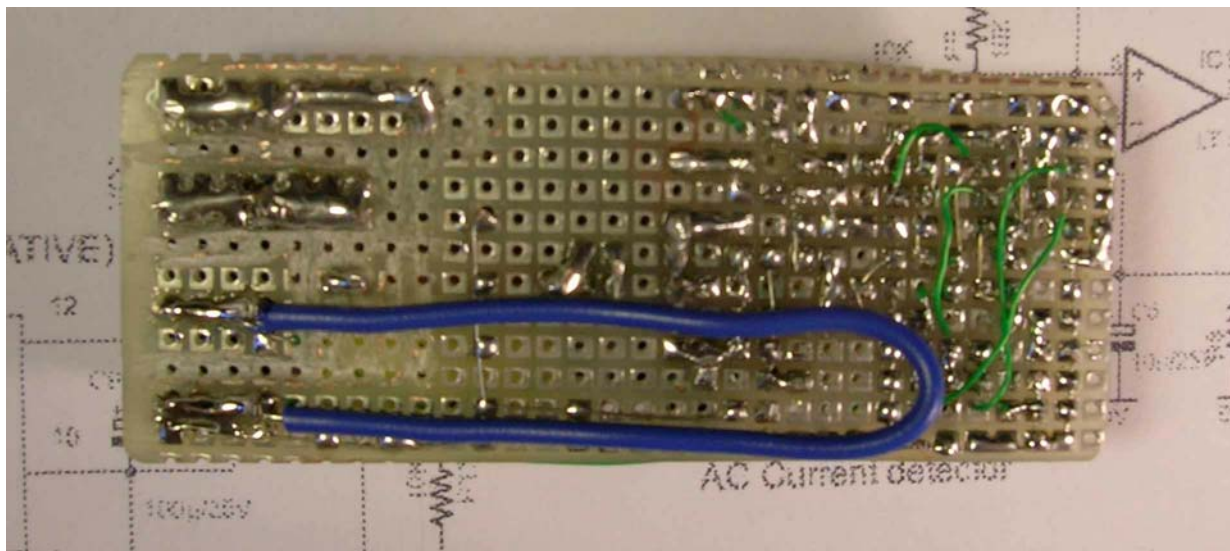


Enfin le détecteur de courant a été monté et testé toujours sur alim labo (il est dense et quelques erreurs de câblage à corriger), en touchant du doigt le Neutre_OUT pour simuler le shunt : cela allume la LED et claque le relais quand elle s'éteint.

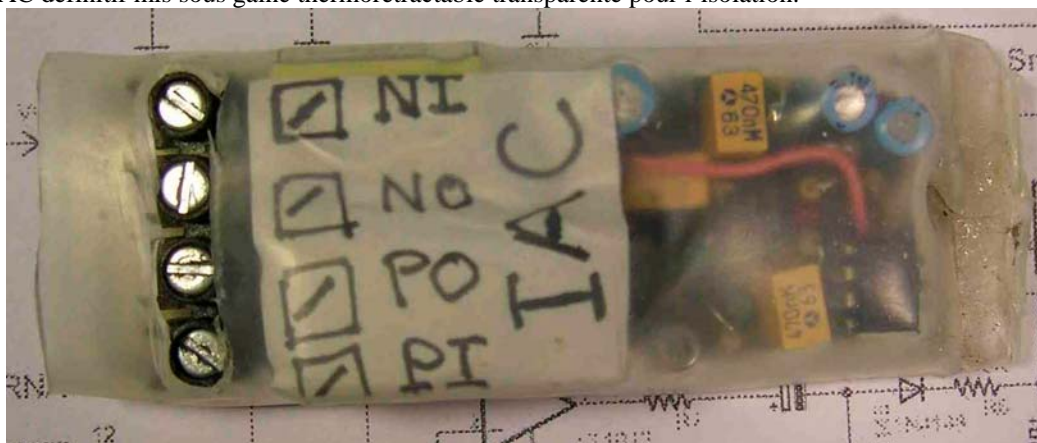


Enfin le shunt du neutre a été monté coté pastilles : on voit qu'il y a seulement 2 straps verts coté pastilles (pas mal ! !) et les broches 2 et 3 de l'AOP vont se prendre directement par deux fils sur le bornier d'entrée du Neutre.

De plus les pastilles inutilisées autour du bornier on été supprimées pour avoir une bonne isolation entre phase et neutre.



Et on obtient l'IAC définitif mis sous gaine thermorétractable transparente pour l'isolation.



Sa taille est 80x35x25mm environ.

Les essais ont ensuite été faits sur table en le connectant sur secteur :

- il détecte bien une ampoule à filament de 40W : si on coupe l'ampoule, l'IAC déconnecte la phase au bout de 10 secondes environ.
- Il détecte bien une ampoule à LED de 4W
- Par contre (et c'était prévu) cela marche moins bien avec une lampe à basse consommation : cela détecte une première fois et allume la lampe, mais cela ne marche pas une deuxième fois dans la foulée, car la capacité interne 10 μ F/400V de la lampe est déjà chargée et la tension de 12V appliquée ne produit pas assez de courant pour activer le transistor PNP. Cela doit dépendre du type de lampe, certaines ayant une résistance de forte valeur qui décharge le condensateur interne : il faut lui laisser du temps de le décharger complètement.

9. Annexe : schéma

