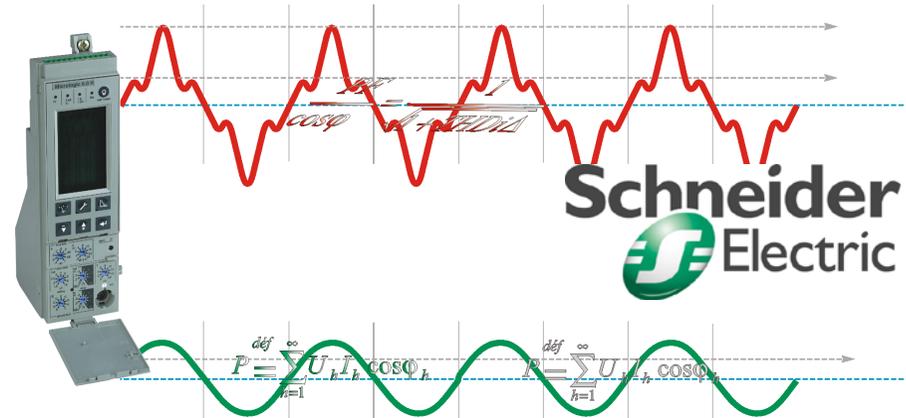


Détection et filtrage des harmoniques

Sommaire

- Les harmoniques et leurs effets
- Comment mesurer le niveau d'harmoniques dans une installation ?
- Solutions pour atténuer les harmoniques

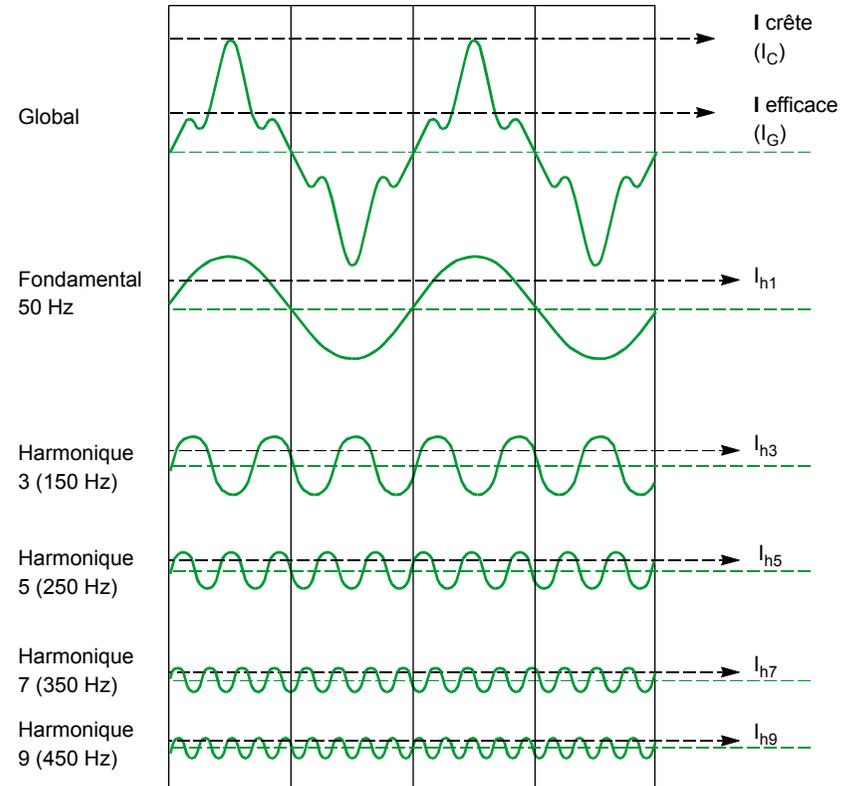


Source Schneider électrique

Un signal sinusoïdal déformé est une superposition

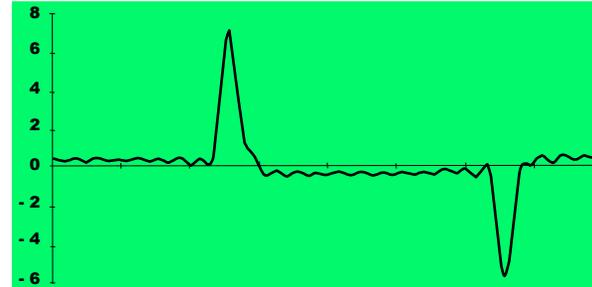
- du signal d'origine, de fréquence f
- de signaux de fréquences **appelés harmoniques** multiples de f

Les harmoniques, circulant inutilement dans les réseaux, peuvent entraîner des nuisances



Les harmoniques sont le fait de *charges non-linéaires*, de plus en plus nombreuses

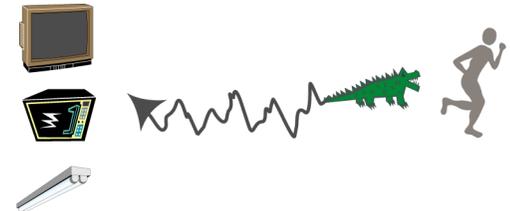
- le courant absorbé par une charge dite *non linéaire* n'a pas la même forme que sa tension d'alimentation



Courant absorbé par un micro de type PC

Adapter le besoin d'énergie électrique au besoin des charges entraîne l'utilisation massive de l'électronique de puissance

- *industrie* :
machine à souder, four à arcs ou à induction, variateur de vitesse, ...
- *Bâtiment / tertiaire* :
ordinateur, photocopieur, fax, onduleur, variateur de vitesse...
- *domestique* :
TV, four micro-onde, éclairage néon, ...



ORIGINE DES HARMONIQUES

Charge non-linéaire : définition

Une charge est dite **non linéaire** lorsque le courant qu'elle absorbe n'a pas la même forme que la tension qui l'alimente.

Typiquement, les charges utilisant l'**électronique de puissance** sont non-linéaires.

Or, elles sont de plus en plus nombreuses et leur part dans la consommation d'électricité ne cesse de croître.

Exemples de charges non-linéaires

- les équipements industriels (machines à souder, fours à arc, fours à induction, redresseurs),
- les variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones ou moteurs à courant continu,
- les appareils de bureautique (ordinateurs, photocopieurs, fax, ...),
- les appareils domestiques (TV, fours micro-onde, éclairage néon, ...),
- les onduleurs.

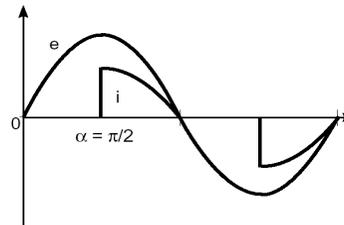
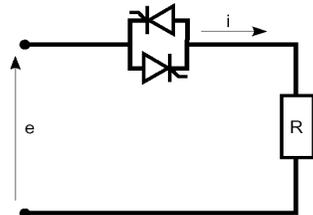
Forme du courant absorbé par quelques charges non linéaires

CONVERTISSEUR

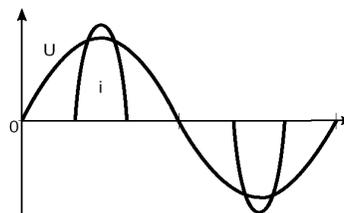
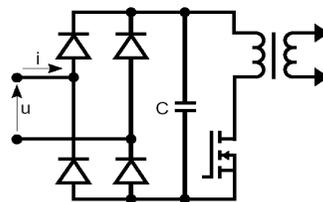
SCHEMA

ALLURE DU COURANT

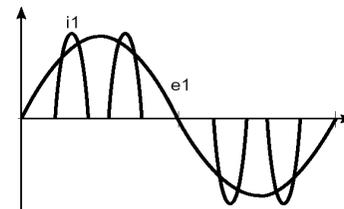
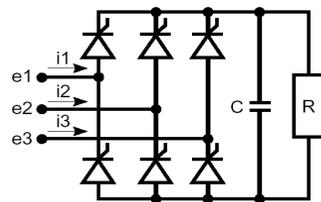
1 : Gradateur de lumière ou de chauffage



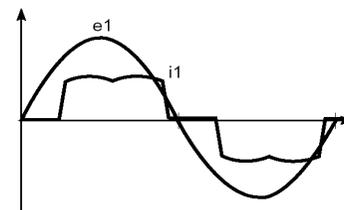
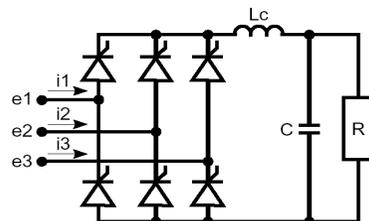
2 : Redresseur d'alimentation à découpage, par exemple :
■ ordinateur
■ électroménager



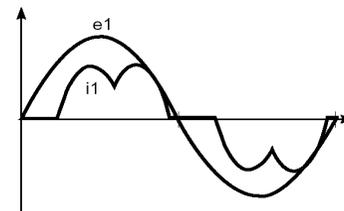
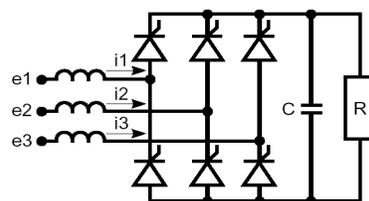
3 : Redresseur triphasé avec condensateur en tête par exemple : variateur de vitesse pour moteurs asynchrones



4 : Redresseur triphasé avec inductance de filtrage en continu, par exemple : chargeur de batterie.



5 : Redresseur triphasé avec inductance de lissage en alternatif, par exemple : ASI de forte puissance



Perturbations induites par les charges non-linéaires : courant et tension harmoniques

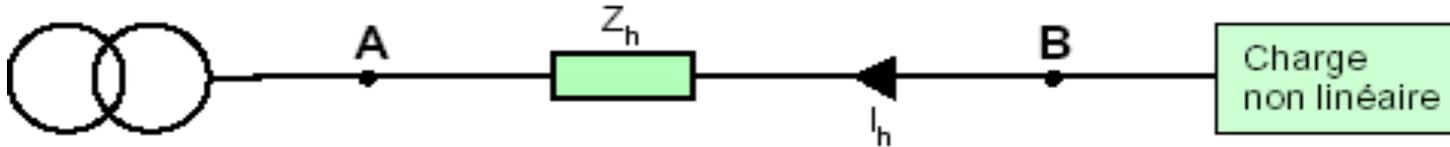


Figure 3 - schéma unifilaire représentant l'impédance du circuit d'alimentation «vu par» l'harmonique de rang h

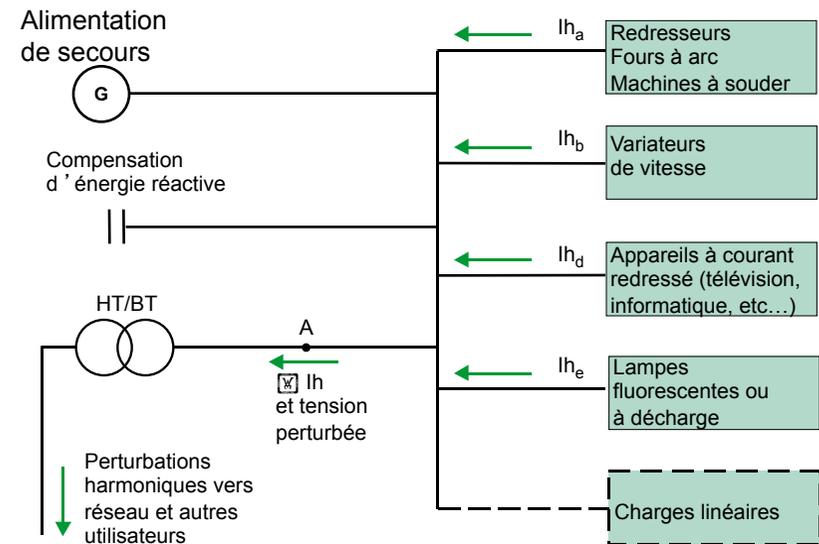
A chaque courant harmonique de rang h correspond donc une impédance de circuit d'alimentation Z_h .

Le courant harmonique de rang h va créer à travers l'impédance Z_h une tension harmonique U_h , avec $U_h = Z_h \times I_h$, par simple application de la loi d'Ohm. La tension en B est donc déformée.

Tout appareil alimenté à partir du point B recevra alors une tension perturbée.

La circulation des courants harmoniques fait apparaître des tensions harmoniques

- dues aux impédances des circuits d'alimentation
- on peut représenter la propagation des harmoniques comme la circulation de courants harmoniques, injectés par les charges non linéaires



Les harmoniques ont des effets néfastes ...

... car ils engendrent



- l'augmentation des courants et des surcharges dans les réseaux
- des pertes supplémentaires, et le vieillissement des matériels
- la perturbation de récepteurs, dues aux tension harmoniques
- des perturbations dans les réseaux de communication

Ils ont ainsi un impact économique important

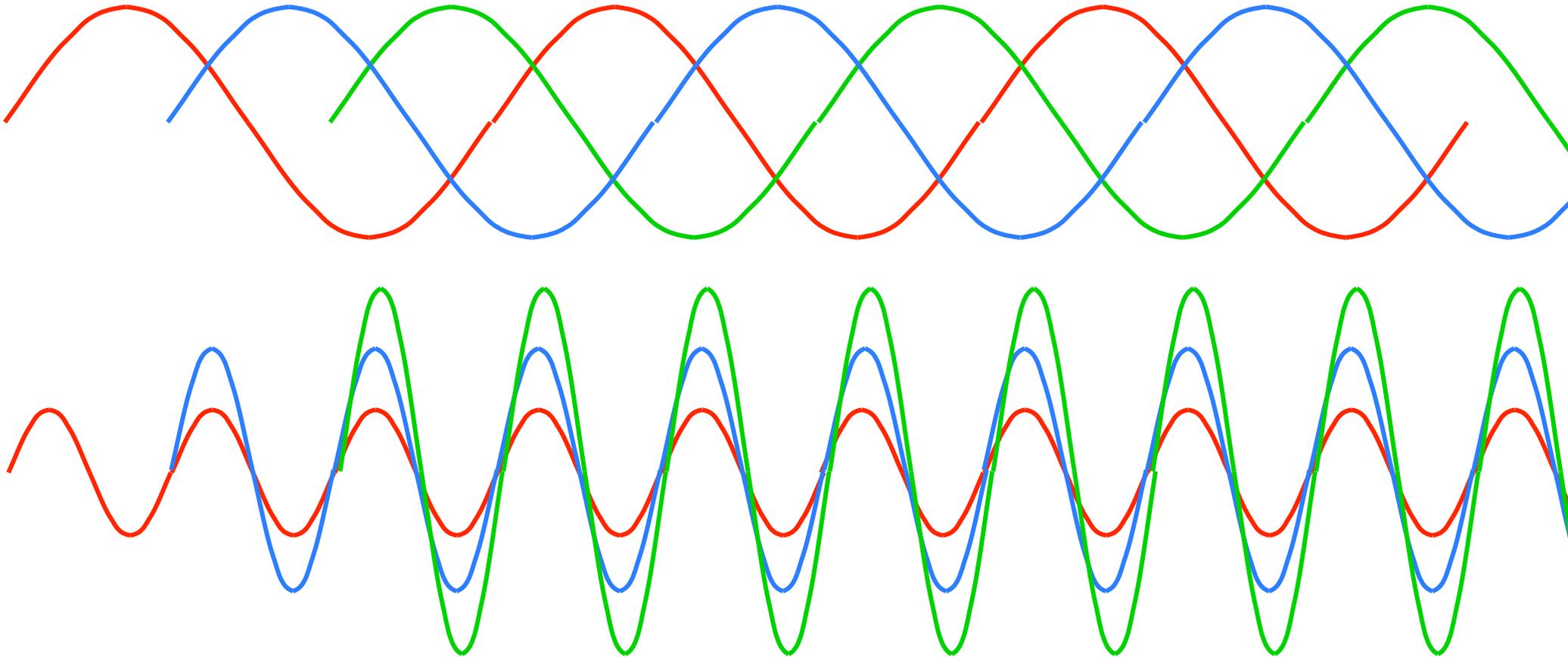
- coûts de matériels (remplacement prématuré, surdimensionnement)
- pertes énergétiques (et augmentation de la puissance souscrite)
- pertes de productivité (déclenchements intempestifs)

En pratique, quels harmoniques faut-il combattre ?

- les harmoniques de rang impairs, de fréquences peu élevées
- en pratique, surtout les **rangs 3, 5, 7, 11 et 13**



Particularité de l'harmonique de rang 3 ...



Contrairement au fondamental, un réseau triphasé + neutre équilibré voit passer un courant de neutre

$$I_{nh3} = I_{ph1h3} + I_{ph2h3} + I_{ph3h3}$$

Les indicateurs essentiels pour quantifier le niveau de perturbation d'une installation

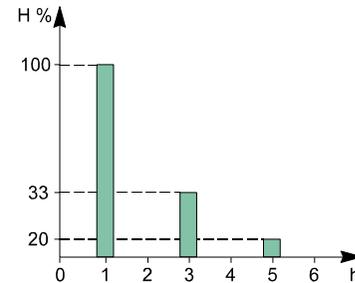
- le taux de distorsion harmonique

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=\infty} y_h^2}}{y_1}$$

THD en tension (**THD_U**)

THD en courant (**THD_i**)

- le spectre en fréquence



- le facteur de crête

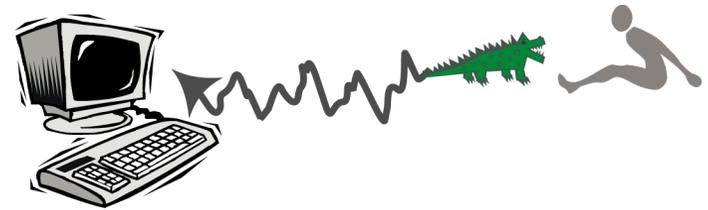
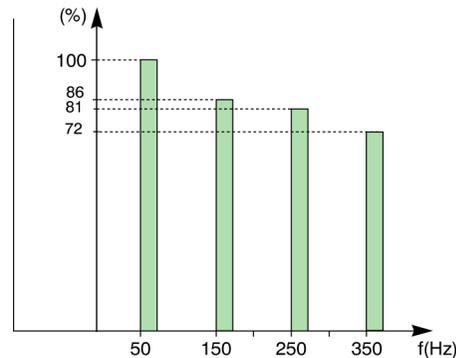
$$k = \frac{I_m}{I_{eff}} \quad k = \frac{U_m}{U_{eff}}$$

- le facteur de puissance

$$PF = \frac{P}{S}$$

Comment ces indicateurs représentent la déformation du signal

- Le courant absorbé par un micro-ordinateur de type PC :



Spectre en fréquence : $I_{h3} = 86\%$, $I_{h5} = 81\%$, $I_{h7} = 72\%$

Facteur de crête : $k = 4,4$

Taux de distorsion harmonique en courant : $THD_1 = 178\%$

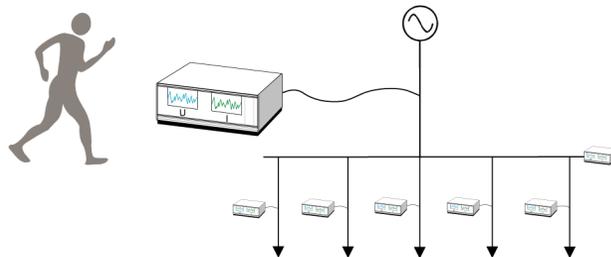
Deux raisons d'effectuer l'analyse des harmoniques d'un réseau

1/ à titre préventif

- ce qui permet d'établir la cartographie du réseau et d'anticiper les dérives

2/ à titre curatif

- pour diagnostiquer un problème de perturbation
- pour vérifier la conformité d'une solution



Le mode opératoire :

- On réalise l'étude des tensions et des courants aux niveaux
 - de la source d'alimentation
 - du jeu de barres du tableau principal
 - de chaque départ du tableau principal

Avoir une vision globale et instantanée du fonctionnement du réseau ...

... par l'implantation à demeure d'appareils de mesure ...

- appareils de mesure spécifiques
- modules de mesure ou de détection intégrés aux appareils de distribution

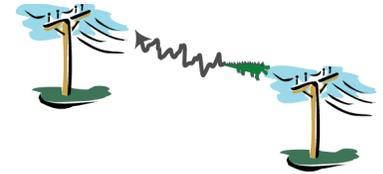
... facilite le diagnostic

- évite la connexion / la déconnexion d'appareils de mesure
- prépare et facilite le travail des experts
- permet de détecter l'apparition de nouvelles perturbations

Un triple dispositif normatif se renforce

normes de compatibilité entre réseaux électriques et produits

- CEI 1000-2-2 réseaux publics BT
- CEI 1000-2-4 installations industrielles BT et MT

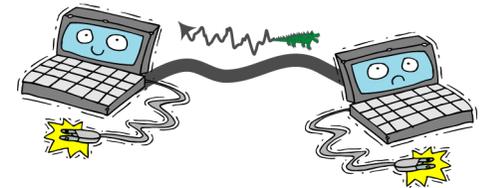


normes qualité réseaux

- EN 50160 tension fournie par les réseaux publics BT
- IEEE 519 approche conjointe entre distributeurs d'énergie et client

normes d'appareillage

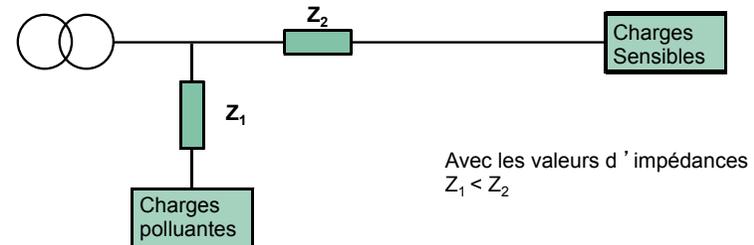
- CEI 61000-3-2 ou EN 61000-3-2 appareils BT, $I < 16$ A
- CEI 61000-3-4 ou EN 61000-3-4 appareils BT, $I > 16$ A



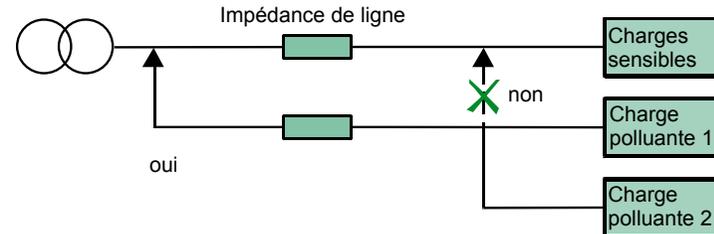
La tendance des distributeurs : taxer les clients pollueurs

Solutions : Adapter l'installation pour diminuer les harmoniques

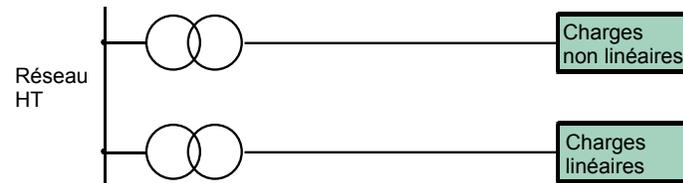
- positionner les charges polluantes en amont du réseau



- regrouper les charges polluantes

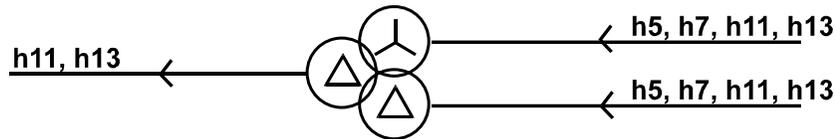


- séparer les sources



Solutions : Adapter l'installation pour diminuer les harmoniques

- utiliser des transformateurs à couplages particuliers



- ajouter des inductances
 - en augmentant l'impédance du circuit d'alimentation, on limite le courant harmonique
- choisir un schéma de liaison à la terre adapté
 - le TNC est à proscrire dans le cas d'alimentation sensible
 - Le TNS est conseillé en présence d'harmoniques

Solutions : Utiliser des filtres pour lutter contre les harmoniques

les filtres passifs

- ils ont une grande capacité de filtrage en courant
- ils sont également compensateur d'énergie réactive

les filtres actifs

- ils présentent une large bande de fréquences de filtrage
- ils ont cependant une puissance harmonique limitée

les filtres hybrides

- combinent l'ensemble des performances

