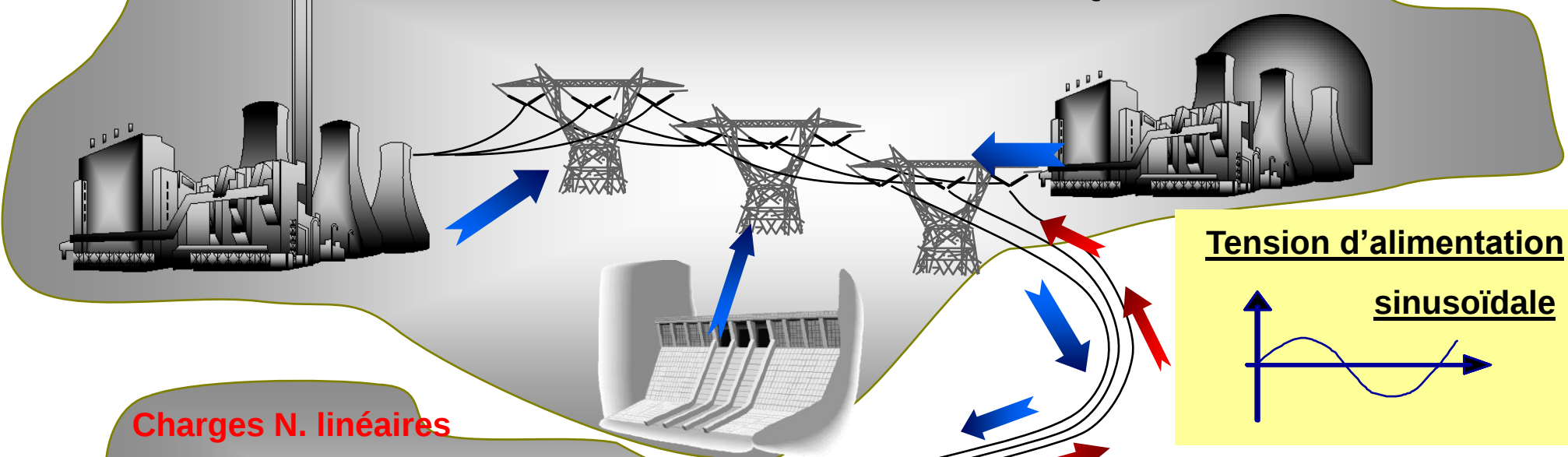


Cours: Perturbation de la qualité de l'énergie électrique

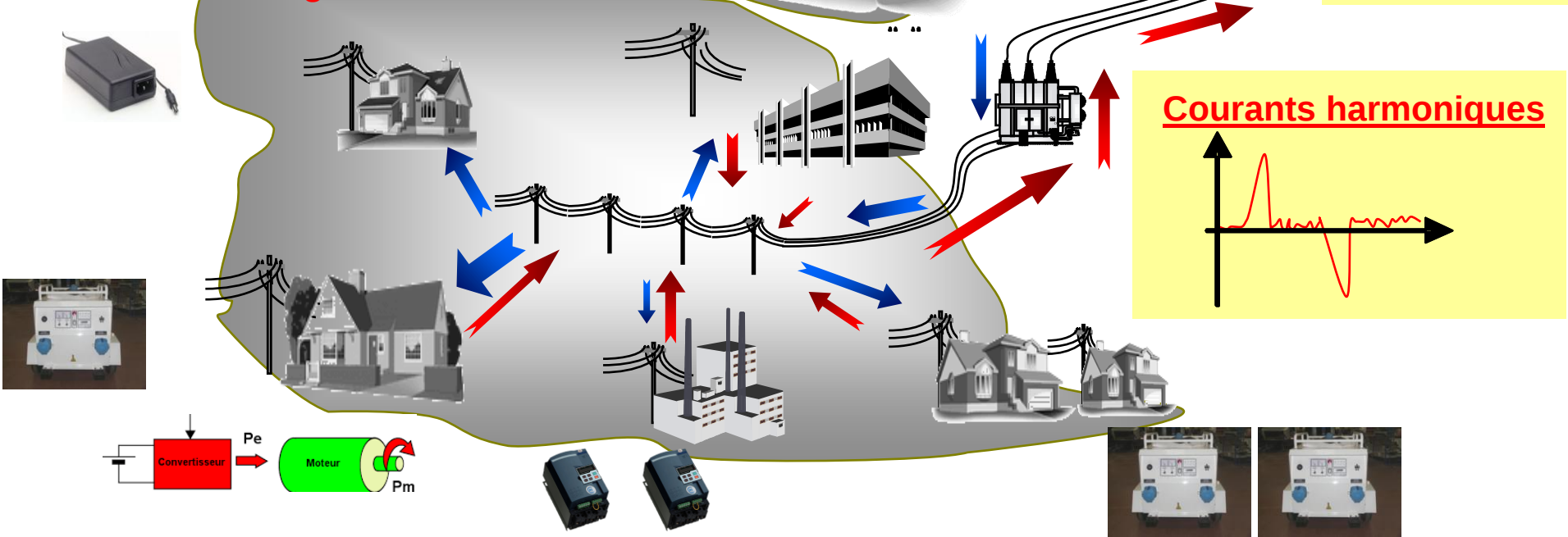
Chapitre 4: Les Harmoniques

1. Définition de la pollution harmonique
2. Principales charges polluantes
3. Caractéristiques des ondes de tension et de courant
4. Origines des harmoniques
5. Conséquences de la pollution harmonique
6. La propagation des harmoniques sur les réseaux
7. Stratégies de limitation des harmoniques (Filtres : Actif, Passif et mixte)

LES EXPLOITANTS DE RESEAUX ELECTRIQUES



Charges N. linéaires



Problématique des harmoniques

Les défauts les plus courants

- Les déséquilibres
- Les coupures ou micro-coupures ($\approx 100\text{ms}$)
- Les flickers
- Les chutes et les surtensions
- **Les pollutions harmoniques.**

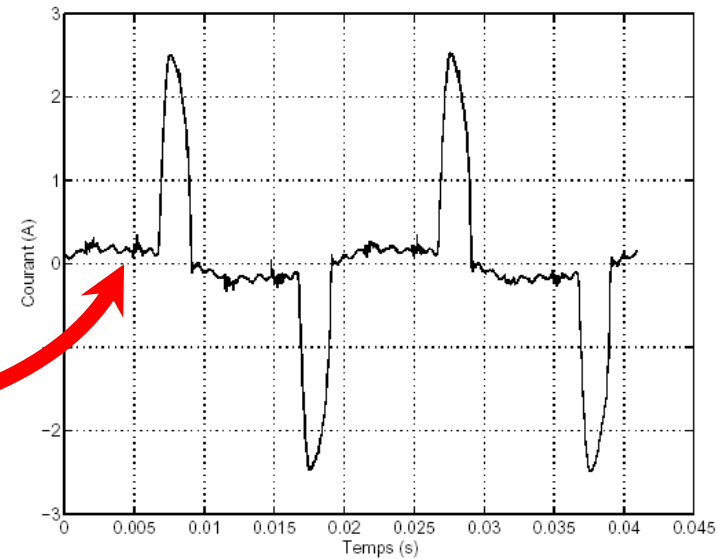


Fig.1. Courant d'une alimentation à découpage d'un écran de micro-ordinateur.

Problématique des harmoniques

Tout signal $y(t)$ déformé et périodique de période 'T' peut se décomposer en une somme d'ondes sinusoïdales et d'une composante continue grâce à la décomposition en série proposée par le mathématicien Français Jean-Batiste Joseph Fourier (1768-1830). Cette décomposition s'écrit sous la forme suivante :

$$y(t) = Y_0 + \sqrt{2}(Y_1 \cdot \sin(\omega t - \varphi_1) + Y_2 \cdot \sin(2 \cdot \omega t - \varphi_2) + \dots + Y_h \cdot \sin(h\omega t - \varphi_h))$$

Qui peut s'écrire sous forme de somme : $= Y_0 + \sum_{h=1}^{\infty} Y_h \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(h \cdot \omega t - \varphi_h)$

Avec :

Y_0 : valeur moyenne ou composante continue du signal $y(t)$,

h : rang de l'harmonique,

Y_h : valeur efficace de l'harmonique au rang h ,

ω : pulsation fondamentale ($2\pi \cdot f_1 = 2\pi/T$)

φ_h : phase de l'harmonique au rang h .

Problématique des harmoniques

Paramètres caractéristiques :

$$\underline{T_{aux(h)}} = 100 \frac{Y_{h,trms}}{Y_{1,trms}} (\%) \quad \underline{THD} = 100 \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} Y_{h,trms}^2}}{Y_{1,trms}} (\%)$$

- Pour une charge non linéaire, alimentée par une source de tension $v(t)$ et parcourue par un courant $i(t)$, en présence d'harmonique les expressions s'écrivent respectivement :

$$V(t) = \sum_{h=1}^{\infty} V_h \sqrt{2} \cdot \sin(h \cdot \omega t) \quad i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} I_h \sqrt{2} \cdot \sin(h \cdot \omega t - \varphi_h)$$

- La puissance instantanée sera donc : $p(t) = m \cdot V(t) \cdot i(t)$

- De même pour les puissances réactive et apparente qui sont données par:

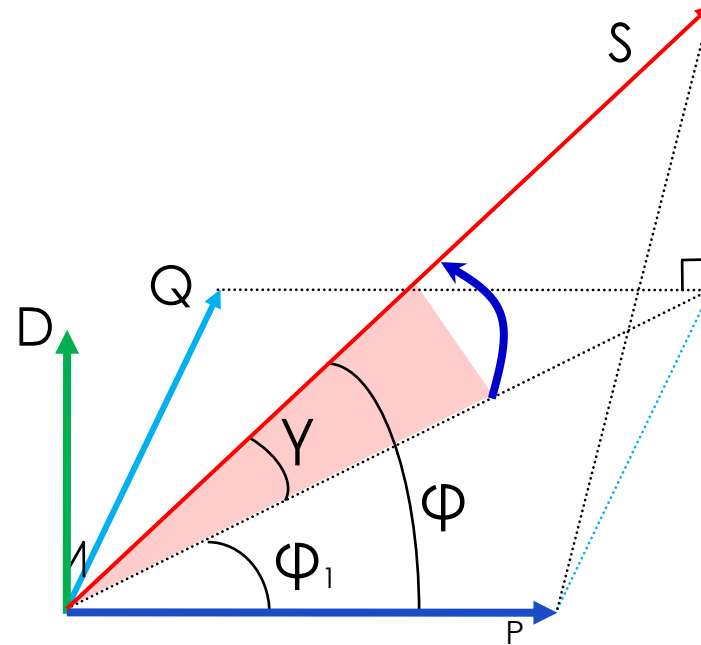
$$\boxed{P} = m \cdot \sum_{h=1}^{\infty} V_h \cdot I_h \cdot \cos \varphi_h \quad \boxed{Q} = m \cdot \sum_{h=1}^{\infty} V_h \cdot I_h \cdot \sin \varphi_h \quad \text{et} \quad \boxed{S} = m \cdot V_{rms} \cdot I_{rms} = m \cdot \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2} \cdot \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

Problématique des harmoniques

Facteur de puissance

➤ Puissance supplémentaire appelée la puissance déformante (D):

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$



D: Puissance déformante

Fig.2. Diagramme de Fresnel de la puissance déformante.

Problématique des harmoniques

REPRÉSENTATION DES PERTURBATIONS HARMONIQUES

La figure suivante donne l'allure d'une onde polluée par des harmoniques de rang 3 et 11. La décomposition de cette onde permet de mettre en évidence ces harmoniques, ainsi que la composante fondamentale :

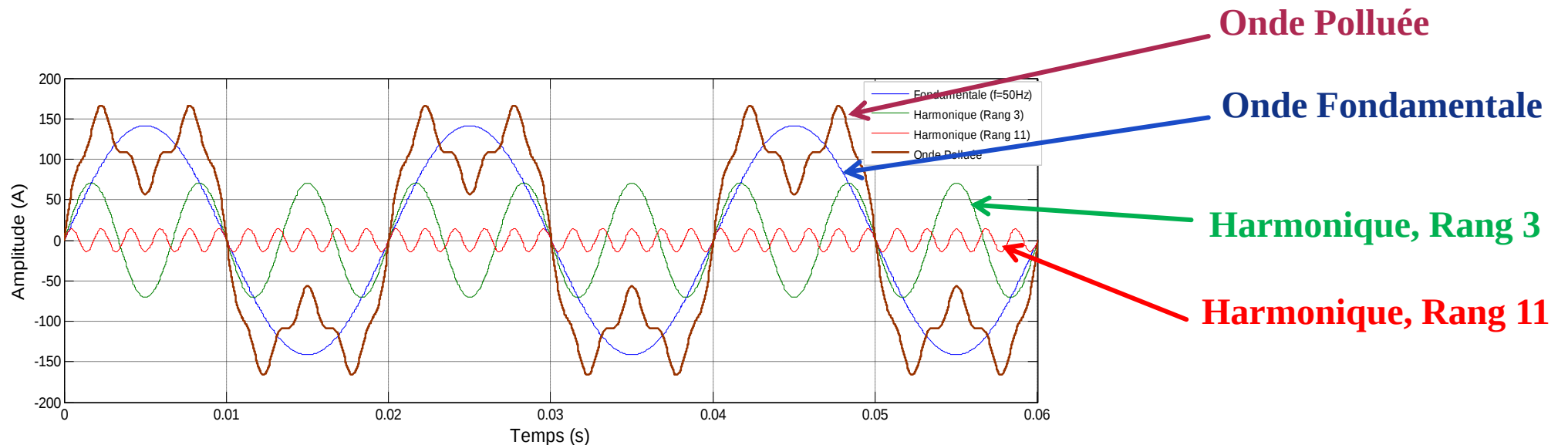


Fig.3. Décomposition harmonique d'une onde polluée

Problématique des harmoniques

ORIGINES DES PERTURBATIONS HARMONIQUES : On peut citer :

- Les redresseurs monophasés et triphasés, les systèmes d'éclairage et de chauffage et les systèmes de conduite des réseaux.
- Les variateurs de vitesse électroniques, Les fours à arc et à induction.
- Les transformateurs.
- Les machines tournantes.



NB: D'une manière générale, se sont les charges qui absorbent des courants non sinusoïdaux même s'ils sont alimenté avec des tensions sinusoïdales.

Problématique des harmoniques

EFFETS DES HARMONIQUES SUR LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE

On distingue deux sortes d'effets possibles :

- Les **effets quasi instantanés** sur certains types d'appareillage, tels que l'électronique de puissance, calculateurs, relais, systèmes de contrôle et de régulation
- Les **effets à terme** sur les machines tournantes et les condensateurs
- La présence d'harmoniques va, pour une même puissance, augmenter la valeur efficace du courant qui circule dans les câbles électriques.

$$P_j = \sum_{n=1}^{\infty} R_n I_n^2 = R_1 I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} R_n I_n^2 = P_1 + P_h$$

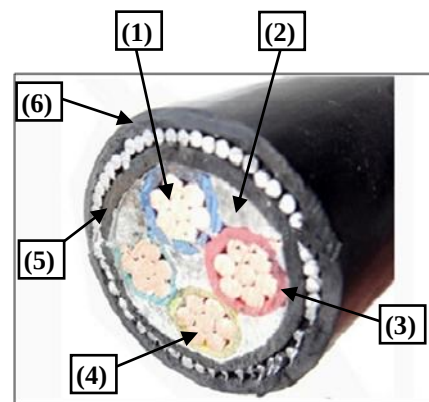
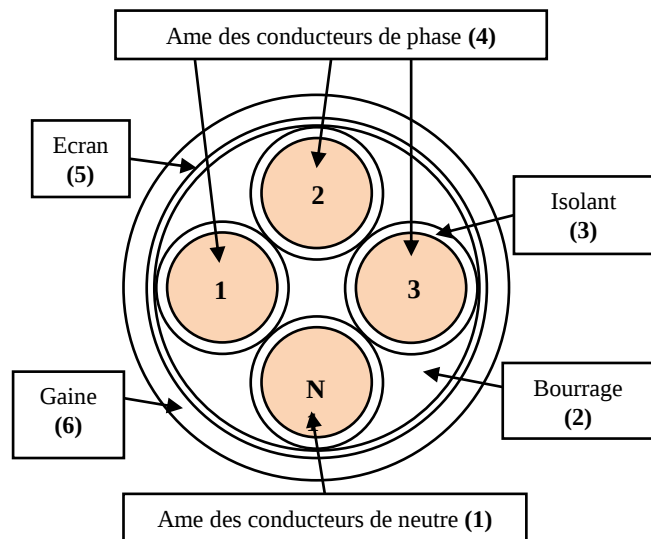
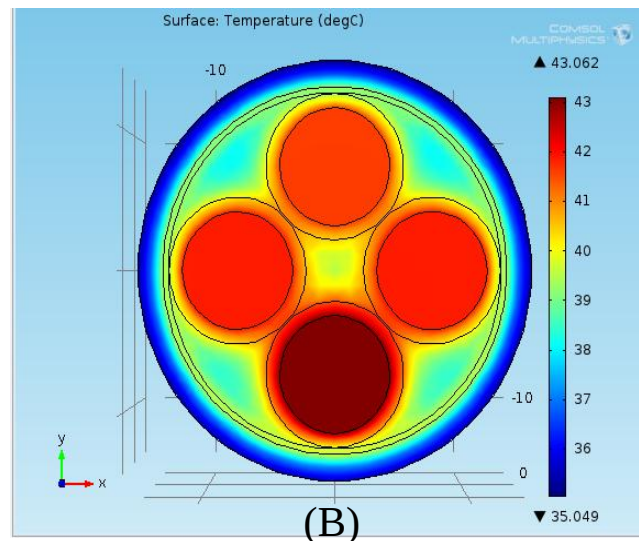
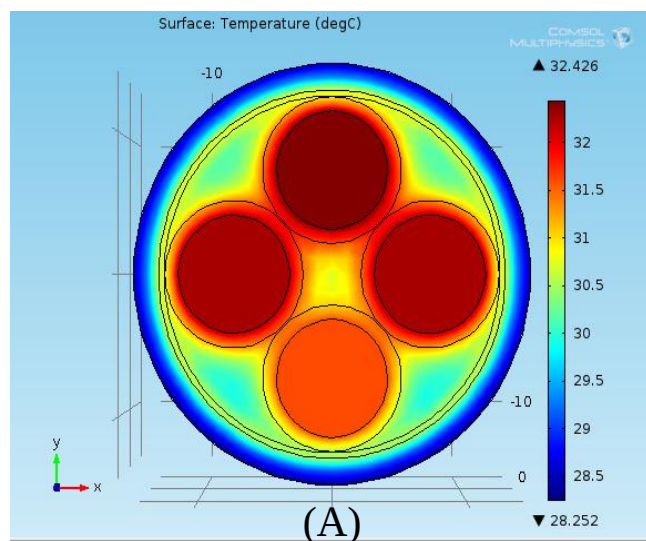


Fig. 4. Différents éléments constituant un câble électrique.

Tab.1 : Taux de distorsion harmonique pour chaque cas étudié.

		I_1 / I_1	I_3 / I_1	I_5 / I_1	I_7 / I_1	I_9 / I_1	THD
Linéaire	Référ	100%	/	/	/	/	0%
Non-linéaire	Cas 1	100%	13%	6.5%	5%	2%	15.5%
	Cas 2	100%	22%	11%	7%	4%	25.9%
	Cas 3	100%	39%	20%	15%	6%	46.7%
	Cas 4	100%	52%	26%	20%	8%	62%



Tab.2 : Température par phase et par neutre.

	$I_1 = 60 \text{ A}$		Température (°C)			
	Phase	Neutre	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Neutre
Cas 1	60,71A	23,67A	30.91°C	31.11°C	30.91°C	29.98°C
Cas 2	61,98A	40,25A	32.26°C	32.41°C	32.26°C	31.6°C
Cas 3	66,22A	71,03A	36.77°C	36.72°C	36.77°C	36.96°C
Cas 4	70,60A	94,70A	41.85°C	41.59°C	41.85°C	43.04°C

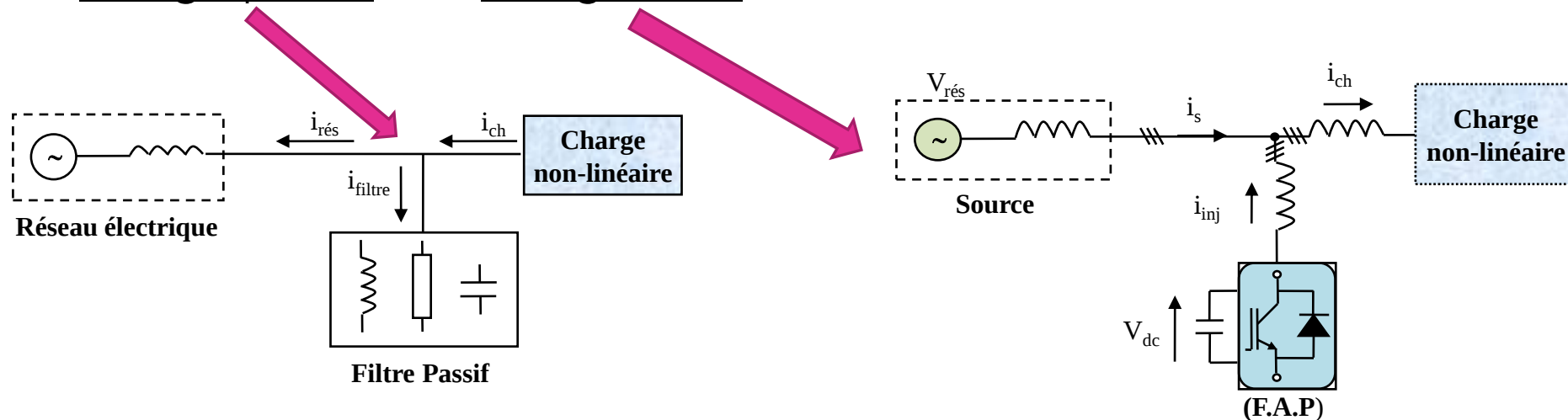
Fig. 5. Représentation de la température cas 2 et cas 4. Fig. A. THD=25.9% , Fig. B. THD=62%.

Problématique des harmoniques

MOYENS DE MITIGATION CONTRE LA POLLUTION HARMONIQUE

Diverses méthodes sont employées afin de réduire la pollution harmonique sur les réseaux de distribution. Parmi ces méthodes, citons :

- Le surdimensionnement des éléments composant le réseau,
- L'utilisation de transformateurs spéciaux,
- Le filtrage passif et le filtrage actif.



STRUCTURE GÉNÉRALE DES FILTRES ACTIFS PARALLÈLES

Le schéma synoptique de base d'un filtre actif de puissance est illustré sur la figure 6 :

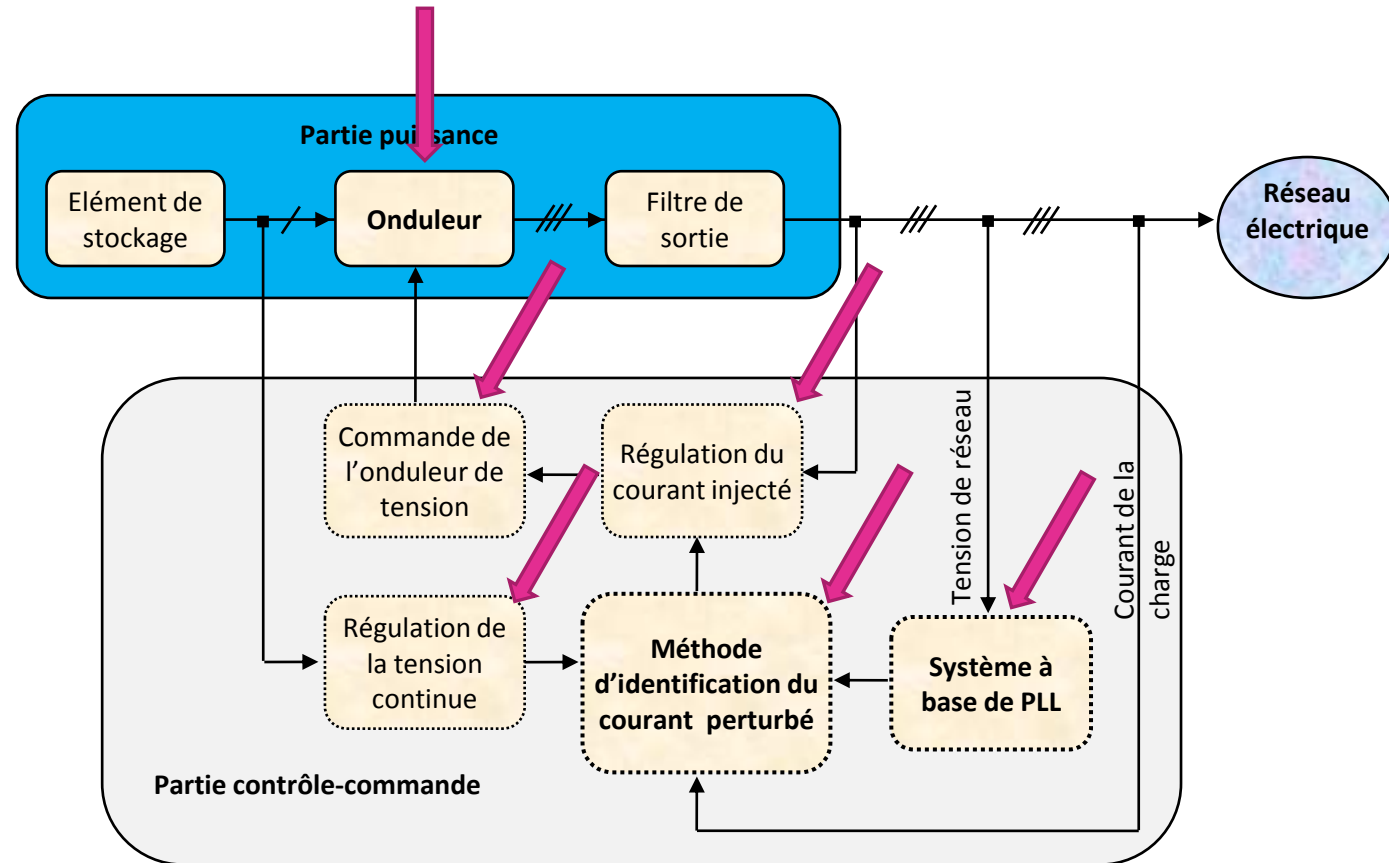


Fig. 6. Structure générale du filtre actif parallèle