

## Fonctionnement d'une alimentation (1ère partie)

Par # , 30 NOVEMBRE 2005 00:00

### 1. Introduction

Toujours plus de puissance électrique à fournir aux dernières générations de matériels aptes à faire tourner correctement les jeux les plus lourds par exemple : voilà le dilemme auquel les utilisateurs doivent faire face lors de l'achat d'une nouvelle configuration ou d'une mise à jour de leur machine.

On ne rappellera jamais assez qu'une alimentation de qualité est un investissement un peu coûteux, mais utilisable sur du moyen terme car les normes à ce niveau évoluent assez lentement.

Il y a encore quelques années, les alimentations dites "nonames" suffisaient. Aujourd'hui, la demande de courants toujours plus élevés n'est pas sans poser de problèmes et nécessite des composants d'une certaine qualité. Par expérience, il faut éviter les alimentations génériques car elles ne rapportent en général que des ennuis et potentiellement des dommages pour l'ensemble du matériel si elles viennent à dérailler. Les maux sont nombreux : régulation quasi inexistante, sécurités absentes, sous-dimensionnement généralisé, filtrage bâclé, composants bas de gamme, nuisances sonores, etc.

Pour avoir personnellement essayé une alimentation générique donnée pour 350 W (fourni avec un boîtier), en attendant d'en recevoir une bonne, sur une simple configuration composée d'un AMD64 3000+ non o/c, 512Mo de DDR et d'une Radeon 9800 Pro, l'alimentation a brûlée à peine 5 secondes après avoir lancé 3DMark 2005 ! Rien d'étonnant à cela quand on l'ouvre pour voir les choix technologiques suicidaires qui sont fait à force de vouloir faire des économies.

Négliger l'alimentation est une erreur qui peut donc se payer cher et malheureusement certaines marques, qui ne sont pas loin de ce que l'on pourrait appeler des "nonames" remarquées, annoncent des caractéristiques trompeuses sur leurs produits qui ne reflètent absolument pas la réalité ! Il ne faut pas être dupe quand une alimentation sensée pouvoir délivrer 500 W est vendue 20 € car si elle tient 250 W en continu en respectant la norme c'est déjà bien beau... Entre les puissances en crête et les puissances réellement délivrables, il y a un gouffre que certains n'hésitent pas à franchir pour abuser les clients potentiels.

En règle générale et par mesure de sûreté, il faut éviter de tirer plus de 80 % de la capacité maximale d'une alimentation afin de prévenir tout risque d'usure prématurée ou de stabilité à court terme. Même si une alimentation de qualité arrivera à tenir la charge maximale sans se mettre en sécurité, elles ne sont pas vraiment faites pour rester à de tels niveaux de contraintes pendant longtemps (chute du rendement, stabilité moindre, température élevée, etc.).

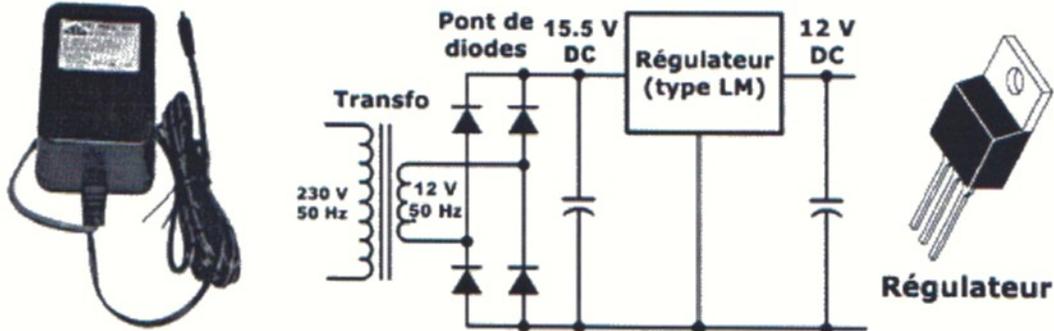
Ce dossier va décrire assez en profondeur un grand nombre d'aspects relatifs à l'électronique des alimentations et aux différents facteurs qui nous intéressent directement lorsqu'on souhaite acheter une alimentation. Certaines notions sujettes à de nombreuses confusions seront décryptées pour en faciliter la compréhension. De nombreux exemples concrets seront fournis pour comprendre correctement les différents aspects et c'est normalement assez accessible si la lecture est soutenue. Attention, le contenu de ce dossier est très riche et extrêmement dense. Il est donc présenté en deux parties afin de faciliter sa digestion. Par ailleurs, il sera suivi d'un gros comparatif d'alimentations.

## 2. Pourquoi du découpage ?

### Principe de base

Une alimentation pour ordinateur est un système complexe qui doit être capable de fournir plusieurs tensions de manière régulée (3.3, 5, 12 et -12 V actuellement).

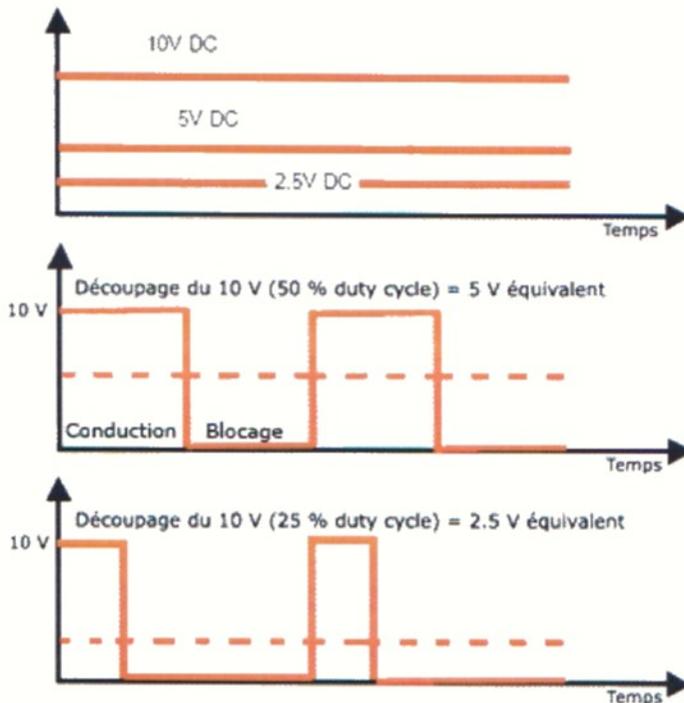
Les alimentations basse tension du type chargeur ou petit transformateur pour console, téléphone, etc. abaissent le 230 V alternatif à quelques volts à l'aide d'un transformateur, le redressent grâce à un pont de diodes, le lissent grâce à un condensateur et le régulent (pas toujours le cas) pour fournir du 12 V continu par exemple. C'est un système très simple de ce type :



Le problème c'est que le régulateur linéaire, qui agit comme une résistance variable s'occupant de maintenir ce 12 V en sortie quelles que soient la tension d'entrée et la charge appliquée, occasionne une chute de tension (on passe de 15 à 12 V par ex.). Celle-ci génère donc des pertes et une puissance thermique qu'il faut évacuer.

Le rendement d'un tel système est très mauvais (25-50 %) car on dissipe beaucoup d'énergie inutilement, mais il est suffisant pour de très petites puissances car c'est très peu cher à fabriquer. Néanmoins, on emploie de plus en plus du découpage pour optimiser et réduire énormément la taille de ces adaptateurs. Si on utilisait ce genre de système linéaire pour alimenter un PC qui demanderait 300 W, il faudrait consommer pas loin de 900 W pour que le système fonctionne, avec une différence de 600 W qui partirait en chaleur ! En 50 Hz, il faudrait un gros transformateur, pesant pas loin de 10 kg, pour être capable de fournir 300 W, en plus des 600 W de pertes induites par la régulation, qu'il faudra bien dissiper...

Il faut donc trouver une solution beaucoup plus efficace et c'est là que le découpage intervient. Pour faire simple, une alimentation à découpage transforme le 230 V alternatif en 325-400 V continu, puis hache cette tension à haute fréquence pour en faire un train de fines impulsions (durée =  $\sim 0.00001$  seconde), dont la moyenne lissée et filtrée donnera les tensions nécessaires en sortie. Voici l'explication en images :



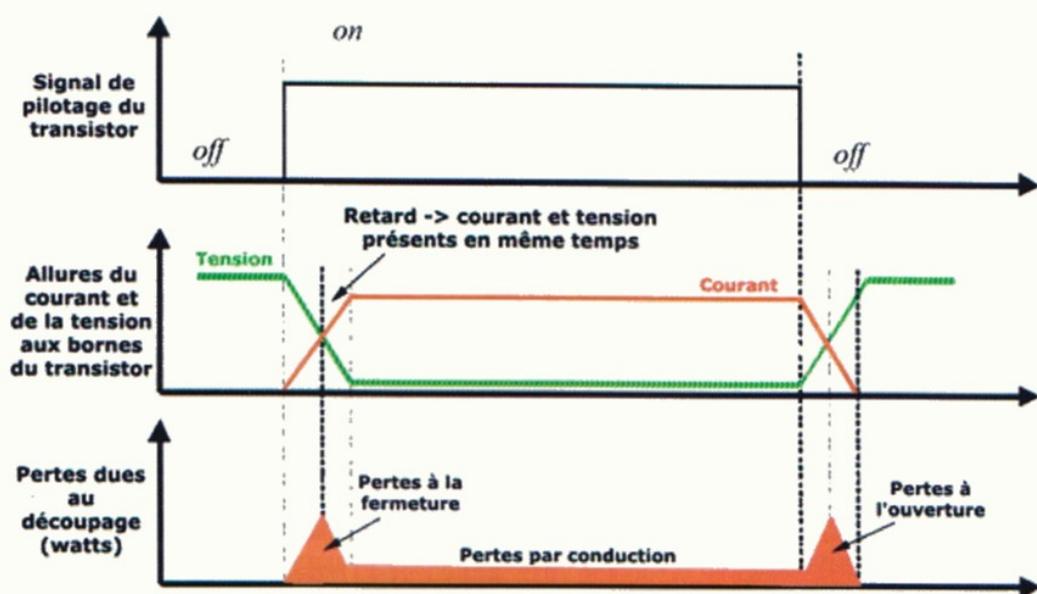
Le rapport cyclique (duty cycle en anglais) est le rapport entre le temps de conduction et le temps d'une période (conduction+blocage) de la forme en créneau. Si on hache du 10 V avec un rapport cyclique de 50 %, on obtient du 5 V en moyennant le signal obtenu. Si on hache ce 10 V à 25 % maintenant, on obtiendra du 2.5 V et ainsi de suite. Il suffit de calculer le bon rapport entre le temps de conduction et la valeur de la tension à découper pour avoir ce que l'on souhaite en sortie.

### 3. Comment découpe-t-on une tension ?

Pour découper la tension, on n'utilise rien d'autre qu'un interrupteur qui va s'ouvrir et se fermer très rapidement. Cet interrupteur électronique est un transistor (technologie bipolaire ou MOSFET) que l'on pilotera tout simplement en ouverture et en fermeture (régime de commutation). Le processus se fait à une fréquence de plus de 20 kHz pour être au dessus des fréquences audibles par l'homme. En général, on se trouve entre 32 et 100 kHz, mais ça peut monter beaucoup plus haut vers le mégahertz suivant l'application. C'est d'ailleurs ce que l'étage d'alimentation d'un processeur fait en découplant le 12 V à près de 500 kHz pour sortir une tension stabilisée entre 1 et 2 V avec un très fort courant, quelles que soient les conditions.

Pour éviter les pertes inutiles, il suffit simplement de ne pas avoir la tension et le courant en un même point au même instant. Ici, l'interrupteur n'a que 2 états, soit il laisse passer le courant (état passant) soit il l'empêche de passer (état bloqué), donc théoriquement la tension et le courant ne sont jamais présents en même temps. Quand le transistor est bloqué, le courant qui le traverse est nul et quand il est passant, la tension à ses bornes est nulle (toujours en théorie). En réalité, le transistor n'est pas parfait et occasionne des pertes à son ouverture et sa fermeture car ce n'est pas instantané (pertes par commutation) et aussi lorsque le courant le traverse car il a une résistance très faible mais pas nulle (pertes par conduction).

Au final, les pertes occasionnées aux transistors en régime de commutation sont quand même infiniment plus faibles qu'en régime linéaire pour le régulateur. Voici l'illustration du phénomène décrit au dessus :



Pour réduire les pertes au maximum, une alimentation à découpage utilisera donc des éléments non dissipatifs (en théorie) du genre transformateur, inductance, interrupteurs électroniques, condensateurs. Alors qu'un système linéaire permet un rendement de 25-50 %, les meilleures alimentations à découpage (tous domaines confondus) permettent d'atteindre 70 à 95 % !

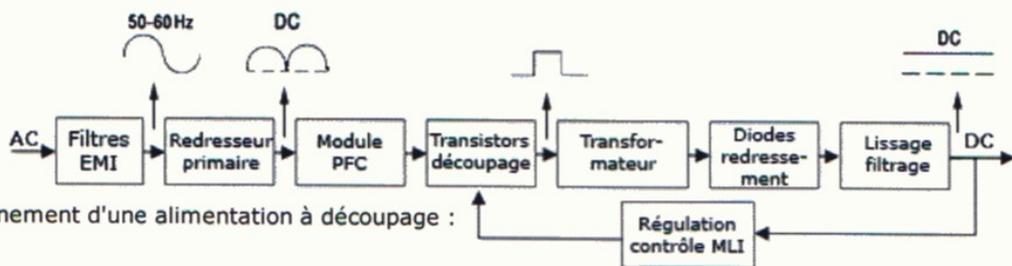
Le fait de découper à haute fréquence est important car plus on découpe vite, plus on peut réagir vite face aux sollicitations extérieures, plus on manipule de petites quantités d'énergie et plus on peut réduire la taille des composants. Pour un transformateur, sa taille est inversement proportionnelle à sa fréquence d'utilisation. C'est pour cela qu'on trouve des monstres (transformateurs toriques très lourds) dans les amplificateurs audio pour éviter le découpage car ça implique de filtrer les nombreux parasites générés (ça coûte cher) et les audiophiles n'aiment pas vraiment les parasites. On peut aussi réduire la valeur des condensateurs et l'encombrement des autres éléments car on travaille sur de toutes petites quantités en un temps donné. A 50 kHz, un tout petit transformateur suffit à fournir une grosse puissance sans problème. Les alimentations à découpage permettent alors d'avoir des puissances volumiques en W/cm<sup>3</sup> (rapport puissance/encombrement) très élevées car les éléments ne prennent pas trop de place et on peut sortir des grosses puissances.

A priori, le découpage apparaît donc comme une solution idéale, mais il a des inconvénients notables au niveau de la compatibilité électromagnétique notamment. Outre le fait que ce soit bien plus complexe et plus cher à faire qu'une alimentation linéaire, le découpage engendre un tas de parasites et une ondulation qu'il est impératif de filtrer en sortie (normes sévères là dessus). Découper très vite génère des pics et des variations ultra rapides de la tension et du courant, et qui dit variations rapides dit interférences et rayonnements électromagnétiques. Ces parasites prennent la forme d'interférences électromagnétiques (EMI) rayonnées ou réinjectées par conduction dans les fils vers le réseau. Il faut absolument les contenir et les atténuer pour éviter de polluer l'environnement électrique proche.

Pour le premier type, le châssis en acier agit comme un blindage pour atténuer les émissions radiofréquences qui peuvent perturber la réception de la TV ou de la radio par exemple. Le deuxième type est plus compliqué à gérer car il faut mettre en place des filtres en ligne pour les absorber. Ces filtres sont évidemment présents dans les bonnes alimentations et souvent de manière incomplète dans les alimentations bas de gamme pour réduire les coûts. Ils protègent aussi bien l'alimentation du bruit électrique qui circule sur le réseau, que le réseau des parasites hautes fréquences générés par le découpage, ça marche dans les 2 sens.

# 4. Fonctionnement

## Aspect global

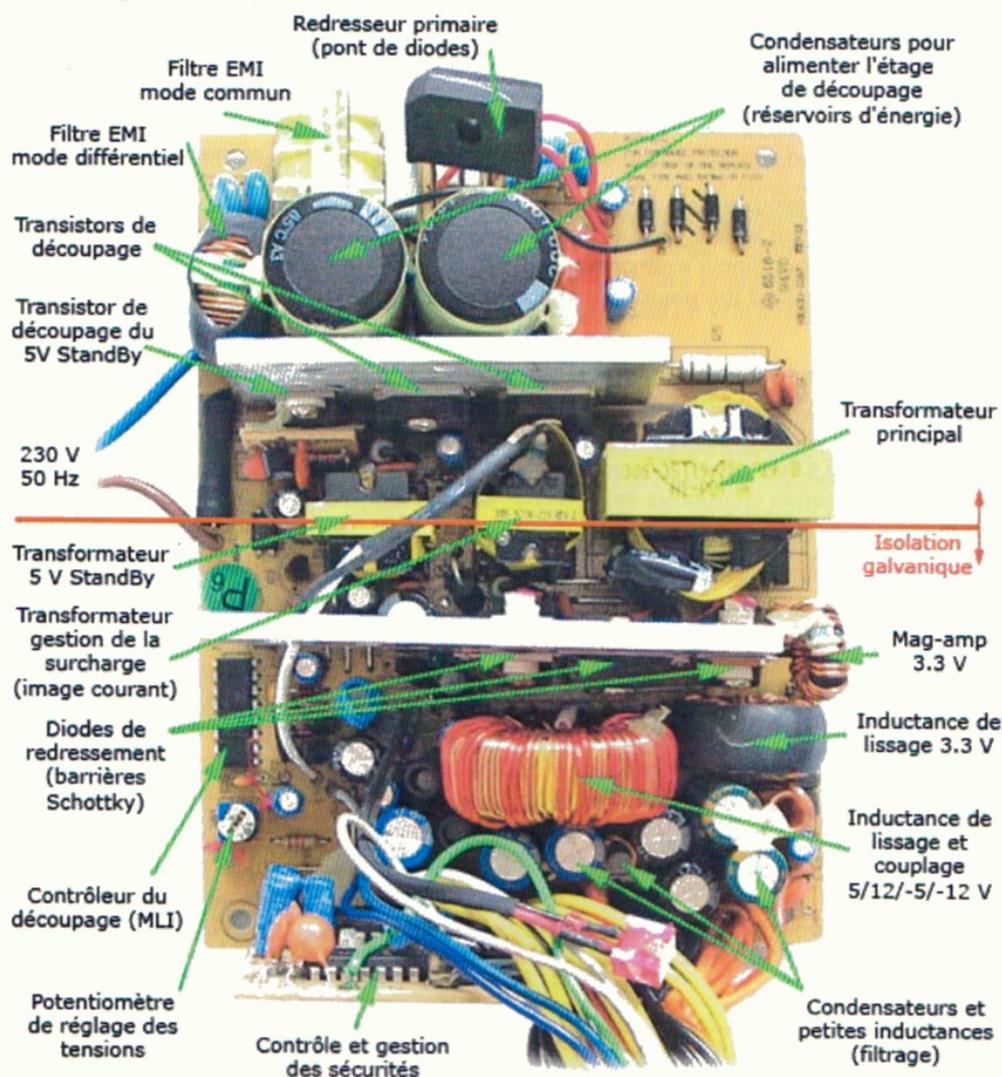


principe du fonctionnement d'une alimentation à découpage :

La tension de secteur est d'abord filtrée, redressée puis lissée pour obtenir une tension continue entre 325 et 400 V (suivant s'il y a un PFC actif ou non). On la découpe à l'aide d'un ou plusieurs transistors selon la topologie électrique adoptée et l'on injecte les impulsions dans l'enroulement primaire du transformateur. Le transfert énergétique s'effectue alors au rythme du découpage vers les différents enroulements au secondaire pour avoir une tension plus basse en sortie. En général, il n'y a que 2 enroulements différents au secondaire, un pour le 12 V et un pour le 5 V. Le 3.3 V sera créé à partir du 5 V. La forme en créneau qui sort du secondaire est alors redressée par des diodes, puis filtrée pour donner une tension continue la plus propre possible.

On régule la tension de sortie en fonction de la charge en modulant la largeur des impulsions créées par les transistors (ils restent passants plus ou moins longtemps). C'est un circuit intégré qui s'occupe de cet asservissement dont on détaillera les différents modes plus loin dans le dossier. Ce système fait varier la largeur des impulsions en agissant sur le temps de conduction des transistors (rapport cyclique), tout en gardant une fréquence de découpage constante : c'est de la Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI). Plus les transistors resteront passants longtemps, plus l'impulsion sera large, plus on enverra d'énergie dans le transformateur, et finalement plus la/les tension(s) en sortie augmentera(ont). Cette régulation est impérative car lors d'une demande de puissance sur une ligne, il se produit une chute de tension inévitable qu'il faut compenser sans cesse en relevant-abaisant le niveau de tension à la volée suivant la charge.

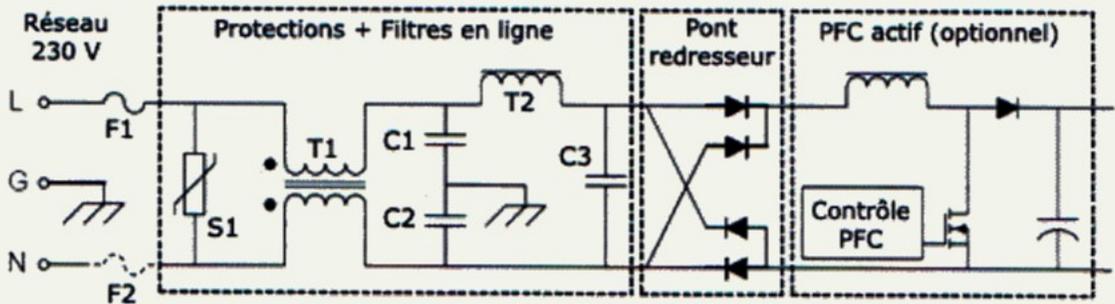
Ci-dessous, figure un exemple concret et détaillé d'une LC Power 550 W dépouillée pour l'occasion. La majorité des alimentations à régulation couplée seront semblables à celle-ci :



Une des choses importantes est le fait que la partie réseau en 230 V et la partie très basse tension pour la machine sont isolées l'une de l'autre. Il y a des règles strictes (IEC60950) en matière d'espacement sur le PCB, de distance entre les composants, d'isolation, etc. On réalise la séparation, dite galvanique, grâce aux transformateurs et à des liaisons optiques (optocoupleurs) pour piloter les transistors de découpage de l'autre côté. On peut aussi passer parfois par un petit transformateur supplémentaire pour envoyer et isoler les signaux de commande entre les 2 parties. Il n'y a donc pas de danger d'avoir du 230 V qui vienne se balader dans la configuration par ce chemin là (on suppose la mise à la terre opérationnelle). Dans le cas contraire, ça serait la mort instantanée de toute la machine bien évidemment.

# 5. Approfondissements des composants

Détaillons un peu le fonctionnement avec les composants principaux qui ont été annotés sur l'image précédente. On commence avec l'arrivée du 230 V dans l'alimentation :



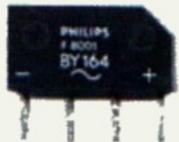
Le premier élément de sécurité indispensable est un fusible F1 qui protégera le réseau d'une défaillance de l'alimentation, et pas l'inverse ! Il sautera au cas où un court-circuit venait à se produire au découpage notamment. Dans ce cas, le courant appelé devient extrêmement élevé et le fusible fond pour ne pas surcharger le réseau.

On continue dans la sécurité avec un varistor, noté S1, qui protège l'alimentation des surtensions brutales qu'il peut y avoir si jamais la foudre venait à s'abattre pas loin. En temps normal, cet élément a une très grande résistance électrique, le courant de fuite qui le traverse est donc négligeable et rien ne se passe. Par contre, lorsque la tension augmente brutalement au delà d'un certain seuil, sa résistance chute d'un seul coup et il court-circuite alors directement l'entrée. Comme il est capable d'absorber une très grosse énergie durant la fraction de seconde que dure le phénomène, il évite que la haute tension n'endommage ce qui se trouve derrière lui. Ca ne remplace pas un vrai système parasurtenseur, mais c'est une sécurité supplémentaire qui peut s'avérer bien utile.

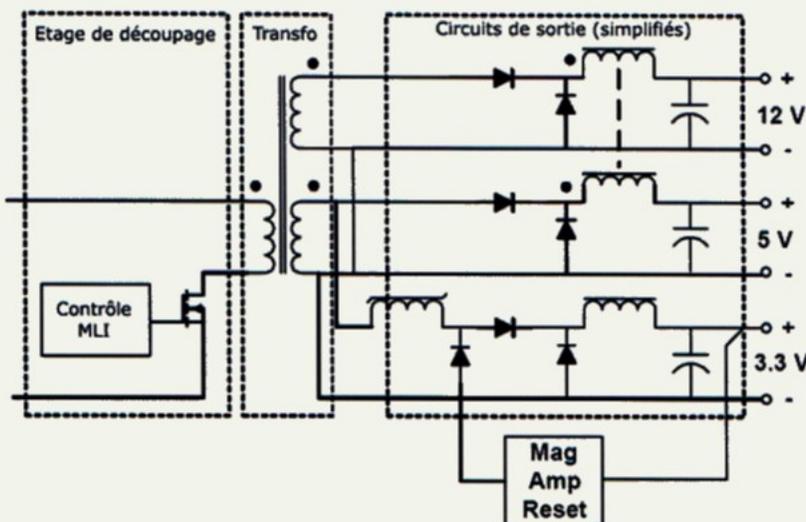


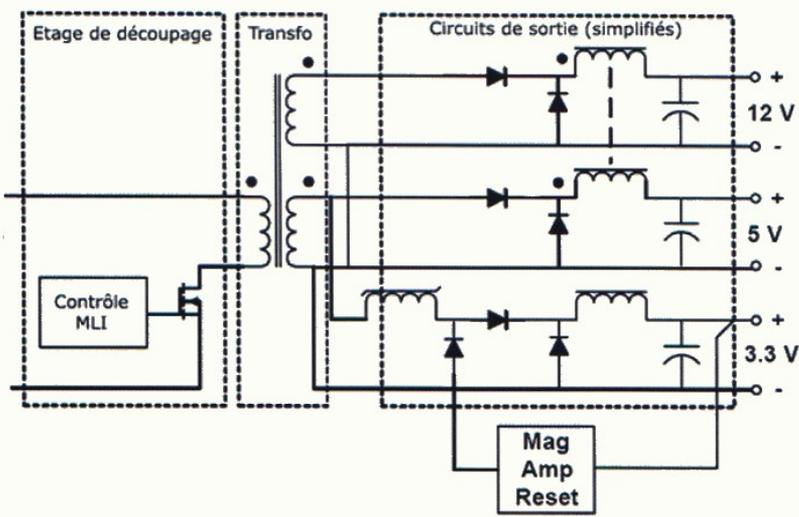
On trouve juste derrière lui plusieurs filtres pour empêcher les parasites hautes fréquences générés par l'étage de découpage (ou d'un PFC actif) de remonter vers le réseau pour le polluer. Sur le schéma, on a 2 filtres T1 et T2 avec les condensateurs associés C1, C2 et C3, mais il peut y en avoir 3 pour encore plus d'efficacité. La filtre T1 s'occupe des interférences dites en mode commun et T2 s'occupe de celles en mode différentiel. On ne s'étalera pas sur les différences qui sont liées au sens de parcours du courant dans certains fils et aux interactions interlignes. Le but est de bloquer les hautes fréquences grâce à des condensateurs et des ferrites d'antiparasitage qui font office de barrière. Ils produisent très peu de pertes pour le rendement final.

On peut ensuite redresser la tension alternative sinusoïdale avec un pont de diodes tout simple pour la rendre continue en mettant toutes les alternances du même côté. Son fonctionnement est amélioré quand il y a un PFC actif car le courant est bien sinusoïdal et évolue en douceur. Quand il n'y a pas de PFC, le courant arrive en pics et les diodes doivent encaisser cette brutalité. Ça dissipe quelques watts à pleine charge à cause de la chute de tension inévitable des diodes (~0.7 V). En sortie, on obtient du 325 V continu non lissé (230 V RMS = 325 V crête) pour alimenter le module PFC s'il y en a un, sinon directement l'étage de découpage en passant par un ou deux gros condensateurs suivant la manière choisie pour découper. Ces condensateurs serviront à lisser la tension et à stocker de l'énergie pour le découpage.



On passe sur les explications du PFC ainsi que sur la manière d'alimenter le transformateur, ça sera détaillé un peu plus tard. On s'occupe maintenant des circuits de sortie :

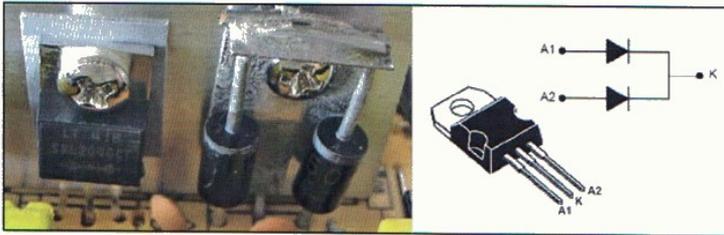




Les impulsions sortent des enroulements secondaires du transformateur pour aller à l'étage de redressement final. On utilise encore une fois des diodes pour faire ce travail (rappel : elles ne laissent passer le courant que dans un seul sens). Elles sont un peu différentes des diodes classiques car ce sont des diodes de puissance et très rapides, dites diodes Schottky. Ça signifie simplement que si la tension vient à s'inverser à ses bornes, ce qui est le cas avec les impulsions positives-négatives, elle se bloque beaucoup plus vite qu'une diode normale pour ne pas laisser passer le courant dans l'autre sens. C'est très important vu la vitesse de découpage.

En plus, elle engendre une chute de tension plus faible ( $\sim 0.3$  à  $0.5$  V) que les diodes normales ( $\sim 0.7$  V) et donc provoque moins de pertes inutiles lors du passage de forts courants. Pour des raisons de commodité, on les rassemble par 2 dans un même pack qu'on désigne par le terme "barrière Schottky". On en trouve plusieurs sur le radiateur près de la sortie pour les 3 tensions principales. On peut avoir 1 ou 2 barrières en parallèle par tension suivant leurs caractéristiques électriques et la puissance maximale du rail en question. Ces diodes sont l'une des sources majeures de perte de rendement dans l'alimentation, avec les transistors de découpage.

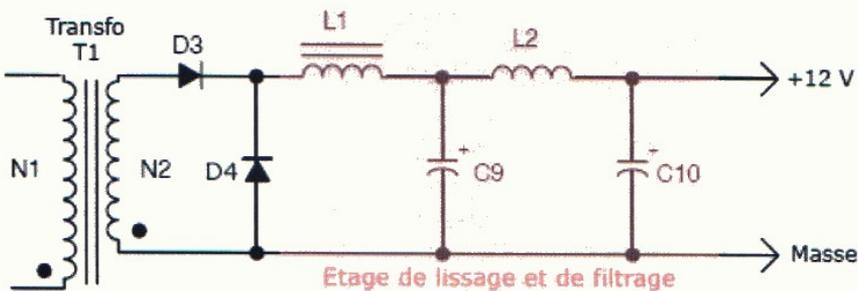
Voici à quoi ça ressemble avec le composant de gauche SBL2040CT et son schéma équivalent :



Le courant ne peut circuler que de A1 ou A2 vers K (dans le sens des flèches), l'autre sens est bloqué par les diodes. Nous avons mis exprès cette photo pour montrer un bidouillage trouvé dans l'alimentation qui a lâché dont nous parlons en introduction. Par souci d'économie, l'une des barrières Schottky en pack a été remplacée par 2 diodes normales. Ça ne vaut pas grand chose et ça brûlera bien vite car ça n'est pas fait pour supporter un gros courant longtemps (suivant les spécifications annoncées), surtout qu'elles ne sont pas directement fixées au radiateur pour être refroidies, hormis par leurs pattes. Fuyez ce genre de choses, c'est bon à démolir une configuration.

## 6. Approfondissements des composants (suite)

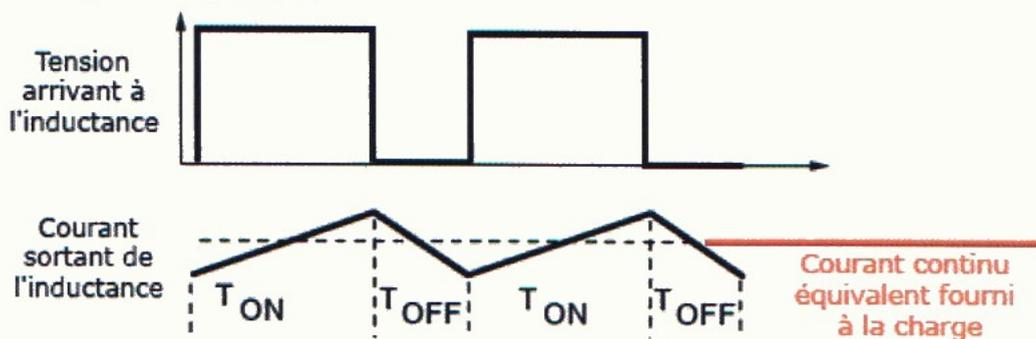
On arrive à la fin du processus avec un signal redressé, mais toujours en créneau. Il faut maintenant le lisser et le filtrer pour obtenir une tension et un courant propres et stables. Cet étage de filtrage est l'un des plus importants, sinon le plus important à ne surtout pas négliger. De lui dépend la qualité des signaux envoyés à tous les périphériques. Ci-dessous, figure un étage de filtrage fin, situé juste après une barrière Schottky D3/D4, qu'on retrouve sur chaque tension principale d'une alimentation. On n'en représente qu'une seule par commodité :



Le point remarquable qui permette le bon fonctionnement d'un système à découpage repose sur les propriétés des inductances (notée "inductance de lissage" sur la photo de l'alimentation par ex.). Le courant qui traverse une inductance, qui est un fil entouré autour d'un noyau ferromagnétique, ne peut en aucun cas s'interrompre ou changer brutalement. Quand le courant varie rapidement, l'inductance s'oppose à sa variation en tentant de maintenir un niveau constant grâce à l'énergie qu'elle a emmagasiné sous forme magnétique dans son noyau lors du passage du courant. S'il diminue ou s'interrompt, l'inductance maintient le courant de sortie aussi longtemps que possible, elle agit alors comme un générateur.



Cette propriété très pratique est utilisée pendant le temps où le courant délivré par le transformateur est nul (entre chaque impulsion). Il ne faut évidemment pas interrompre l'apport d'énergie aux périphériques, ne serait-ce qu'une fraction de seconde ! Cette tâche revient à une grosse inductance L1 qui donne un courant de cette allure sous le régime d'impulsions :



Le temps  $T_{on}$  est le temps de conduction des transistors. Pendant  $T_{on}$ , le courant arrive directement de l'étage de découpage au travers du transformateur pour alimenter la charge. Dans le même temps, l'inductance se charge en énergie magnétique au passage du courant qui grimpe doucement. Le temps  $T_{off}$  est le temps où l'étage de sortie est complètement coupé du monde (transistors de découpage bloqués). Durant cette période, c'est l'inductance qui s'occupera alors de fournir le courant le temps qu'une nouvelle impulsion arrive et ainsi de suite. D'un point de vue extérieur, le courant équivalent est la moyenne de ce signal en dent de scie. Si l'on regarde les tensions à l'oscilloscope, on peut retrouver cette forme triangulaire à la fréquence du découpage (ou du double suivant la topologie) car le lissage n'est pas parfait. Cette inductance L1 jouera aussi un rôle dans les alimentations à régulation couplée...

Le courant est continu et lissé, on s'attaque maintenant au filtrage de la tension à l'aide des condensateurs C9 et C10 qui forment un filtre passe-bas avec une petite inductance L2. Ce filtre a pour rôle de bloquer et d'atténuer les parasites hautes fréquences issues du découpage. Un condensateur c'est l'inverse d'une inductance si l'on veut, lui ne tolère pas que la tension à ses bornes varie brutalement. Il fera tout pour la maintenir à un niveau constant en délivrant l'énergie emmagasinée pour compenser. Malgré les variations possibles en sortie, le condensateur lissera donc les imperfections pour donner une tension aussi plate que possible.



Il doit y avoir une capacité suffisante (en Farad) pour assurer la continuité lors des demandes brutales de puissance sur la ligne, le temps que l'alimentation réagisse et n'ordonne au découpage d'envoyer plus d'énergie. Si on ne met pas assez de condensateurs, la stabilité de l'alimentation en pâtira sérieusement car à la moindre sollicitation, la tension s'effondra pendant une fraction de seconde faute d'énergie disponible et cela peut suffire à faire planter la machine. L'ondulation résiduelle (ripple) sera plus importante faute de condensateurs et la tension sera beaucoup moins propre. C'est ce que vous aurez sur des alimentations bas de gamme où l'on n'hésite pas à réduire, voire à supprimer, des condensateurs et des petites inductances afin de faire des économies. Il en résulte bien évidemment une tension de sortie complètement ignoble. Ils doivent aussi être du type "Low ESR" (ou mieux "Ultra Low ESR"), c'est à dire à faible résistance série pour éviter les pertes inutiles (un condensateur ça chauffe un peu).

Souvenez-vous des problèmes de condensateurs de mauvaise qualité qui laissaient échapper leur liquide électrolytique sur certaines cartes mères et notamment à l'étage d'alimentation du processeur où ils sont beaucoup sollicités. La capacité totale était largement diminuée et le plantage survenait quand le processeur passait à pleine charge car son  $V_{core}$ , qui doit être maintenu avec une tolérance très stricte, ne pouvait plus l'être et s'effondrait lors de l'appel du courant (vitesse de montée = plusieurs dizaines d'ampères par microseconde).

Voilà, on a finalement notre tension de sortie relativement propre pour alimenter ce que l'on veut. Le dernier point, et non des moindres, concerne l'aspect régulation pour maintenir les tensions à un niveau stable quelles que soient les charges sur les lignes. Ca sera l'objet d'une partie comparative entre les régulations classiques dites "couplées" ou "croisées" et les régulations indépendantes beaucoup plus performantes. Cette régulation se fera en agissant sur le temps de conduction des transistors de découpage. Plus on demandera de puissance en sortie, plus ils enverront d'énergie dans le transformateur, et inversement.

On n'oublie pas de parler du 5VSB (StandBy) qui possède son propre étage de découpage, son mini transformateur et son circuit de sortie dédié, tout en parallèle du reste. La puissance disponible est très faible et il reste tout le temps actif même lorsqu'on éteint la machine sans retirer la prise. Il permet d'assurer des fonctions de réveil en réseau, de démarrage au clavier, etc. On ne parle pas du -5 V qui est désormais obsolète depuis Janvier 2002. Il reste le -12 V qui peut être créé à partir de l'enroulement du 12 V en mettant 2 petites diodes à l'envers par exemple, ça suffit amplement vu le peu de puissance nécessaire.

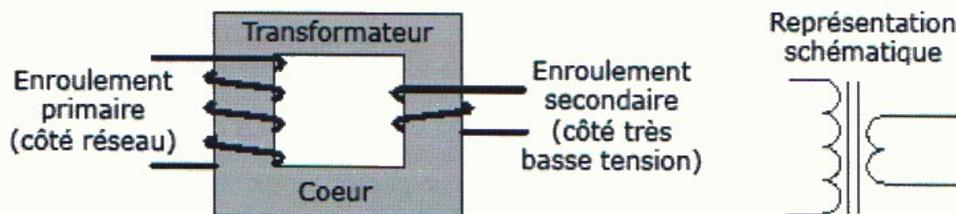
# 7. Topologies de fonctionnement

## A quoi ça sert ?

La topologie c'est la manière de fournir l'énergie aux circuits de sortie par l'intermédiaire du transformateur. Il existe d'innombrables possibilités pour réaliser ce transfert énergétique avec toutes les variantes possibles et imaginables. Chacune a ses avantages, ses inconvénients, ses limitations, sa complexité, son coût, son domaine de prédilection, etc.

Les 2 plus employées pour nous sont celles en "forward" (conduction directe) et en "half-bridge" (demi-pont). La première est destinée à des puissances de quelques centaines de watts en général et la deuxième permet d'aller à 1500-2000 W environ. Au delà, il existe des variantes plus robustes avec du "full bridge" (pont intégral) à 4 transistors, mais on n'en parlera pas.

Elles ont toutes pour but de nourrir le transformateur, qui abaissera la tension qu'on lui injecte, d'une certaine manière suivant ce que l'on souhaite obtenir en sortie :



Le choix de la topologie influence surtout le dimensionnement des composants et la manière d'utiliser les pièces magnétiques. C'est en constante évolution pour améliorer le rendement du convertisseur DC-DC. Par exemple, on peut citer les topologies les plus avancées, dites résonantes, qui sont encore plus efficaces, mais nettement plus complexes.

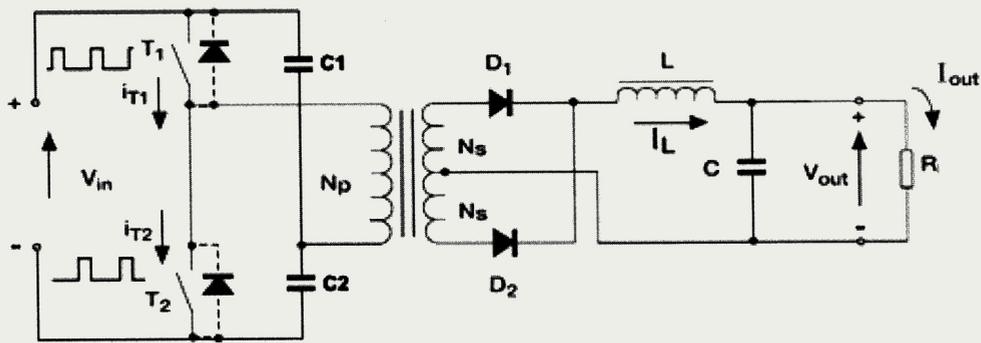
On peut faire une petite parenthèse sur cette topologie très intéressante qui sera peut être utilisée un jour prochain dans nos alimentations... On a vu qu'un transistor provoque des pertes lorsqu'il commute (passant->bloqué ou bloqué->passant), or plus on veut découper rapidement pour diminuer la taille des composants, plus les pertes par commutation du transistor augmentent car elles sont liées à la fréquence. Les pertes des autres composants diminueront grâce au découpage plus rapide, mais le rendement global diminuera quand même à cause des transistors. On est donc contraints de devoir découper à une fréquence raisonnable pour garder le meilleur compromis possible. On pourrait faire bien mieux si ces pertes n'existaient pas et c'est là que les topologies résonantes interviennent. A chaque commutation, on va faire en sorte d'annuler la tension ou le courant vu par le transistor pour ne pas avoir la présence simultanée des 2 grandeurs : il commute alors sans pertes (ou très peu) ! Plus grand chose ne s'oppose alors à la montée en fréquence, à la diminution de l'encombrement, à l'augmentation du rendement, etc. Fin de la parenthèse.

L'optimisation d'une alimentation à découpage est une tâche ardue car le fait de toucher à une variable induit des changements sur les autres puisque la majorité d'entre elles sont intimement liées. Il est certain que bon nombre de marques d'alimentations n'y connaissent pas grand chose dans ce domaine vu les compétences requises. Elles ne font vraisemblablement que demander à un fabricant chinois telle ou telle caractéristique pour tel prix d'achat sans trop se soucier du reste, à part coller une étiquette à leur nom.

Pour les schémas suivants, on ne tiendra pas compte des conventions générateur-récepteur afin de ne pas embrouiller la compréhension des parcours, ce n'est pas dramatique...

## 8. Topologie en demi-pont

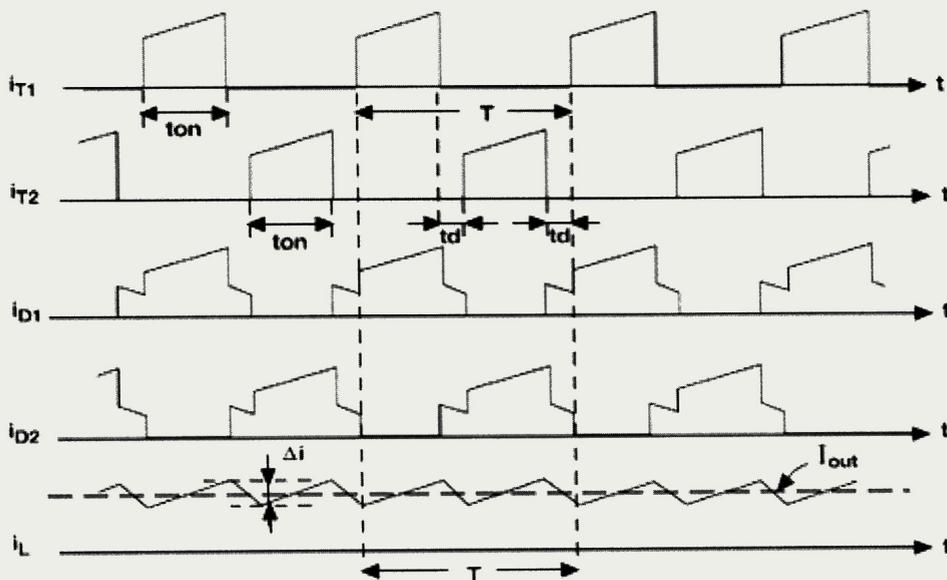
On peut citer certaines alimentations Tagan, LC Power, Thermaltake, Fortron (non exhaustif) qui utilisent cette topologie pour alimenter le transformateur. C'est de loin la plus classique car l'une des plus anciennes. Voici son schéma électrique, avec une seule tension représentée et un étage de filtrage en sortie simplifié :



$V_{in}$  est la tension délivrée par le PFC ou le pont de diodes s'il n'y a pas de PFC.  $V_{out}$  est la tension de sortie et  $R$  représente la charge imposée à cette ligne, par exemple un processeur qui demande un courant égal à  $I_{out}$ .

Elle utilise 2 transistors  $T1$  et  $T2$  (technologie bipolaire ou MOSFET) qui fonctionnent en alternance (une fois l'un, une fois l'autre). Ceux-ci connectent respectivement les condensateurs réservoirs  $C1$  et  $C2$  en alternance sur l'enroulement primaire du transformateur. Ces 2 condensateurs sont les 2 grosses capacités (200 V et 600-1000  $\mu F$ ) que l'on trouve près du premier radiateur et de l'étage de découpage. Plus l'alimentation est puissante, plus ils doivent être gros afin d'emmagasiner et délivrer une énergie suffisante pour un certain nombre de cycles de découpage. Ils sont sans cesse en train de se remplir et de se vider en partie.

Le fonctionnement général s'opère en 4 phases, dont 2 sont identiques quand les 2 transistors sont bloqués en même temps. On commence par donner les évolutions temporelles des courants afin d'avoir les notations associées pour la suite de la description :



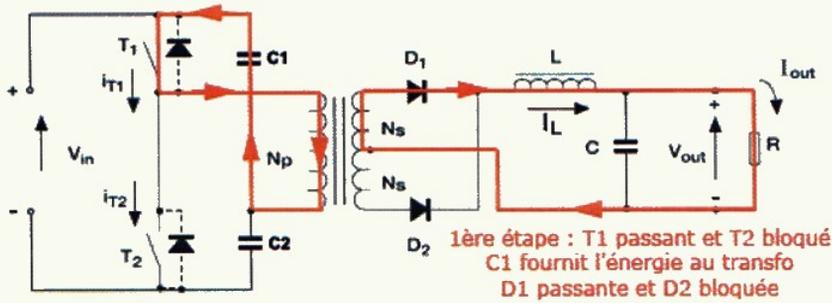
On retrouve l'alternance sur les transistors avec les courants  $i_{T1}$  et  $i_{T2}$  qui traversent respectivement  $T1$  et  $T2$ . On note qu'il y a un petit temps mort, noté  $T_d$ , entre chaque commutation pour éviter le chevauchement des états.

Vu la symétrie du montage et l'alternance du découpage, la tension qui sortira du secondaire sera alternative et en forme de créneau. On travaille seulement avec une tension au primaire qui vaut  $V_{in}/2$  (de l'ordre de 160-180 V) puisque les 2 condensateurs sont montés en série, le tout en parallèle sur l'entrée  $V_{in}$ . Il est normalement plus efficace d'attaquer le primaire avec  $V_{in}$  au lieu de  $V_{in}/2$ , on peut ainsi faire transiter plus de puissance avec moins de courant, donc moins de pertes (ce que fera la topologie suivante).

La fréquence de découpage d'un transistor a été mesurée sur une Tagan U01 à 32 kHz, donc comme on travaille sur 2 transistors décalés, le transformateur travaille à 64 kHz (64000 impulsions par seconde). Le transfert d'énergie sera direct, le transformateur fonctionne en transformateur et non pas en inductances couplées où l'on stocke l'énergie sous forme magnétique pour la restituer quand le primaire n'est plus alimenté. En direct, cela veut dire que lorsqu'une impulsion arrive au primaire, elle est directement générée sur le secondaire pour alimenter la charge, sa tension étant proportionnelle au rapport du nombre de spires  $N_s/N_p$ .

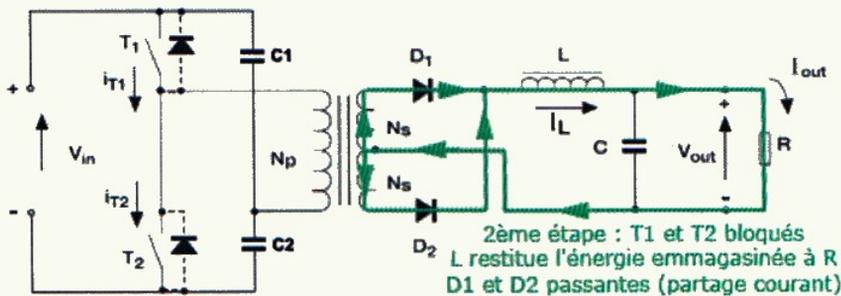
## 9. Topologie en demi-pont (suite)

On commence avec la première étape et l'on suppose que les condensateurs sont déjà chargés au maximum. On ne s'occupe pas de leur rechargement car ça complique tout :



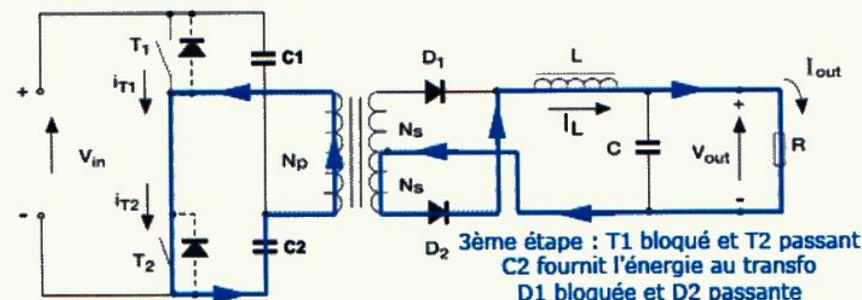
Le condensateur C1 est d'abord connecté au primaire, il libère alors une petite quantité d'énergie durant le temps où T1 reste passant. Cette énergie est transmise instantanément au secondaire par le flux magnétique qui se développe dans le transformateur et part directement vers la charge en passant par D1, puis L et le filtre de sortie. L'inductance L se charge en même temps d'une certaine quantité d'énergie magnétique et de même pour le condensateur qui se charge si besoin est. Il reste à boucler pour revenir par la masse vers le point milieu du secondaire. Cette étape n'aura duré que quelques microsecondes.

Suivant le graphe temporel du dessus, l'étape 2 est celle où T1 vient juste de se bloquer (T2 est aussi bloqué), on laisse alors passer un petit temps mort  $T_d$  avant de déclencher T2 :



Durant ce laps de temps  $T_d$ , la sortie est complètement isolée du réseau. C'est l'inductance L qui va être seule pour alimenter la charge en courant avec le peu d'énergie qu'elle a emmagasinée, en attendant qu'une impulsion revienne pour la recharger. Le condensateur en sortie s'occupe aussi de fournir de l'énergie à la charge en maintenant la tension à son niveau. Comme l'enroulement secondaire est isolé et non polarisé par le primaire, la diode D2 n'a plus de tension inverse à ses bornes, elle peut donc devenir passante. Le courant continue alors à boucler et se divise en 2 pour passer dans les 2 diodes en même temps. On voit le décrochage résultant sur le graphe temporel avec un  $I_d/2$  pour les 2 diodes durant le temps  $T_d$ . Ce courant diminue doucement car l'inductance n'a pas beaucoup d'énergie à fournir.

C'est maintenant au tour de T2 de rentrer en action en devenant passant, c'est l'étape 3 :



Cette fois, c'est C2 qui s'occupe de fournir l'énergie nécessaire à la charge en passant par D2, L et le filtre de sortie, puisque l'enroulement primaire a été emprunté dans le sens inverse. On recharge L et C en même temps qu'on alimente directement la charge. Cette façon d'alimenter le transformateur, une fois dans un sens et une fois dans l'autre, permet de se passer d'une étape obligatoire de démagnétisation du transformateur car, comme une inductance, il emmagasine une certaine énergie magnétique en son sein. Si elle n'est pas libérée, elle va s'accumuler jusqu'au phénomène de saturation qui entraîne très vite la destruction des transistors à cause du pic de courant qui se forme (le transformateur n'assure plus sa fonction).

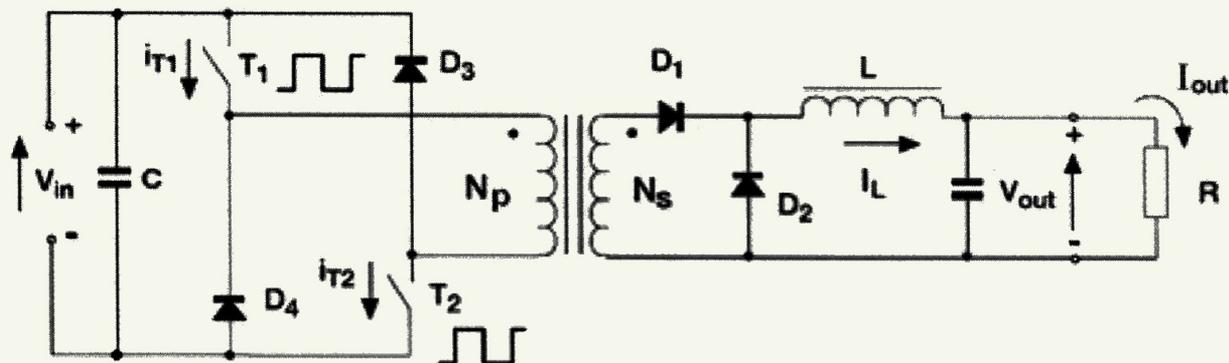
Le cycle est presque terminé et il reste l'étape 4 à accomplir. Une fois que T2 se bloque, on se retrouve en fait exactement comme à l'étape 2 avec un nouveau temps mort  $T_d$  qu'il faut combler grâce à L en attendant de retourner à l'étape 1 et ainsi de suite.

Au final, il y a peu d'interruption dans le cycle des impulsions du fait de la répartition entre les 2 transistors. On dit que c'est un convertisseur DC-DC symétrique et l'on peut alors utiliser un transformateur plus petit car on double la fréquence des impulsions sans trop forcer sur les transistors, contrairement à la topologie suivante. De plus, comme on ne perd pas de temps à devoir démagnétiser le transformateur, grâce aux 2 sens de parcours dans le primaire, on peut concevoir des alimentations de forte puissance avec seulement 2 transistors qui se partagent le travail.

La seule vraie limitation à respecter impérativement est de ne jamais avoir plus de 50 % de rapport cyclique ( $T_{on}/T > 0.5$ ) sur les transistors. Ça signifierait que T1 et T2 sont passants en même temps ( $T_d$  n'existe plus et serait même négatif si cela avait un sens), ce qui n'est ni plus ni moins qu'un court-circuit direct sur la tension d'entrée et c'est alors la mort instantanée des transistors en général.

## 10. Topologie en conduction directe

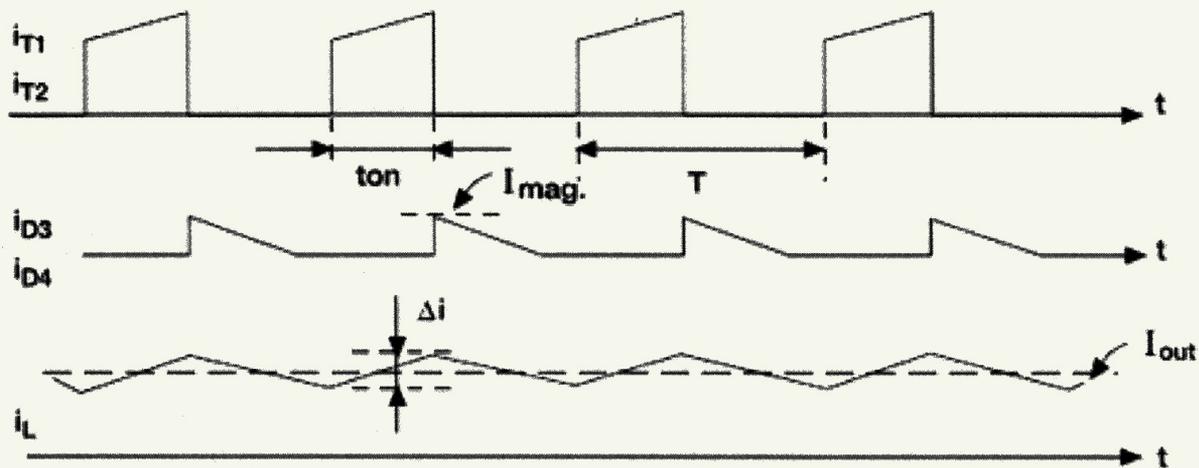
On peut citer les Seasonic S12 500-600 W ou l'Antec Phantom (non exhaustif) qui utilisent cette topologie à conduction directe, et même à conduction directe à 2 transistors (une version mono transistor existe). Il n'y a plus qu'un seul gros condensateur 400 V pour assurer le transfert énergétique. Voici son schéma électrique avec une seule tension représentée et un étage de filtrage simplifié :



Ici aussi on utilise 2 transistors de puissance, mais cette fois les 2 s'ouvrent et se ferment en même temps, il n'y a plus d'alternance. L'enroulement primaire du transformateur n'est plus alimenté que dans un seul sens également (du haut vers le bas ici) et il est alors nécessaire de prévoir une étape de démagnétisation entre chaque impulsion.

Pour imposer le sens de parcours lors de la libération de cette énergie résiduelle, quand les transistors sont bloqués, on utilise les 2 diodes  $D_3$  et  $D_4$ . On ne gaspille évidemment pas cette énergie puisqu'on la renvoie dans le condensateur  $C$  (400 V et 200-500  $\mu$ F) qui se trouve en parallèle de la tension d'entrée  $V_{in}$ . On la réutilisera pour les cycles suivants car c'est le condensateur qui sert de réservoir énergétique pour nourrir le transformateur.

Le fonctionnement général s'opère en 2 phases principales cette fois. On commence par donner les évolutions temporelles des courants pour avoir les notations associées pour la description des étapes juste après :

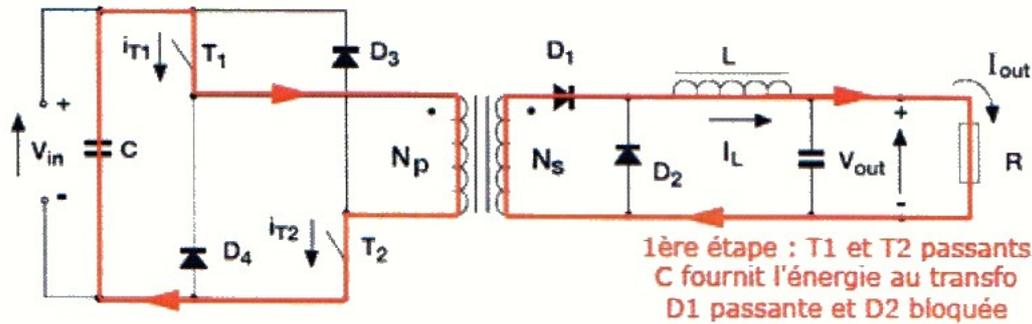


On retrouve le fait que  $T_1$  et  $T_2$  se ferment simultanément avec les courants synchrones  $i_{T1}$  et  $i_{T2}$ . Les diodes  $D_3$  et  $D_4$  voient passer un courant  $I_{mag}$  descendant au blocage des transistors. Ce courant  $I_{mag}$  résulte de la démagnétisation qui libère l'énergie contenue dans le cœur du transformateur. Il faut impérativement attendre que ce courant redevienne nul avant de recommencer à envoyer une impulsion sous peine de saturation. On laisse un petit temps mort supplémentaire quand il est à zéro pour vraiment être sûr du résultat.

Le primaire est maintenant soumis à une tension plus élevée, de l'ordre de 350-380 V, puisque le condensateur réservoir est directement rattaché à  $V_{in}$ . Ici aussi, l'énergie est transférée directement lors de l'impulsion, le transformateur fonctionne en transformateur, et non pas en inductances couplées comme une topologie flyback par exemple, d'où le terme "conduction directe". L'utilisation du transformateur est néanmoins moins bonne qu'avec un demi-pont car on l'utilise toujours dans le même sens (dans le même quadrant magnétique). La tension qui sortira du secondaire sera aussi sous forme de créneaux.

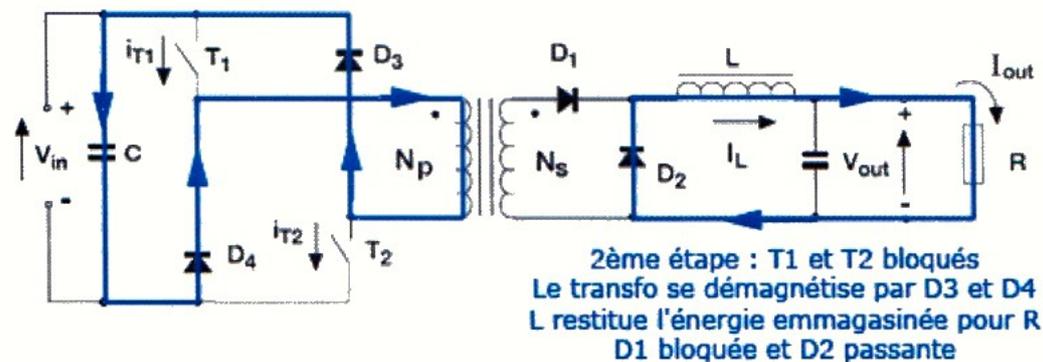
# 11. Topologie en conduction directe (suite)

On commence avec la première étape et l'on suppose que le condensateur est déjà chargé au maximum. On ne s'occupe pas de son rechargement non plus, ça n'a pas d'intérêt :



Le condensateur C est connecté sur le primaire pendant le temps où T1 et T2 sont passants. On génère donc une impulsion au primaire, qui se retrouve sur le secondaire. Vu le sens de parcours dans le transformateur, la diode D1 est passante et D2 est bloquée à cause de la tension inverse à ses bornes. L'énergie de cette impulsion va alors directement vers la charge en passant par D1, puis L et le filtre. L'inductance L se charge en même temps d'une certaine quantité d'énergie sous forme magnétique et de même pour le condensateur qui se charge si besoin est. Il ne reste qu'à boucler pour revenir par la masse vers le secondaire.

On arrive juste à l'instant où T1 et T2 se bloquent, c'est l'étape 2. Dans cette étape, il y a en fait 2 sous-étapes qui se font simultanément de chaque côté du transformateur :



Du côté réseau à gauche, il est temps de démagnétiser le transformateur et c'est D3 et D4 qui donnent le sens de marche pour envoyer le courant résiduel vers le condensateur C. A droite, les circuits de sortie sont alors entièrement coupés du monde. C'est encore à l'inductance L d'assurer le transfert énergétique en redistribuant l'énergie qu'elle a emmagasiné au cycle précédent et au condensateur en maintenant la tension. La diode D1 se bloque alors et la diode D2, appelée "diode de roue libre", devient passante. Cette diode D2 n'est là que pour imposer le sens et refermer la boucle pour que l'énergie emmagasinée par L assure la continuité du transfert énergétique vers la charge, le temps qu'une nouvelle impulsion soit générée. L'étape de démagnétisation se termine un peu avant la sous-étape de droite pour être certain d'avoir démagnétisé intégralement. Il suffit alors de renvoyer une impulsion et le cycle se poursuit à l'étape 1 et ainsi de suite.

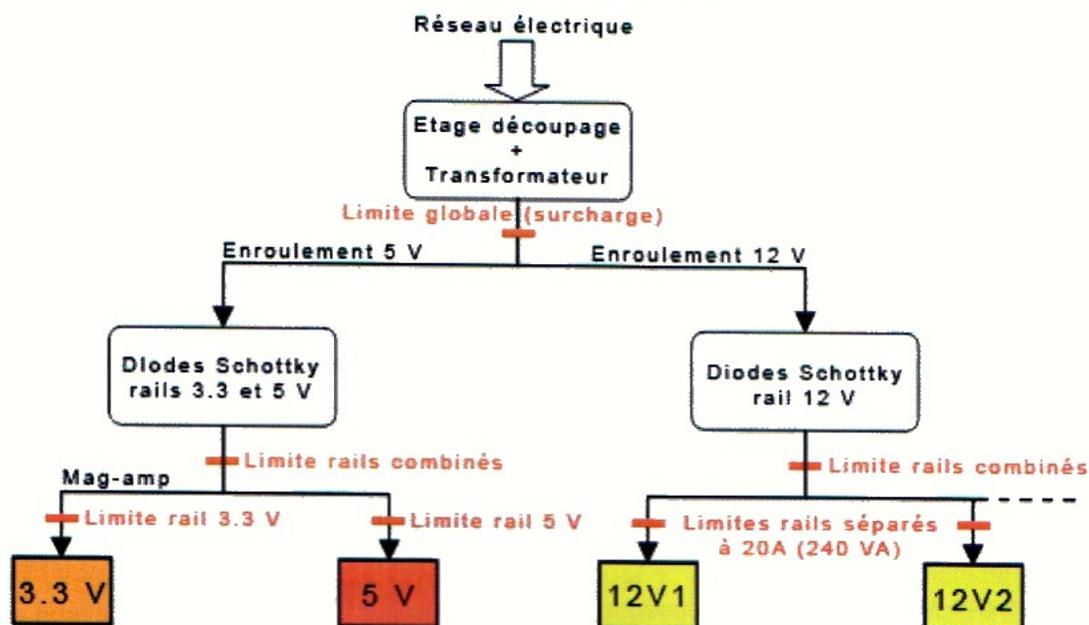
Ce choix a une limitation contraignante au niveau du temps de conduction  $T_{on}$  des transistors. Ils ne peuvent pas rester passants plus de 50 % du temps sur une période T (en fait un peu moins pour avoir une marge de sécurité) car il faut laisser le temps au transformateur de libérer son énergie résiduelle sinon c'est la saturation assurée. Il faut quasiment autant de temps pour le charger que pour le décharger intégralement. Cela limite la quantité d'énergie que les transistors peuvent délivrer en une impulsion car il y a beaucoup de temps mort par rapport au demi-pont. Tout cela limite la puissance que l'alimentation peut délivrer.

Pour être efficace, Seasonic découpe à haute fréquence (100 kHz au lieu des 64 kHz obtenus classiquement avec le demi-pont). On envoie moins d'énergie à chaque impulsion, mais on envoie beaucoup plus par unité de temps. Seasonic affirme que cette topologie est un peu plus efficace que celle en demi-pont, c'est vrai en général, mais il y a tellement de facteurs extérieurs qui interviennent qu'il est délicat de dire laquelle est réellement mieux suivant les conditions. La nature des composants utilisés, la fréquence de découpage, le temps d'utilisation des transistors, le choix du transformateur figurent parmi les variables à prendre en compte pour tenir de tels propos. Le gain en rendement sur le convertisseur DC-DC seul n'excède pas quelques % de toute façon, mais c'est toujours ça de gagné.

## 12. Point de vue global sur l'alimentation, modifs à éviter

### Point de vue global sur l'alimentation

De manière schématique, on représente finalement le cheminement de la puissance à travers l'alimentation avec les différentes sécurités associées pour prévenir de tout incident potentiel :



On retrouve l'explication des limites combinées car le 3.3 V est créé à partir du 5 V en modifiant sa valeur moyenne à la volée avant le filtrage. De même pour le 12 V, tous les rails ne sont issus que d'un seul enroulement dans le transformateur, on les sépare ensuite pour gérer les sécurités indépendamment.

A noter que toutes les alimentations ne disposent pas de toutes ces sécurités. Le bas de gamme en propose évidemment le minimum car il faut tout une circuiterie spécifique pour les gérer. Il y en a plusieurs avec les sous-tensions, les surtensions, les surintensités, les surchauffes, les courts-circuits, la marche à vide, etc. Plus on en a, mieux c'est, mais plus ça coûte cher...

### Modifications à éviter

Le dernier point qu'on puisse aborder par rapport aux topologies concerne les personnes qui modifient la position des transistors et des diodes pour les déporter sur un waterblock ou un radiateur externe à l'aide de longs fils. Ce n'est pas une bonne idée pour plusieurs raisons.

La première, c'est qu'en ajoutant des fils et des soudures, on modifie la résistance et la capacitance des liaisons, ce qui modifie le comportement électrique lors des commutations notamment. Il peut y avoir des surprises à court terme car ça peut induire des retards, des surtensions à cause de l'auto-induction et des phénomènes de résonance. Les transistors risquent de vieillir plus vite et de lâcher tout simplement (ce que certains ont déjà eu en faisant ce genre de manipulations). Les marges de sécurité sur le choix des composants sont parfois assez limitées sur certaines alimentations et les déporter ne fait qu'aggraver la situation. De plus, les courants qui passent dans les diodes sont élevés, ce qui va aussi provoquer des pertes dans les fils et ceux-ci risquent de chauffer plus que de raison si le diamètre n'est pas suffisamment grand. La régulation peut être gênée par l'agrandissement du circuit et la stabilité des tensions peut en subir les conséquences.

Les aspects rayonnement et compatibilité électromagnétique sont aussi à prendre en compte. Tous ces fils vont agir comme des antennes et augmenter le niveau des parasites radiofréquences à cause du découpage. Un PCB bien pensé tente de limiter au maximum ce genre de choses en adoptant certaines géométries particulières et en raccourcissant au maximum les liaisons. Le fait de mettre des fils réduit à néant tout ce qui a été pensé pour limiter ces phénomènes. Des interférences sur les contrôleurs sont toujours possibles au sein même de l'alimentation car certains possèdent des blindages quand le fabricant a le souci du détail.

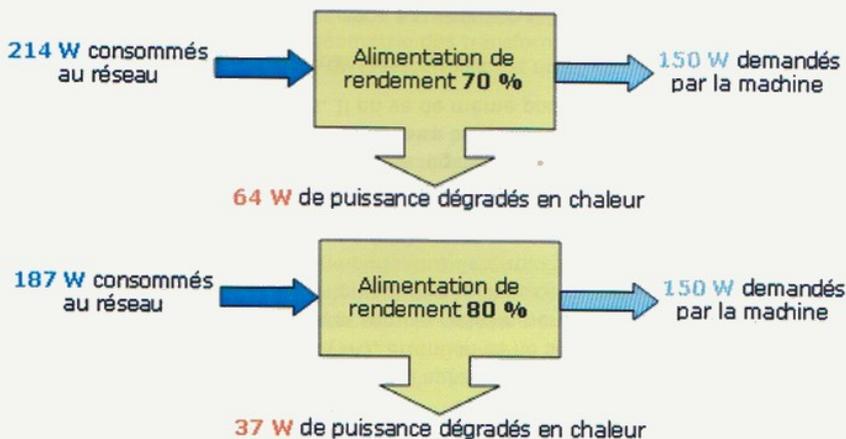
Le pire vient sûrement des personnes qui sortent carrément les éléments à l'extérieur car le blindage du châssis ne sert alors plus à rien et le danger d'avoir des tensions élevées pouvant entraîner la mort, et accessibles à n'importe qui, est bien réel ! Votre voisin peut très bien être pénalisé sur la réception de sa TV ou de sa radio, auquel cas il peut porter plainte s'il veut car ce genre de choses est réglementé. Vous êtes juridiquement responsable de votre bidouillage car vous n'avez pas le droit de perturber l'environnement de cette sorte sachant que le spectre fréquentiel couvert est large.

# 13. Rendement électrique

## Définition

Le rendement électrique d'une alimentation est défini par le rapport entre la puissance entrante (côté alternatif) et la puissance fournie à la machine (côté continu). Un rendement de 100 % signifierait que tout ce qu'on tire de la prise de courant est intégralement converti en puissance utile pour la machine. Malheureusement rien n'est parfait, les composants ne sont pas idéaux et ils ont tendance à chauffer sous le passage d'un courant car leur résistance électrique n'est jamais nulle. Tout engendre des pertes électriques ou magnétiques à des niveaux plus ou moins élevés. Parmi les plus conséquentes, il y a les pertes des transistors (découpage et PFC), des diodes Schottky, du transformateur, etc.

Une partie de ce qui est absorbé sur le réseau est donc dégradé directement en chaleur au sein de l'alimentation. Il faut éviter les alimentations à faible rendement pour 2 raisons principales. D'une part, il faudra bien évacuer cette chaleur inutile ce qui impose une bonne ventilation et donc potentiellement du bruit, et d'autre part, vous payez bien évidemment cette puissance perdue. Voici un exemple typique entre 2 alimentations de rendement différent :



On comprend aisément que plus la conversion AC/DC sera efficace, moins on pourra ventiler pour la maintenir au frais afin de travailler dans le silence. Vous serez probablement attiré par les alimentations pas trop chères ayant un rendement inférieur (qualité des composants et complexité de l'alimentation), mais sur le moyen terme vous serez peut être perdants. Vous aurez probablement consommé plus et donc payé plus par rapport à une alimentation plus efficace qui aurait coûté un peu plus cher à l'achat, mais dont l'amortissement financier aurait été meilleur sur une période de 1 an par exemple.

On peut difficilement faire des prévisions car tout dépend de l'utilisation du PC, s'il est allumé 24/24 ou seulement quelques heures par jour... Dans le premier cas, il vaut mieux opter pour une alimentation à haut rendement alors qu'on pourra se contenter d'une alimentation "normale" dans le deuxième si on a un budget limité. Néanmoins, si tout le monde utilisait des alimentations à haut rendement, les économies d'énergie à l'échelle globale serait très élevées !

Dans une alimentation bien conçue, les pertes sont réparties à peu près à 50/50 entre la partie avant le transformateur avec les transistors de découpage et la partie basse tension après le transformateur avec les diodes Schottky. Ces pertes évoluent suivant la puissance demandée en sortie. Les pertes par conduction des transistors sont directement dépendantes de la charge (plus de courant = plus de pertes), alors que leurs pertes de commutation sont indépendantes car elles existent toujours que l'on demande ou non de la puissance. De même pour les étages de sortie, les pertes sont très dépendantes de la charge.

Pourquoi le rendement baisse-t-il alors à faible charge ? Bien que les pertes diminuent fortement quand on réduit la charge, certaines ne varient pas beaucoup et représentent alors une bonne partie de la puissance totale. Par exemple, les pertes par commutation restent identiques qu'on soit à faible charge ou à pleine charge car la fréquence de découpage ne varie pas. Donc forcément si on diminue la charge, le pourcentage d'efficacité diminue car elles prennent plus d'importance malgré le fait qu'elles n'aient pas changées et que le reste a diminué. Néanmoins, il est aussi vrai que certains éléments sont effectivement moins efficaces quand ils tournent au "ralenti". Vu la charge variable qu'impose un PC, il est impossible de tout optimiser sur une si large plage de puissance sans sortir la grosse artillerie, il y a des compromis à faire.

La norme ATX 2.2 exige que le rendement minimum soit d'au moins 72 % pour une charge typique et de 70 % pour une pleine charge. Les recommandations demandent plutôt un rendement de 80 % pour une charge typique et de 75 % pour une pleine charge. Certains militent d'ailleurs pour que ce rendement soit encore plus élevé (>80 %) comme l'équipe de 80Plus.org (Ecos consulting) car on en est tout à fait capables. Néanmoins, ça demande plus de travail de recherche pour utiliser des designs électroniques un peu différents des montages actuels et de meilleurs composants (plus chers).



Il faut bien voir que même si un fabricant annonce un rendement de 85 %, celui-ci ne sera atteint qu'en demandant déjà une bonne puissance (cas de pleine charge). Pour une machine classique en Idle qui demande environ 70-100 W généralement, le rendement sera moindre (70-75 %). Il faut une certaine charge pour que l'alimentation atteigne son efficacité maximale.

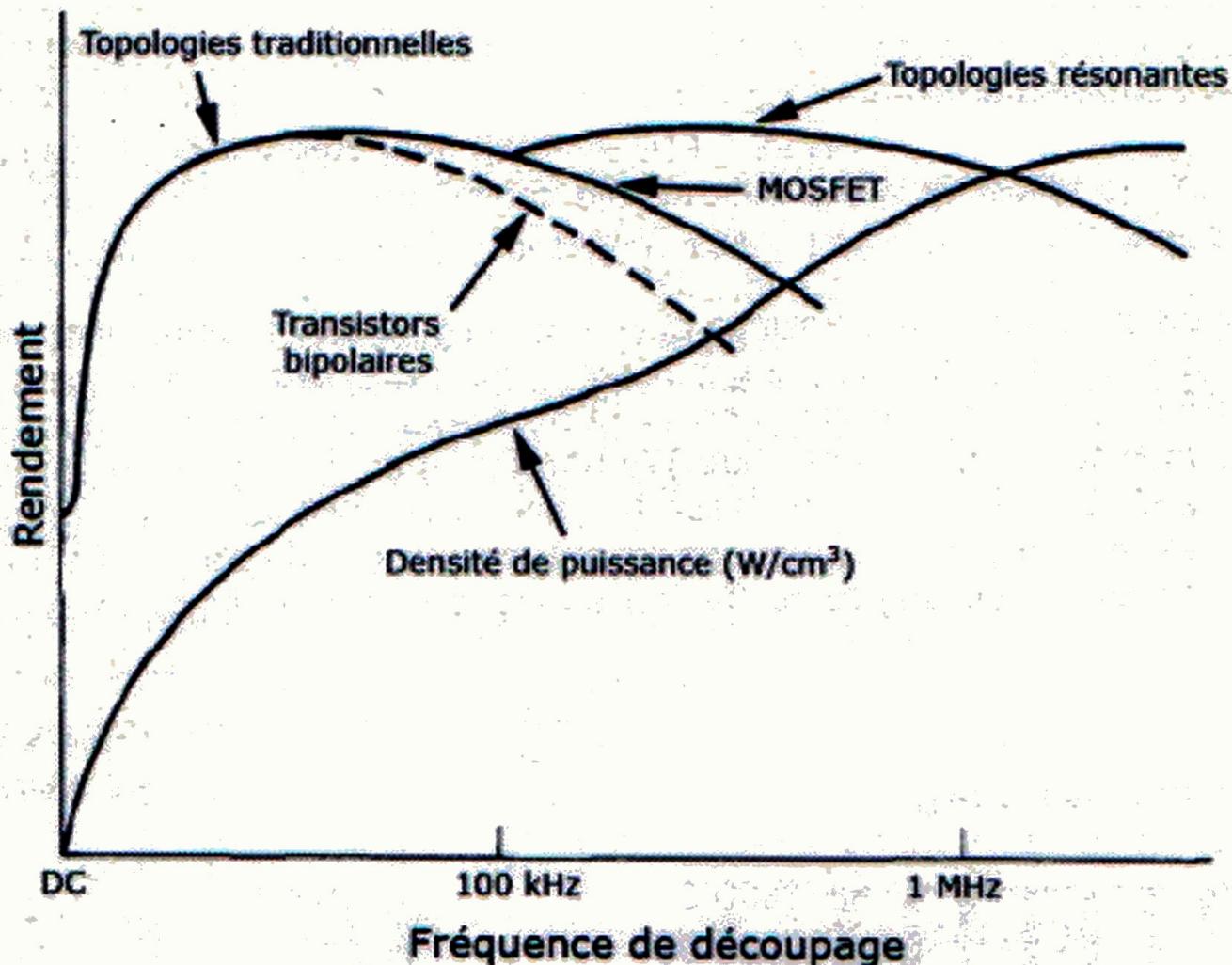
# 14. Rendement électrique : améliorations possibles

On peut évidemment choisir des composants ayant de meilleures caractéristiques telle qu'une plus faible résistance série pour les transistors (en vérifiant que la capacitance n'augmente pas trop), des diodes avec de très faibles tensions de seuil, des condensateurs spéciaux à très basse résistance équivalente, mais leur coût est évidemment proportionnel à leur qualité. La géométrie des transformateurs et des inducteurs peut aussi être optimisée pour limiter les pertes magnétiques diverses, mais c'est un domaine complexe et les prix s'envolent vite.

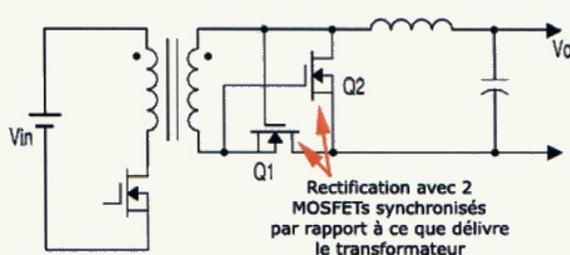
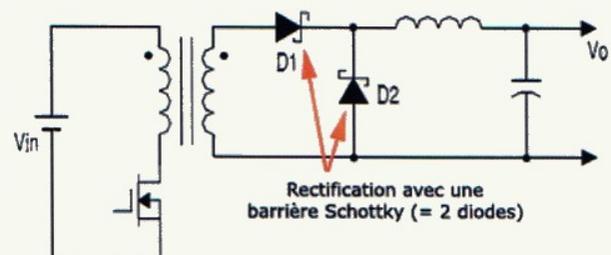
Un autre moyen est d'adapter les topologies existantes en remplaçant certains composants passifs par un système actif qui imitera leur comportement sans en avoir les inconvénients. Certaines topologies résonantes ciblent et s'attaquent à un problème bien particulier et sont de ce fait très efficaces. Malheureusement, si l'on veut optimiser chaque source de pertes, la complexité de l'alimentation croît exponentiellement :

Caractéristiques	Alimentations linéaires	Alimentations à découpage MLI	Alimentations à topologie résonante/quasi-résonante
Coût de fabrication	Faible	Moyen	Elevé
Complexité	Faible	Moyen	Elevé
Masse & Taille	Elevé	Moyen	Faible
Parasites électriques	Faible	Elevé	Moyen
Rendement	25-50 %	65-85 %	75-95 %

Ci-dessous, on peut représenter les différences d'efficacité entre les topologies classiques (soit à transistors bipolaires ou MOSFET plus récents) et les nouvelles topologies résonantes qui permettent d'aller plus loin dans la fréquence de découpage afin de réduire l'encombrement. En plus, en augmentant cette vitesse de découpage, on augmente l'aspect dynamique de l'alimentation à des sollicitations rapides sur les lignes, ce qui est bénéfique pour la stabilité :



A ce niveau, on peut citer l'une des autres avancées qui existent déjà dans certaines alimentations industrielles avec une technique appelée "redressement synchrone". Le but de cette manipulation est de remplacer toutes les diodes Schottky juste après le transformateur. Elles sont l'une des sources majeures de pertes à cause de la chute de tension ( $\sim 0.5$  V) qu'elles occasionnent lors du passage d'un courant. On les remplace alors par 2 transistors pilotés de manière à reproduire leur comportement (passante ou bloquée), mais en éliminant une grosse partie des pertes :



Au final, c'est bien plus efficace car les pertes dues aux transistors sont beaucoup plus faibles grâce à leur résistance de passage très faible (quelques milliohms). Le problème c'est qu'il faut une circuiterie supplémentaire pour les gérer, en sachant qu'il y en a 6 à caser dans l'alimentation avec 2 par tension (12, 5 et 3.3 V). Il ne faut pas oublier les pertes par commutation, mais avec un excellent circuit de pilotage, on peut s'arranger pour anticiper l'arrivée des impulsions et fermer le MOSFET juste avant qu'elle ne le traverse pour éviter d'avoir tension et courant à ses bornes en même temps, et donc limiter ses pertes. Ca devient du haut niveau et la complexité s'en ressent. Ce dispositif est plus coûteux et nettement plus complexe à synchroniser, mais parions que dès qu'un fabricant d'alimentations ATX l'utilisera, les autres devraient rapidement s'y mettre. Le gain en rendement peut se situer entre 3 et 7 % suivant la puissance désirée, c'est considérable.

Pour donner un exemple chiffré, on suppose un courant délivré de 20 A sur le 12 V. Les pertes occasionnées par des diodes Schottky traditionnelles se chiffrent à  $\sim 17$  W. Si on améliore leur tension de seuil de 0.2 V en prenant la meilleure qualité possible, les pertes passent à  $\sim 13$  W, le gain est faible pour un prix plus élevé. Et si on utilise la rectification synchrone avec 2 MOSFETs de résistance série égale à 10 mOhms, les pertes chutent à  $\sim 4$  W !

On peut utiliser des MOSFET quasiment partout pour optimiser un tas de choses différentes. La seule limite est la complexité et le coût de l'ensemble. Certaines approches les utilisent même dans la régulation du 3.3 V avec un deuxième système à découpage pour le réguler à partir du 5 V. Nos alimentations font la même chose, mais avec un simple amplificateur magnétique (mag-amp) qui servira d'interrupteur magnétique à retard.

Pour améliorer le rendement à faible charge, l'une des pistes pour l'optimiser est de diminuer la fréquence de découpage à la volée pour réduire les pertes de commutation. Au lieu d'avoir des impulsions très brèves à une fréquence donnée, suivies d'un long temps d'inactivité, on fait l'inverse en gardant une largeur d'impulsion constante à une fréquence plus faible. Certains contrôleurs spéciaux permettent ce genre de manipulation, mais ça ne nous concerne pas encore. En combinant les 2 modes suivant un seuil prédéfini, l'alimentation devient alors "intelligente" et son rendement s'améliore à faible puissance. On pourrait comparer ça à la technologie Speedstep de certains processeurs qui ralentissent quand on ne fait rien pour économiser l'énergie, ici ça serait pour limiter les pertes et consommer moins aussi.

Les améliorations sont innombrables, mais encore faut-il vouloir les faire. Cela ne semble pas être le cas, faute de compétences peut être (hormis chez les entreprises spécialisées)...

## 15. Rendement électrique : remise en cause et évolution

Chaque pourcent de rendement gagné au dessus de 85-90 % se paye de toute façon au prix fort et plus on veut le faire grimper, plus le coût explose. Le plus haut rendement pour une alimentation qu'on pourra espérer atteindre sera de l'ordre de 95 % car il subsistera toujours des pertes incompressibles. A 95 %, on pourra largement se passer de ventilation et avoir le silence sans avoir une chaudière en guise d'alimentation.

Si l'on raisonne à l'envers, il faudrait forcer les fabricants à améliorer drastiquement les techniques de fabrication des puces pour consommer beaucoup moins car c'est un peu la course à la puissance sans trop s'embêter du reste (jusqu'à ce que les problèmes apparaissent). Ça nécessiterait des alimentations moins puissantes, donc moins de pertes par voie de conséquence, moins de coût de fonctionnement, etc. et tout le monde serait content.

On peut aussi envisager un changement radical dans la façon de procéder. Si les grands fabricants faisaient plus d'efforts et se mettaient d'accord (Intel notamment qui est à l'origine de beaucoup de normes), on pourrait n'utiliser que des alimentations sortant du 12 V ou plus. Ça serait nettement plus compact, performant, efficace, facile à gérer et aussi moins cher à produire ! Cela nécessiterait de repenser quelques petites choses sur le 3.3 V et le 5 V (de moins en moins utilisés) en incluant des petits étages de conversion directement sur les cartes qui utilisent encore ces tensions. C'est ce que font les cartes graphiques ou la carte mère en convertissant le 12 V en tension plus faible pour alimenter un GPU, un CPU, un chipset, de la RAM, etc. Vu le peu de puissance que des cartes PCI ou autres périphériques demandent, ça ne poserait pas vraiment de souci sauf celui de la compatibilité car c'est une remise en cause assez globale. Le 12 V représente 70 à 90 % de la demande totale d'une machine récente en charge...

Il faut bien voir que l'implémentation des alimentations est assez vieillissante. Depuis les alimentations AT, rien n'a vraiment été fait pour changer et simplifier massivement les choses. On se contente juste de gonfler toutes les puissances aussi efficacement que possible. La norme évolue quand même et l'on assiste à l'élimination progressive de tensions désormais obsolètes telle que le -5 V (même si certains fabricants de carte mère, pas très fûtés, l'emploient encore pour embêter le monde !). Le -12 V devrait suivre le chemin car on peut s'en passer.