

HarmoCem

Etude des perturbations des réseaux électriques

Manuel de travaux pratiques



Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

HarmoCem

Etude des perturbations des réseaux électriques

Manuel de travaux pratiques

AVERTISSEMENTS

Tous les exemples développés dans ce manuel sont d'ordre pédagogique, et peuvent à ce titre ne pas représenter totalement la réalité. Ils ne doivent donc en aucun cas être utilisés, même partiellement, pour des applications industrielles, ni servir de modèle pour de telles applications.

Les produits présentés dans ce manuel sont à tout moment susceptibles d'évolutions quant à leurs caractéristiques de présentation, de fonctionnement ou d'utilisation. Leur description ne peut en aucun cas revêtir un aspect contractuel.

L'Institut Schneider Formation accueillera favorablement toute demande de réutilisation, à des fins didactiques, des graphismes ou des applications contenus dans ce manuel.

© CITEF S.A. Toute reproduction de cet ouvrage est strictement interdite sans l'autorisation expresse de l'Institut Schneider Formation.

Consignes importantes

Le banc d'étude des perturbations des réseaux électriques, avec l'aide de la présente notice, permet de mettre en évidence les perturbations "basse fréquence", les harmoniques et les "hautes fréquences", liées à la compatibilité électromagnétique. Il permet pour ce faire de visualiser les phénomènes harmoniques et les perturbations électromagnétiques, de les mesurer. Ce banc permet aussi de mettre en œuvre des solutions pour réduire ou éliminer ces phénomènes ou perturbations.

■ Ce banc a fait l'objet d'une certification ; il est conçu et réalisé en conformité avec les normes et principes de sécurité des personnes et des biens. Néanmoins, étant alimenté par un réseau monophasé 230 V alternatifs, sa manipulation exige **un minimum de précautions** pour s'affranchir des risques d'accident liés à l'utilisation de matériel sous tension.

Les travaux pratiques devront donc se faire sous la responsabilité d'un enseignant, ou de toute personne habilitée et formée aux manipulations de matériels sous tension.

■ Prendre connaissance de l'ensemble de la documentation du banc, et conserver soigneusement celle-ci.

Respecter scrupuleusement les avertissements et instructions figurant dans la documentation comme sur le banc lui-même.

Pour la mise en service du banc et ses conditions d'environnement, se conformer précisément aux instructions données au chapitre 1.

■ Symboles utilisés :



attention



borne de Terre

Sommaire général

	<i>Page</i>
1 Introduction	5
1.1 Perturbations provoquées par les harmoniques	
1.2 La CEM : généralités	
1.3 Compétences et stratégie pédagogiques	
2 Cours et TP «Harmoniques»	15
2.1 TP 1 : Étude de différentes charges d'éclairage	
2.2 Harmoniques : cours de synthèse	
2.3 Évaluation harmoniques : QCM	
2.4 TD : Étude des perturbations harmoniques sur la distribution (l'éclairage)	
2.5 TP 2 : Étude des remèdes	
2.6 TP 3 : Étude «Harmoniques et compensation d'énergie réactive»	
2.7 TP 4 : Influence de l'impédance de source sur le taux de distorsion en tension	
3 Cours et TP «CEM»	155
3.1 Cours «CEM»	
3.2 TP 1 : Mesure du rayonnement d'un câble en sortie variateur	
3.3 TP 2 : Mesure du rayonnement d'un câble sur un écran cathodique	
3.4 TP 3 : Mesure de l'efficacité d'une armoire CEM sur le champ rayonné	
3.5 TP 4 : Mesure d'émission conduite HF réinjectée sur le réseau	
3.6 TP 5 : Corrélation entre mesure sur site et en laboratoire	

1

Chapitre

Introduction

Titre	page
1.1 Perturbations provoquées par les harmoniques	6
1.2 La CEM : généralités	8
1.3 Compétences et stratégie pédagogiques	10

1.1 Perturbations provoquées par les harmoniques

Les tensions et courants harmoniques superposés à l'onde fondamentale conjuguent leurs effets sur les appareils et équipements utilisés.

■ Ces grandeurs harmoniques ont des effets différents selon les récepteurs rencontrés :

□ Soit des effets instantanés,

□ Soit des effets à terme dûs aux échauffements.

Effets instantanés

Sur les systèmes électroniques, les tensions harmoniques peuvent perturber les dispositifs de régulation. Elles peuvent influencer les liaisons et les équipements «courants faibles».

Les compteurs d'énergie à induction présentent des erreurs supplémentaires en présence d'harmoniques : par exemple un compteur classe 2 donnera une erreur supplémentaire de 0,3% avec un taux de 5% d'harmonique 5 sur le courant et la tension.

Les récepteurs de télécommande centralisée à fréquence musicale utilisée par les distributeurs d'énergie peuvent être perturbés par des tensions harmoniques de fréquence voisine de celle utilisée par le système. Nous évoquerons plus loin d'autres causes de perturbation de ces relais liées aux impédances harmoniques de réseau.

□ Vibrations, bruit

Par les efforts électrodynamiques proportionnels aux courants instantanés en présence, les courants harmoniques généreront des vibrations, des bruits acoustiques, surtout dans les appareils électromagnétiques (transformateurs, inductances).

Des couples mécaniques pulsatoires, dûs aux champs tournants harmoniques, donneront des vibrations dans les machines tournantes.

□ Perturbations induites sur les lignes à courants faibles (téléphone, contrôle-commande)

Des perturbations surviennent lorsqu'une ligne à courants faibles chemine le long d'une canalisation de distribution électrique avec courants et tensions déformés.

Les paramètres tels que : longueur du cheminement parallèle, distance entre les deux circuits, fréquence des harmoniques (le couplage augmente avec la fréquence), sont à prendre en compte.

Effets à terme Hormis la fatigue mécanique des matériaux due aux vibrations, l'effet à terme est l'échauffement.

❑ Echauffement des condensateurs

Les pertes, causes de l'échauffement, sont dues à deux phénomènes : conduction et hystérésis dans le diélectrique.

Elles sont en première approximation proportionnelles au carré de la tension appliquée, et à la fréquence pour l'hystérésis.

Les condensateurs sont donc sensibles aux surcharges, qu'elles soient dues à une tension fondamentale trop élevée ou à la présence de courants harmoniques.

Ces échauffements peuvent conduire au claquage.

❑ Echauffement dû aux pertes supplémentaires des machines et des transformateurs

❑ Pertes supplémentaires dans les machines, dans leur stator (cuivre et fer), et principalement dans leurs circuits rotoriques (cages, amortisseurs, circuits magnétiques) par suite des différences importantes de vitesse entre les champs tournants inducteurs harmoniques et le rotor.

❑ Pertes supplémentaires des transformateurs dues à l'effet de peau (augmentation de la résistance du cuivre avec la fréquence), à l'hystérésis et aux courants de FOUCAULT (dans le circuit magnétique).

❑ Echauffement des câbles et des équipements

Les pertes des câbles, traversés par des courants harmoniques, sont majorées, d'où une élévation de température. Parmi les causes des pertes supplémentaires, on peut citer :

❑ l'élévation de la résistance apparente de l'âme avec la fréquence, phénomène dû à l'effet de peau,

❑ l'élévation des pertes diélectriques dans l'isolant avec la fréquence, si le câble est soumis à une distorsion de tension non négligeable,

❑ des phénomènes de proximité, de gaines, d'écrans mis à la terre aux deux extrémités, etc.

Note : Ces effets sont traités par la norme CEI 287.

D'une façon générale tous les équipements (tableaux électriques) soumis à des tensions ou traversés par des courants harmoniques, ont des pertes accentuées et devront faire l'objet de déclassements éventuels.

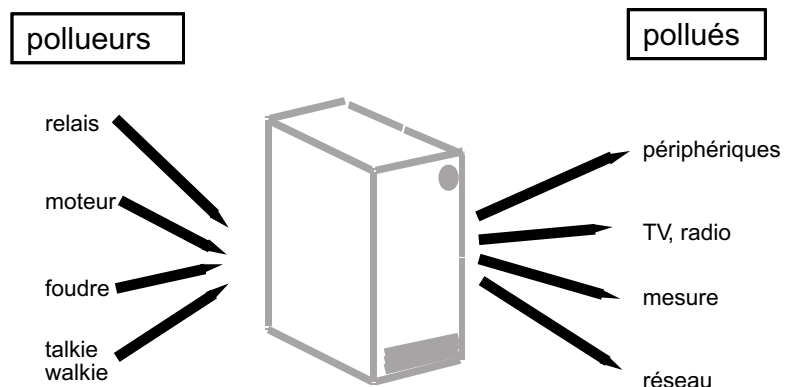
1.2 La CEM : généralités

■ Définition de la compatibilité électromagnétique

■ Compatibilité électromagnétique - CEM :

☐ Aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans un environnement de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables, pour tout ce qui se trouve dans cet environnement.

■ Relation avec un environnement



■ Pourquoi la compatibilité électromagnétique ?

☐ Garantir la qualité et le bon fonctionnement des installations et équipements électriques et électroniques.

☐ Evolution de la technologie.

☐ Tout le monde est concerné.

☐ Aspects normatifs.

☐ Aspects financiers.

■ L'électronique dans un environnement perturbé

■ Principales sources d'origine naturelle.

☐ atmosphériques, galactiques, solaires, bruit thermique terrestre.

■ Principales sources d'origine artificielle.

☐ émetteurs intentionnels :

- émetteurs radioélectriques, talkie-walkie, télévision, radars, fours à micro-ondes.

☐ émetteurs non intentionnels.

- traction électrique, systèmes d'allumage des moteurs à explosion, moteurs électriques, ordinateurs, contacteurs, disjoncteurs, électronique de puissance (alim à découpage), appareils électro-domestiques, tubes fluorescents, systèmes d'alimentation (HT, BT).

☐ décharges électrostatiques.

■ ... et dans le même temps

- ❑ introduction de l'électronique numérique,
- ❑ sensibilité croissante des composants,
- ❑ cohabitation courants forts - courants faibles.

1.3 Compétences et stratégie pédagogiques

A- Compétences du technicien dans ce domaine

L'utilisation croissante de dispositif électrique utilisant les semi-conducteurs, tant dans les installations industrielles que pour les besoins électro-domestiques, est à l'origine de perturbations harmoniques et électromagnétiques dans les installations électriques mais aussi sur réseaux de distribution et de transport. Les exigences des clients industriels et tertiaires en matière de qualité de courant électrique sont de plus en plus fortes. Aux raisons techniques (développement des automatismes et de l'informatique) s'ajoute les besoins induits par les démarches qualités, la recherche du zéro défaut, pour lesquels les utilisateurs doivent parfaitement maîtriser le fonctionnement de leur équipement. Chasser les perturbations harmoniques et électromagnétiques devient une des préoccupations majeures des responsables d'exploitation de l'énergie électrique d'une usine.

■ Pour ceci, en présence d'un système automatisé, les schémas et la documentation technique étant fournis, un électrotechnicien doit être capable de :

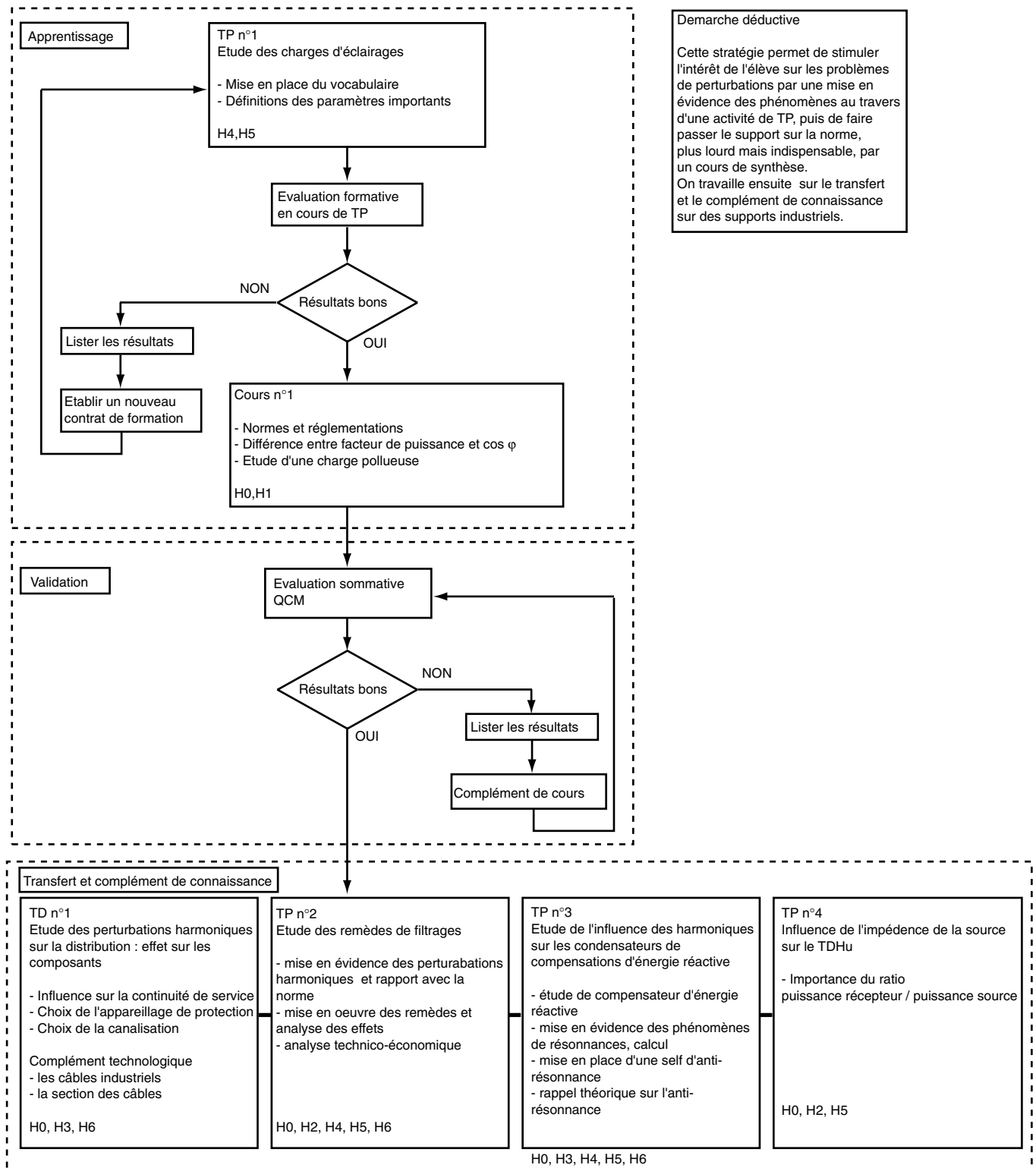
- ☐ H0 : **Connaître** les normes en vigueur BF et HF, le marquage CE, ainsi que leurs champs d'application ;
- ☐ H1 : **Connaître** et **savoir mettre en œuvre** les règles de câblage et d'installation pour assurer la coexistence des différents courants (forts et faibles) ;
- ☐ H2 : **Choisir** et **Appliquer** une stratégie de protection en fonction des données constructeur (montage et remèdes) ;
- ☐ H3 : **Identifier**, sur une installation, les supports de propagation des perturbations (courants forts et les courants faibles) ;
- ☐ H4 : **Identifier** les différents pollueurs et victimes de l'installation ;
- ☐ H5 : **Proposer** un protocole d'investigation et de mesures sur site, face à un problème de dysfonctionnement de l'installation ;
- ☐ H6 : **Déterminer**, en fonction de critères prédéfinis, la stratégie de protection utilisée sur l'installation, **Calculer** et **Justifier** cette dernière.

B - Stratégie pédagogique Harmoniques/CEM

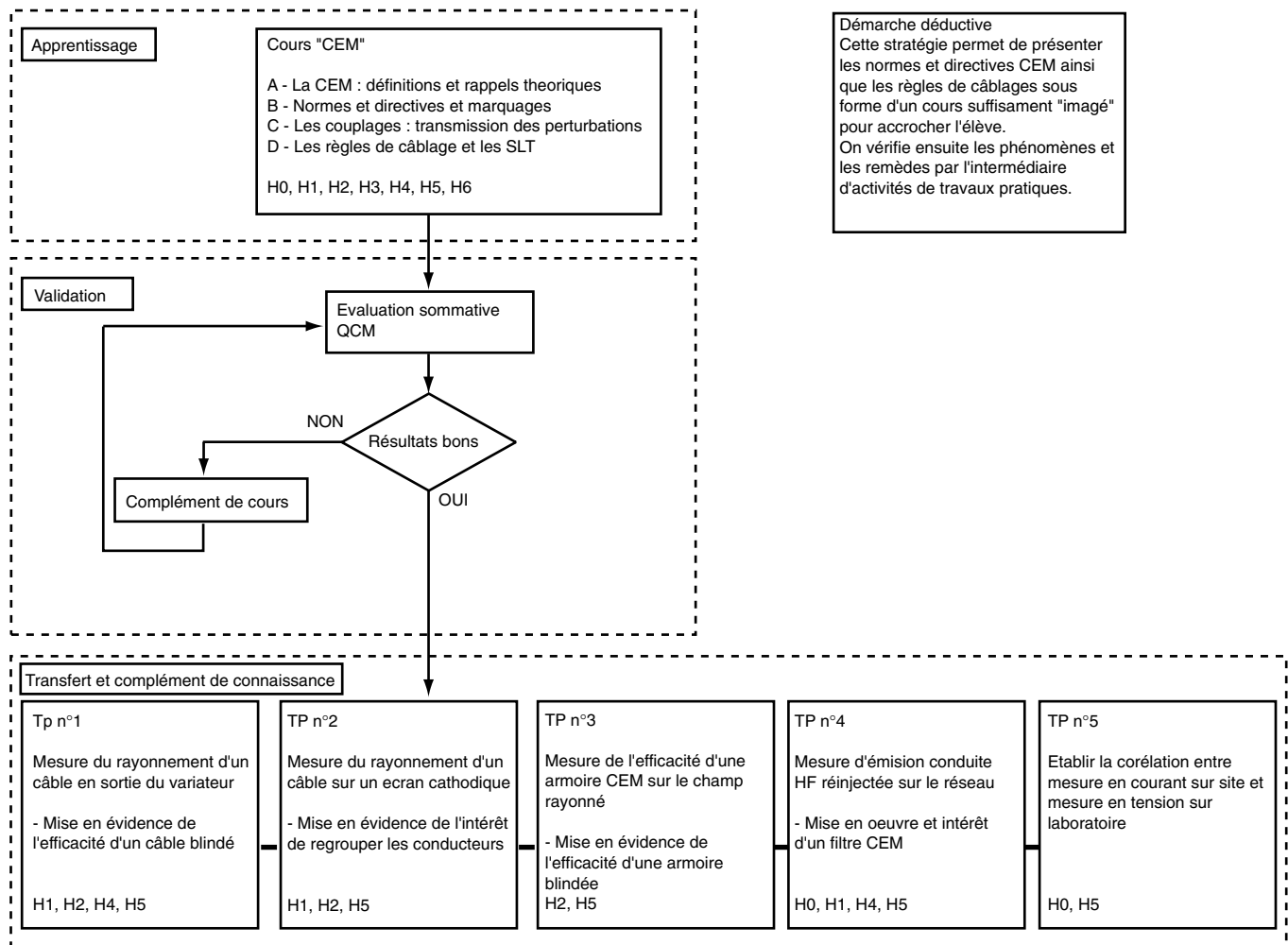
			H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Niveau 1	Information, compréhension du sujet ...	Connaissance	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>
Niveau 2	Expression, maîtrise du savoir	Compréhension			<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Niveau 3	Maîtrise d'un outil, d'un savoir faire	Application		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Niveau 4	Maîtrise méthodologique d'un démarche	Analyse				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		Synthèse						<input type="checkbox"/>	
		Evaluation							<input type="checkbox"/>

Harmoniques	Etude des charges d'éclairages	TP n°1					○	○	
	Normes et réglementation	Cours	○	○					
	La distribution : effet sur les composants	TD	○			○			○
	Etudes des remèdes	TP n°2	○		○		○	○	○
	Harmoniques et capa. de $\cos \varphi$	TP n°3	○			○	○	○	○
	Impédance de source	TP n°4	○		○			○	
CEM	La C.E.M.	Cours 1							○
	Les normes et directives	Cours 2	○					○	
	Les couplages	Cours 3			○	○	○		
	Les règles de câblage et les SLT	Cours 4		○		○			
	Rayonnement d'un câble	TP n°1		○	○		○	○	
	Influence du rayonnement d'un câble	TP n°2		○	○			○	
	Efficacité d'une armoire CEM	TP n°3		○				○	
	Mesure d'émission conduite	TP n°4	○	○			○	○	
	Corrélation Site/Laboratoire	TP n°5	○					○	

C- Développement de la stratégie pédagogique Harmoniques



D- Développement de la stratégie pédagogique CEM



2

Chapitre

Cours et TP «Harmoniques»

Titre	page
2.1 TP 1 : Étude de différentes charges d'éclairage	17
2.2 Harmoniques : cours de synthèse	47
2.3 Évaluation harmoniques : QCM	58
2.4 TD : Étude des perturbations harmoniques sur la distribution (l'éclairage)	59
2.5 TP 2 : Étude des remèdes	69
2.6 TP 3 : Étude «Harmoniques et compensation d'énergie réactive»	129
2.7 TP 4 : Influence de l'impédance de source sur le taux de distorsion en tension	145

2.1 TP 1 : Étude de différentes charges d'éclairage

Étude des phénomènes harmoniques

Lieu
d'activité

Laboratoire d'essai de
système

Apprentissage

Conditions de
réalisation

■ Sécurité

L'enseignant doit énoncer de manière explicite les consignes de sécurités.

Pour réduire au maximum les risques d'origine électrique :

- ☐ Tous les points de mesure sont accessibles sur le coté de l'armoire par bornes de sécurité.
- ☐ Le raccordement des appareils de mesure doit être réalisé exclusivement par des cordons de sécurité.

■ Matériels et documents utilisés

- ☐ Le système «Banc d'étude des perturbations des réseaux électriques CEM et Harmoniques»,
- ☐ Le dossier technique du système,
- ☐ Un analyseur d'harmoniques.

■ Pré-requis

- ☐ Sensibilisation du risque électrique.

Conditions de
mesure


■ Configuration du système

- ☐ Raccorder le câble d'alimentation de la partie opérative sur l'armoire principale.
- ☐ Utiliser des cordons de sécurité pour raccorder l'analyseur harmonique aux bornes U1, permettant la mesure de la tension réseau.
- ☐ Remplacer un des cavaliers I1 (phase ou neutre) par le cordon «10 spires» fourni pour permettre la mise en place de la pince TI de l'analyseur harmonique et réaliser la mesure du courant réseau.
- ☐ Agir sur les commutateurs C1 à C4 correspondants aux différentes charges d'éclairage.

Objectif de
l'activité

- ☐ Acquérir le vocabulaire, les notions et les définitions importantes liées à l'étude des phénomènes harmoniques au travers de l'étude des charges d'éclairage.
- ☐ H4 : Identifier les différents pollueurs et victimes de l'installation.
- ☐ H5 : Proposer un protocole d'investigation et de mesures sur site.

■ Abréviations d'écran

Ecran d'utilisation	Nom et description
° 	Angle de phase (en degrés)
A RMS	Ampérage efficace (y compris la composante continue)
A PK	Ampérage crête (1/2 de la valeur crête à crête)
A DC	Ampérage en courant continu
A HM	Ampérage efficace des harmoniques Pour un oscillogramme en courant, A HM exprime le courant harmoniques total présent.
A LEAD	Ampère précède Volts Evidence d'une réactance capacitive dans le système : l'oscillogramme de courant précède l'oscillogramme de tension
A LAG	Ampères suit les Volts Evidence d'une réactance inductive dans le système , l'oscillogramme de courant apparaît après l'oscillogramme de tension.
CF	Facteur de crête Rapport entre les valeurs crêtes et les valeurs efficaces.
V PK	Tension de crête (1/2 de la valeur de crête à crête)
V DC	Volts en continu
V HM	Volts harmoniques efficaces Pour un oscillogramme en tension, exprime la tension harmoniques totale présente.
VA, KVA	Volts ampères ou kilovolts ampères Puissance apparente - Valeur que le mesureur calcule en multipliant l'intensité efficace par la tension efficace
VAR, KVAR	Volts ampères ou kilovolts ampères reactifs La puissance réactive, composante de la fréquence fondamentale.
W, KW	Puissance active Puissance moyenne dissipée (ou puissance réelle)
DPF	Facteur de déplacement de puissance Rapport entre la puissance active (W) et la puissance apparente (VA efficace) à fréquence fondamentale. Equivalent à $\cos \phi$.
Hz	Fréquence en Hertz
KF	Facteur K modèle 4I) Rapport de transformation pour le calcul de tolérance des Harmoniques.
PF	Facteur de puissance Rapport entre la puissance active et la puissance apparente (y compris les harmoniques).
% THD-F	Distorsion harmoniques totale (en % de la fondamentale) Définit le niveau de distorsion harmoniques en % par rapport à l'oscillogramme de fréquence fondamentale.
% THD-R	Distorsion harmoniques totale (en % de la puissance efficace totale) Définit le niveau de distorsion harmoniques en % de la valeur efficace des oscillogrammes a toutes les fréquences (fondamentales et harmoniques).
V RMS	Volts efficaces (incluant la composante continue)

A- Relevé sur gradateur pleine charge**Les fondamentaux**

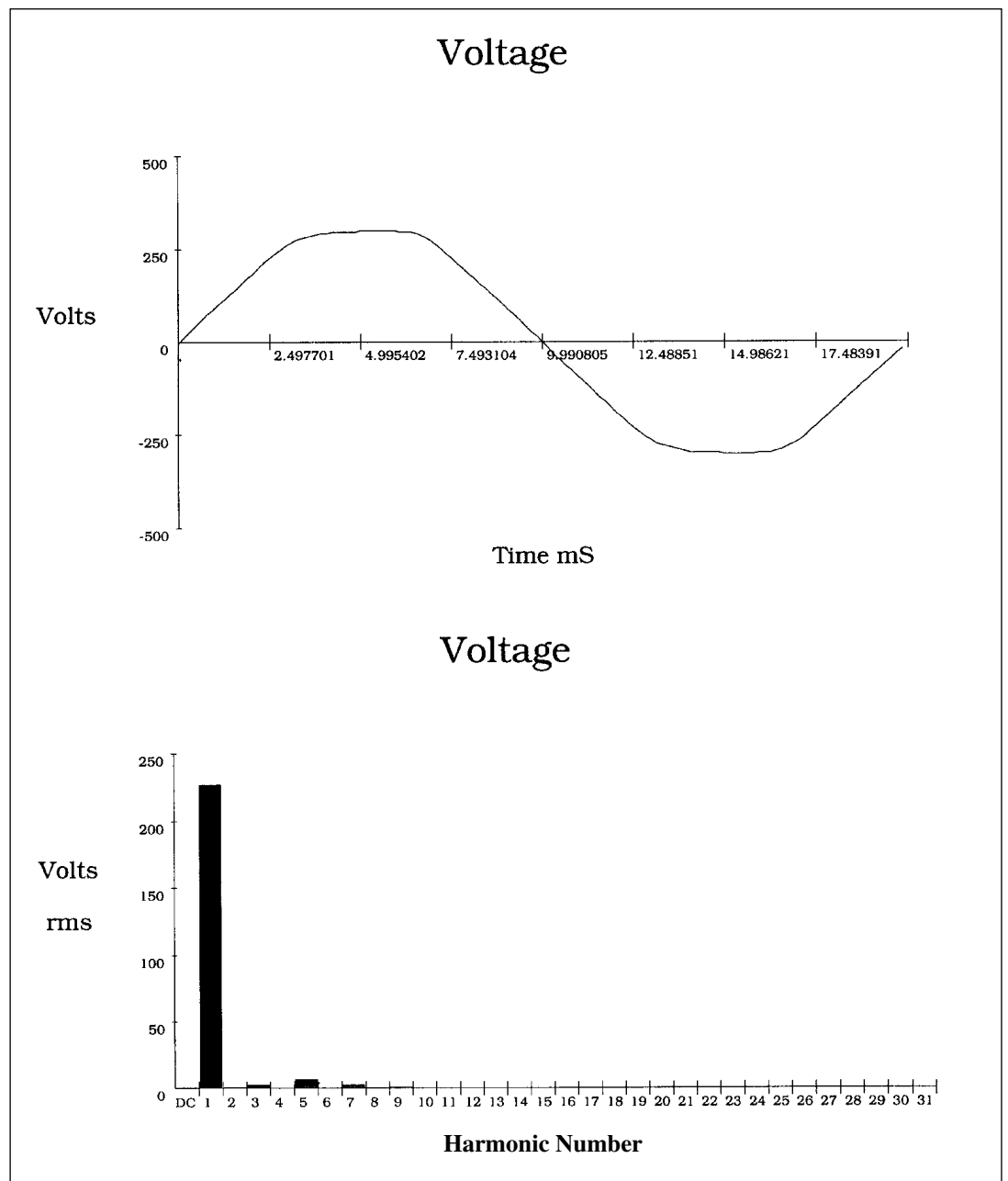
- ☐ Notion de charge linéaire, de facteur de déformation FD et de pollution TDH.
- ☐ Notion de valeurs efficaces.
- ☐ Notion de facteur de puissance FP, de déphasage $\cos \varphi$ et de facteur de crête.

Mesure

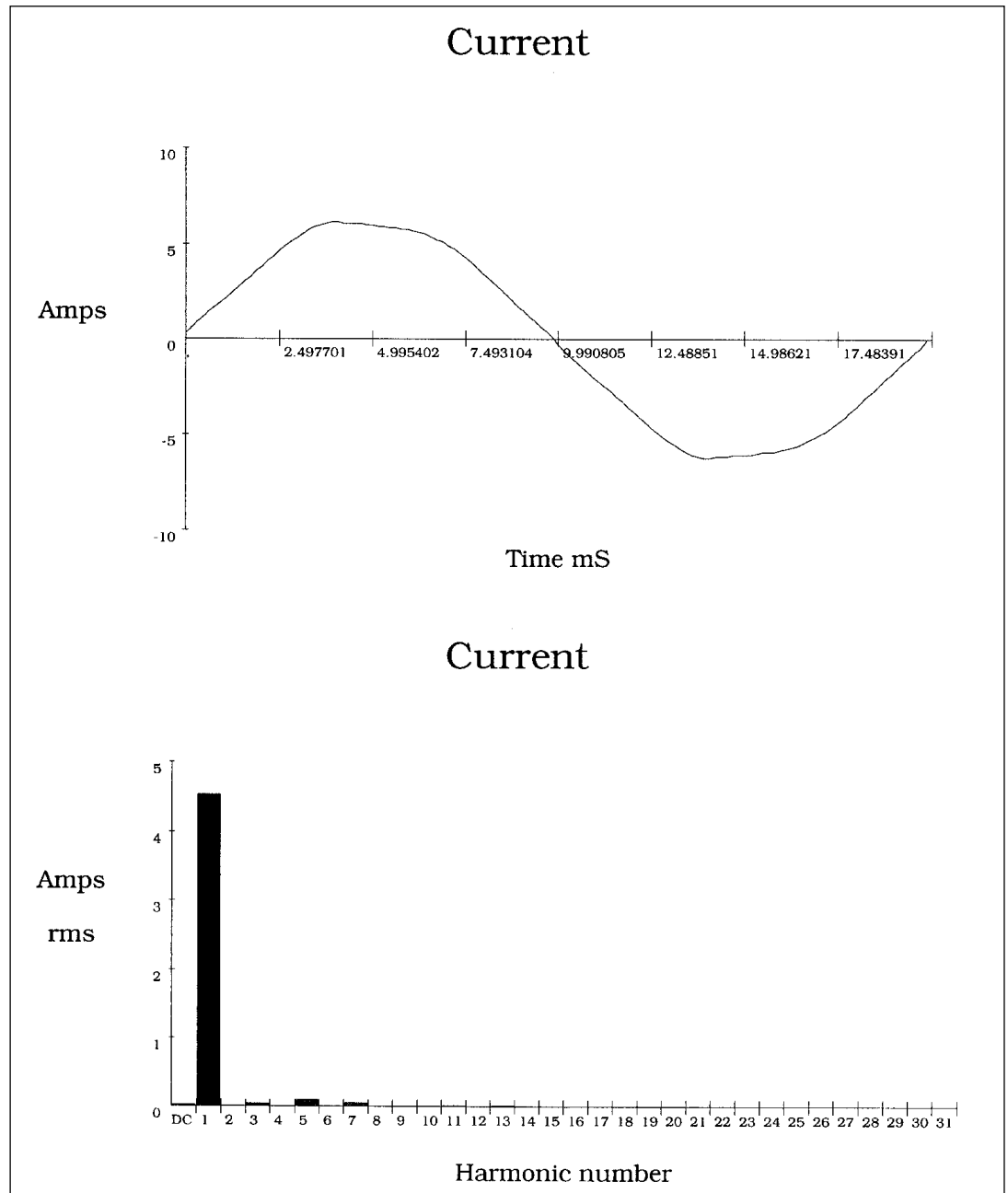
- ☐ Mesurer en toute sécurité, à l'aide d'un analyseur d'harmoniques, les paramètres de l'alimentation en énergie électrique du coffret aux points de mesure U1 I1.

L'analyseur nous offre de nombreuses mesures, nous nous limiterons aux valeurs suivantes :

- TDH pour le taux de distorsion de tension et de courant (THD Fund),
- le courant efficace (IRMS),
- H1 pour le fondamental,
- le Facteur de Puissance (PF),
- le $\cos \varphi$ (DPF),
- le facteur de crête (CF),
- la puissance active (KW),
- la puissance apparente (KVA).
- Ainsi qu'aux allures de la tension, du courant, de la puissance et de leur spectre harmonique.



- ☐ Mesure en U1 «tension réseau».
- ☐ On constate que la tension réseau est pratiquement parfaite.
- ☐ Son allure est sinusoïdale.
- ☐ Son spectre se résume au fondamental.



- ☐ Mesure en I1 avec cordon 10 spires.
- ☐ Charge : gradateur Halogène à pleine charge.
- ☐ Lampe halogène 100W.
- ☐ On constate que le courant appelé par cette charge est pratiquement parfait.
- ☐ Son allure est sinusoïdale.
- ☐ Son spectre se résume au fondamental.

Readings - 12/24/98 10:07:10

Summary Information

		Voltage		Current	Record Information			
		RMS			Max	Average	Min	
Frequency	50,0	227		4,54	V RMS			
Power		Peak	313	6,34	A RMS			
KW	1,03	DC Offset	0	-0,03	V Peak			
KVA	1,03	Crest	1,37	1,4	A Peak			
KVAR	0,05	THD Rms	2,9	2,9	V THD-R%			
Peak KW	1,99	THD Fund	2,9	2,9	A THD-R%			
Phase	3° lead	HRMS	7	0,13	KWatts			
Total PF	1,00	KFactor		1,0	KVAR			
DPF	1,00				TPF			
					DPF			
					Frequency			

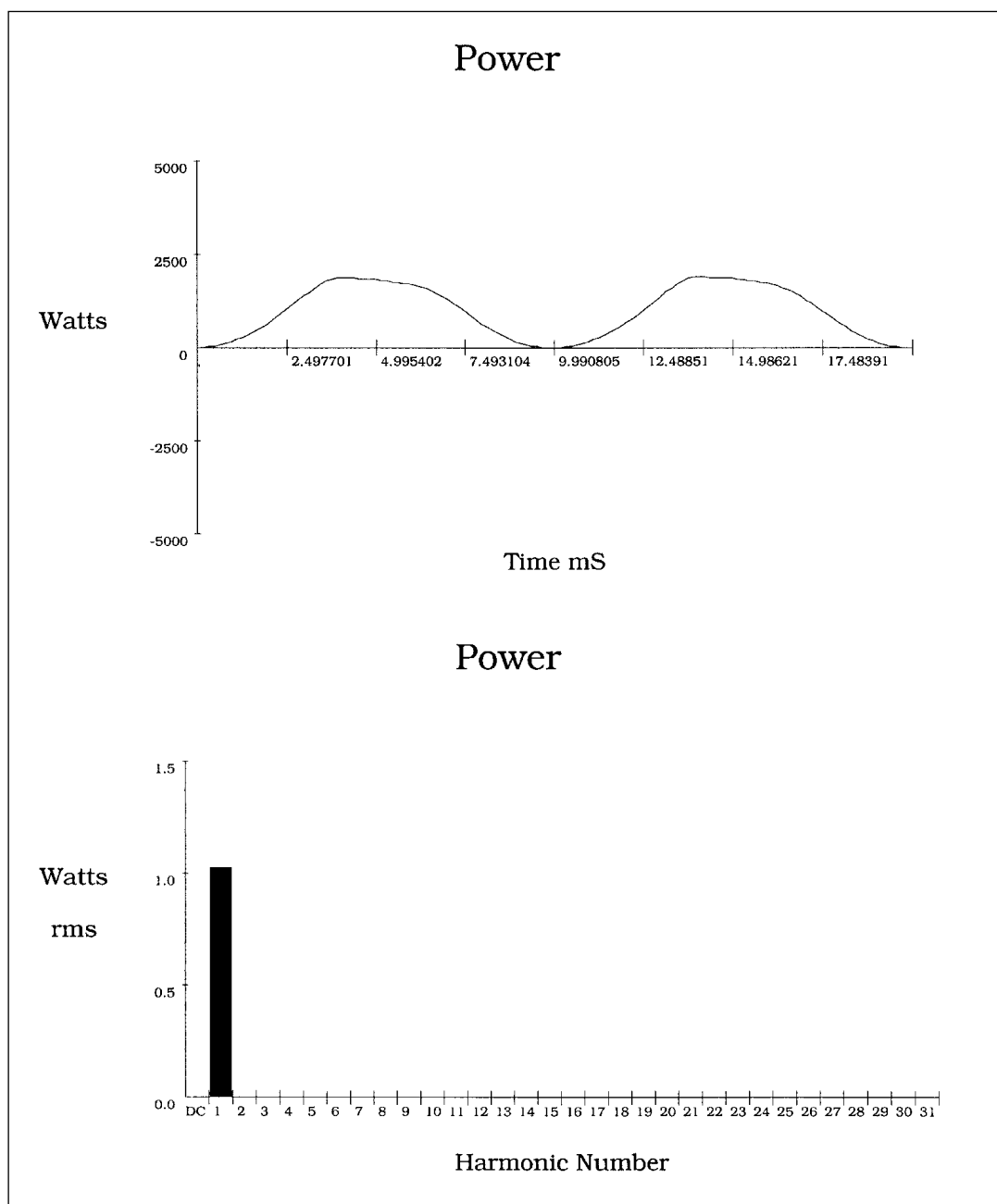
Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,2	0	0,02	0,6	0	0,00
1	50,0	227	100,1	0	4,53	100,5	3	1,03
2	100,1	1	0,4	28	0,02	0,3	30	0,00
3	150,1	1	0,3	-133	0,04	1,0	-76	0,00
4	200,2	0	0,2	-24	0,01	0,2	-28	0,00
5	250,2	6	2,6	158	0,11	2,4	152	0,00
6	300,3	0	0,1	39	0,00	0,1	55	0,00
7	350,3	2	1,0	-9	0,05	1,2	-6	0,00
8	400,4	0	0,1	94	0,00	0,1	106	0,00
9	450,4	0	0,2	-92	0,01	0,2	-57	0,00
10	500,5	0	0,0	32	0,00	0,0	22	0,00
11	550,5	0	0,2	49	0,02	0,3	35	0,00
12	600,6	0	0,0	75	0,00	0,0	105	0,00
13	650,6	0	0,2	-42	0,01	0,3	-20	0,00
14	700,6	0	0,0	80	0,00	0,0	75	0,00
15	750,7	0	0,1	-135	0,00	0,0	-91	0,00
16	800,7	0	0,0	-91	0,00	0,0	27	0,00
17	850,8	0	0,1	33	0,01	0,2	22	0,00
18	900,8	0	0,0	0	0,00	0,0	41	0,00
19	950,9	0	0,1	-108	0,00	0,0	-53	0,00
20	1000,9	0	0,0	170	0,00	0,0	161	0,00
21	1051,0	0	0,0	162	0,00	0,1	77	0,00
22	1101,0	0	0,0	-60	0,00	0,0	60	0,00
23	1151,1	0	0,0	72	0,00	0,1	74	0,00
24	1201,1	0	0,0	-157	0,00	0,0	174	0,00
25	1251,2	0	0,0	-117	0,00	0,0	63	0,00
26	1301,2	0	0,0	49	0,00	0,0	74	0,00
27	1351,2	0	0,0	33	0,00	0,1	17	0,00
28	1401,3	0	0,0	95	0,00	0,0	-167	0,00
29	1451,3	0	0,0	-4	0,00	0,1	13	0,00
30	1501,4	0	0,0	-127	0,00	0,0	50	0,00
31	1551,4	0	0,0	180	0,00	0,1	94	0,00

- ☐ Mesure en U111 charge «gradateur pleine charge».
- ☐ Utilisation du cordon 10 spires.
- ☐ Les valeurs de $\cos \varphi$ et FP permettent de définir que la charge est résistive.
- ☐ On retrouve bien un rapport de $\sqrt{2}$ entre valeurs efficaces et maximales.
- ☐ La gradation pleine charge constitue une charge linéaire non polluée.

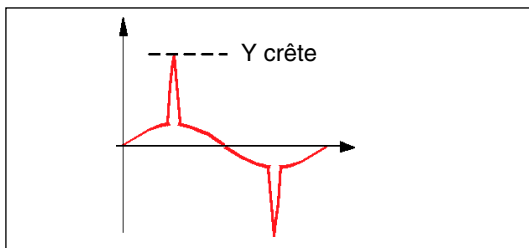
Étude des
phénomènes
harmoniquesTP 1 : Étude de différentes charges
d'éclairage

5/28



- ☐ Mesure en U111.
- ☐ Charge : gradateur halogène à pleine charge.
- ☐ Lampe halogène 100W.
- ☐ La charge étant résistive, la puissance est toujours positive, U/I en phase.
- ☐ Puissance fondamentale seule.

Exploitation des relevés



1 - Placer sur les allures tension et courant les valeurs «max» et tracer les valeurs efficaces.

■ Notion de facteurs de crête FC

Selon la définition donnée par la CEI, c'est le rapport de la valeur de crête à la valeur efficace d'une grandeur périodique.

$$FC = Y_{\text{crête}} / Y_{\text{eff}}$$

2 - Comment s'appelle la forme de la tension et du courant ? Quel est le facteur de crête ? Se rapproche-t-il d'une valeur connue ?

Allure sinusoïdale, le facteur de crête (Crest) est de 1,41 en courant soit $\sqrt{2}$.

■ Notion de facteurs de puissance FP et de facteur de déphasage.

Selon la CEI, le facteur de puissance est le rapport de la puissance active P à la puissance apparente S :

$$FP = P / S$$

Ce facteur de puissance ne doit pas être confondu avec le facteur de déphasage $\cos \varphi$ qui représente le cosinus de l'angle entre les composantes fondamentales (sinusoïdales de fréquence f) de la tension et du courant.

3 - Existe-t-il une différence entre le Facteur de Puissance et le $\cos \varphi$ pour cette charge ?

$FP = 1$; $\cos \varphi = 1$ il n'existe pas de différence entre le facteur de puissance et le facteur de déphasage.

☐ Quel est le type de charge ? (capacitive, résistive, selfique)

Les allures sont caractéristiques d'une charges résistive.

■ Notion de facteur de déformation FD

Selon la norme CEI, il permet de définir le lien entre le facteur de puissance FP et le $\cos \varphi$:

$$FD = FP / \cos \varphi$$

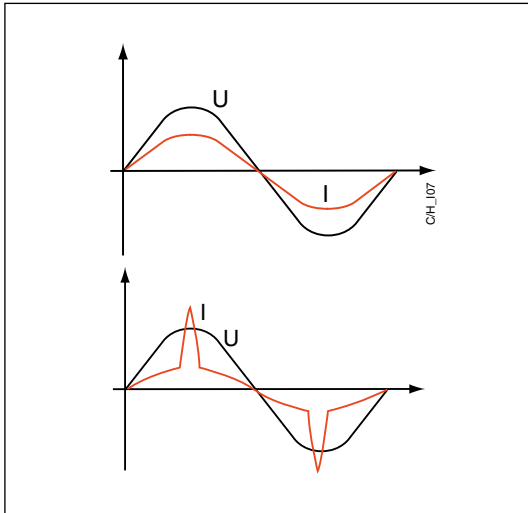
FD traduit la déformation du signal par rapport à la sinusoïde, il donne une image du contenu harmonique.

4 - Quel est le facteur de déformation de cette charge ?

$FD = 1$, cette charge ne déforme pas elle demande un courant sinusoïdal.

Étude des
phénomènes
harmoniquesTP 1 : Étude de différentes charges
d'éclairage

7/28



■ Notion de charge Linéaire

□ Une charge est dite linéaire si le courant qu'elle absorbe est sinusoïdal lorsqu'elle est alimentée par une tension sinusoïdale.

□ Une charge est dite non linéaire si le courant qu'elle absorbe n'est pas sinusoïdal lorsqu'elle est alimentée par une tension sinusoïdale.

5 - Cette lampe à incandescence est-elle une charge linéaire ?

Le gradateur pleine charge est une charge linéaire.

■ Notion de pollution

Le TDH représente la déformation en % du signal en tension ou en courant. il est significatif de la pollution d'une installation.

6 - Apprécier les valeurs TDHu et TDHi. Cette lampe à incandescence est-elle une charge polluante ?

$TDHu = 2,9 \% ; TDHi = 2,9 \%$

Ces niveaux de pollution sont faibles, cette charge n'est pas polluante.

Ces valeurs traduisent la qualité du réseau d'alimentation.

7 - Comparer les valeurs IRMS et IH1.

$IRMS = 0,454A ; IH1 = 0,454A$

Les deux valeurs sont égales.

**B - Relevés sur la lampe fluo compact ou bal-
last électronique****Les nouveaux outils
indispensables**

☐ Notion de charge non linéaire : une charge est dite non linéaire si le courant qu'elle absorbe n'est pas sinusoïdal lorsqu'elle est alimentée par une tension sinusoïdale.

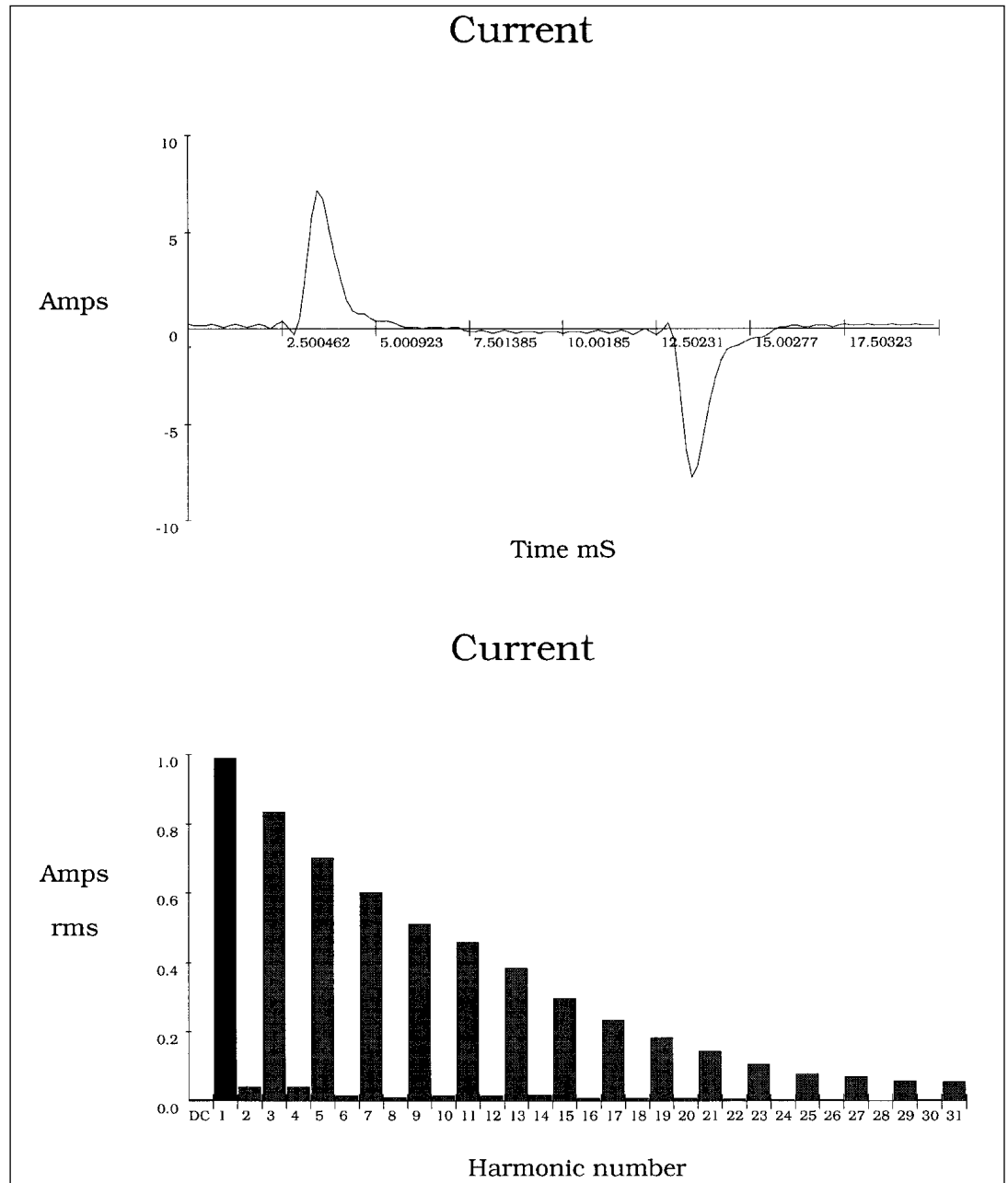
☐ Introduction de la décomposition d'un signal «fourrier», de spectre, de taux de distorsion, de $\cos \varphi$ et de facteur de déformation. Faire le lien entre distorsion de courant engendré par le récepteur, transformé par l'impédance de source en distorsion de tension.

Mesures

☐ Utilisation du coffret de charges :

☐ Mesurer en toute sécurité, à l'aide d'un analyseur d'harmoniques, les paramètres de l'alimentation en énergie électrique du coffret aux points de mesure U1 I1.

- TDH pour le taux de distorsion de tension et de courant par rapport au fondamental (THD Fund),
- le courant efficace (IRMS),
- H1 pour le fondamental,
- le Facteur de Puissance (PF),
- le $\cos \varphi$ (DPF),
- le facteur de crête (CF),
- la puissance active (KW),
- la puissance apparente (KVA).
- Ainsi qu'aux allures de la tension, du courant, de la puissance et de leur spectre harmonique.



- ☐ Mesure en I1 avec un cordon 10 spires.
- ☐ Charge : lampe à ballast électronique 23W.
- ☐ On constate que le courant appelé est impulsionnel et s'éloigne fortement d'une sinusoïdale.
- ☐ Le spectre qui lui est associé est donc très riche.

Readings - 12/24/98 09:57:26

Summary Information

		Voltage		Current		Record Information		
						Max	Average	Min
Frequency	50,0	RMS	228	1,85	V RMS			
Power		Peak	315	7,61	A RMS			
KW	0,20	DC Offset	0	-0,01	V Peak			
KVA	0,42	Crest	1,38	4,12	A Peak			
KVAR	0,11	THD Rms	2,4	84,2	V THD-R%			
Peak KW	2,33	THD Fund	2,4	156,3	A THD-R%			
Phase	30° lead	HRMS	6	1,55	KWatts			
Total PF	0,48	KFactor		**OL**	KVAR			
DPF	0,86				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,0	0	0,01	0,3	0	0,00
1	50,0	228	100,0	0	0,99	53,9	30	0,20
2	100,0	1	0,4	39	0,04	2,3	163	0,00
3	150,0	1	0,2	-128	0,83	45,4	-111	0,00
4	200,0	1	0,3	-31	0,04	2,2	-11	0,00
5	250,0	5	2,1	161	0,70	38,2	122	0,00
6	299,9	0	0,1	82	0,02	0,8	-179	0,00
7	349,9	2	1,1	-19	0,60	32,7	-4	0,00
8	399,9	0	0,0	66	0,01	0,7	159	0,00
9	449,9	0	0,2	-91	0,51	27,8	-127	0,00
10	499,9	0	0,0	77	0,02	0,9	14	0,00
11	549,9	0	0,2	39	0,46	24,9	110	0,00
12	599,9	0	0,0	-129	0,02	0,9	-101	0,00
13	649,9	0	0,2	-72	0,38	20,9	-17	0,00
14	699,9	0	0,0	87	0,02	1,0	124	0,00
15	749,9	0	0,1	-160	0,30	16,2	-138	0,00
16	799,9	0	0,0	-129	0,01	0,5	-10	0,00
17	849,8	0	0,1	10	0,23	12,8	104	0,00
18	899,8	0	0,0	-62	0,01	0,5	-93	0,00
19	949,8	0	0,1	-120	0,18	10,0	-15	0,00
20	999,8	0	0,0	136	0,01	0,5	123	0,00
21	1049,8	0	0,0	142	0,14	7,8	-131	0,00
22	1099,8	0	0,0	-77	0,01	0,4	-25	0,00
23	1149,8	0	0,0	31	0,11	5,8	115	0,00
24	1199,8	0	0,0	-173	0,01	0,3	-141	0,00
25	1249,8	0	0,1	-161	0,08	4,2	11	0,00
26	1299,8	0	0,0	91	0,01	0,3	89	0,00
27	1349,8	0	0,0	73	0,07	3,9	-93	0,00
28	1399,7	0	0,0	143	0,00	0,1	-37	0,00
29	1449,7	0	0,0	-34	0,06	3,3	159	0,00
30	1499,7	0	0,0	49	0,00	0,3	176	0,00
31	1549,7	0	0,0	-92	0,06	3,1	53	0,00

☐ Mesure en U111, charge : lampe à ballast électronique 23W.

☐ On constate que les valeurs $\cos \varphi$ et FP sont très différentes et que le facteur de crête de courant est très largement supérieur à $\sqrt{2}$.

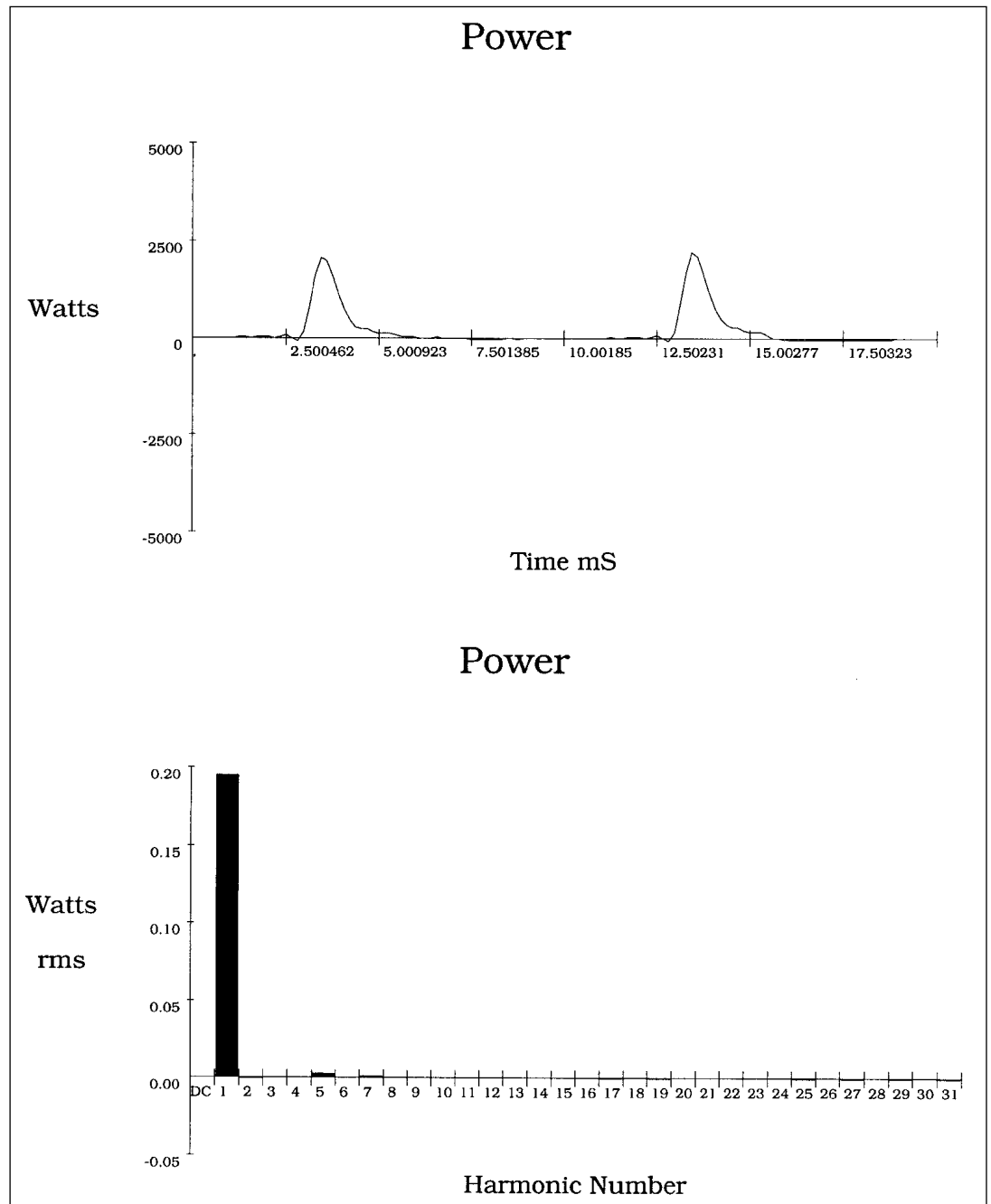
☐ Le taux de distorsion en courant est très important et traduit bien l'allure impulsionnel de ce dernier.

☐ Le taux de distorsion en tension ne s'est pas dégradé, le ratio puissance charge/puissance réseau est beaucoup trop faible pour le faire évoluer.

☐ La lampe à ballast électronique est une charge non linéaire polluante.

Étude des
phénomènes
harmoniquesTP 1 : Étude de différentes charges
d'éclairage

11/28



- ❑ Mesure en U111, charge : lampe à ballast électronique 23W.
- ❑ Malgré un spectre de courant riche, le spectre de puissance se résume au fondamental comme celui de la tension car la tension est sinusoïdale donc seule la puissance du fondamental est maintenue.

1 - Le courant est-il toujours sinusoïdal ? Commenter l'évolution de FP, du $\cos \varphi$ et de FD.

Le courant n'est plus sinusoïdal, mais il reste périodique et d'allure impulsionnelle.

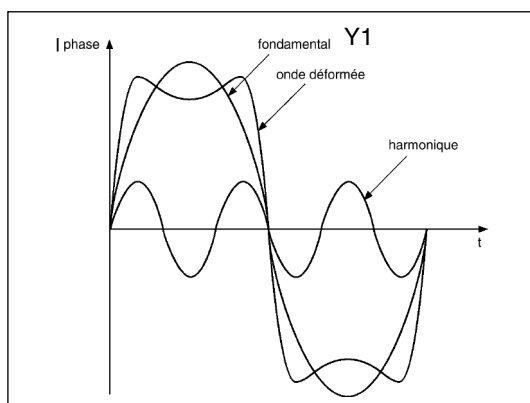
	Gradateur pleine charge	Fluo compact
FP	1	0,48
$\cos \varphi$	1	0,86
FD	1	0,56

- $FP \neq \cos \varphi$
- FD traduit un signal très déformé.

2 - Cette lampe fluo-compact est-elle une charge linéaire ?

Cette charge n'est pas linéaire, le courant n'est pas sinusoïdal.

Note Pour étudier les courants non sinusoïdaux, il est nécessaire de faire un rappel sur les grandeurs électriques en présence d'harmoniques.



■ Décomposition harmonique d'une fonction périodique

Le théorème de Fourier indique que toute fonction périodique non sinusoïdale peut être représentée sous la forme d'une somme de termes (série) qui est composée :

- ☐ d'un terme sinusoïdal à la fréquence fondamentale Y1 (fondamental),
- ☐ de termes sinusoïdaux dont les fréquences sont des multiples entiers de la fondamentale Yn (harmoniques),
- ☐ d'une éventuelle composante continue.

La formule correspondant à la décomposition harmonique d'une fonction périodique est la suivante :

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

- Y_0 : valeur de la composante continue,
- Y_1 : valeur efficace du fondamental,
- Y_n : valeur efficace de l'harmonique de rang n,
- ω : pulsation de la fréquence fondamentale, φ_n : déphasage de la composante harmonique à $t = 0$.

■ Valeur efficace d'une grandeur alternative non sinusoïdale

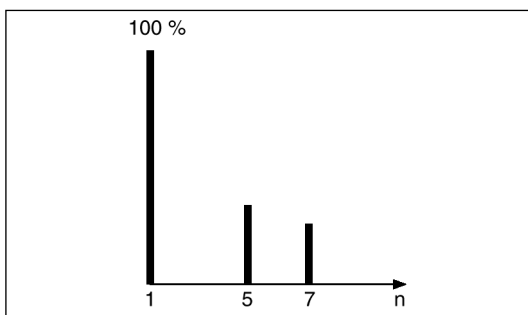
La valeur efficace de la grandeur déformée conditionne les échauffements, donc habituellement les grandeurs harmoniques sont exprimées en valeurs efficaces.

Pour une grandeur sinusoïdale, la valeur efficace est la valeur maximale divisée par racine de deux.

Pour une grandeur déformée et, en régime permanent, l'énergie dissipée par effet JOULE est la somme des énergies dissipées par chacune des composantes harmoniques, soit l'application de la formule générale

$$Y_{\text{eff.}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} \quad \text{donne avec la représentation harmonique :}$$

$$Y_{\text{eff.}} = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n^2}$$



■ «Taux individuel» et spectre : Il donne une mesure de l'importance de chaque harmonique par rapport au fondamental.

Le taux individuel est le rapport de la valeur efficace de l'amplitude de l'harmonique de rang n à celle du fondamental.

Ceci permet de définir le «spectre» Harmonique du signal sous forme de barre-graphe dont l'amplitude est souvent donnée relative à celle du fondamental.

3 - Comparer les valeurs I RMS et IH1.

$$I_{\text{RMS}} = 0,185A ; I_{H1} = 0,099A.$$

Les deux valeurs ne sont plus égales

4 - Comparer la richesse des spectres de courant du gradateur pleine charge et du fluo-compact ?

Le spectre du fluo-compact est beaucoup plus riche.

5 - Comment calculer Ieff connaissant le spectre Harmonique du courant ?

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{I_{H1}^2 + I_{H2}^2 + \dots + I_{Hn}^2} = 0,185A$$

6 - Calculer la puissance active absorbée par la lampe fluo-compact.

$$P = U_{eff}.I_{eff}.FP = U_{H1}.I_{H1}.cos \varphi = 20W$$

7 - Commenter l'allure du spectre de puissance.

La puissance active est la somme des puissances actives dues aux tensions et courants de même rang.

Dans notre cas, malgré un spectre de courant très riche, la puissance active ne transite que par le fondamental.

Ceci s'explique par la tension qui est sinusoïdale, donc uniquement composé du fondamental.

$$P = U_{H1}.I_{H1}.cos\varphi_1 + U_{H2}.I_{H2}.cos\varphi_2 + \dots + U_{Hn}.I_{Hn}.cos\varphi_n \text{ avec } U_{H2} = 0 \dots U_{Hn} = 0.$$

■ Notion de Taux de distorsion

Il donne une mesure de l'influence thermique de l'ensemble des harmoniques ; c'est le rapport de la valeur efficace des harmoniques à celle de la valeur efficace du fondamental seul ou de la grandeur mesurée.

Taux de distorsion (selon définition donnée par le dictionnaire CEI)

Ce paramètre, appelé encore distorsion harmonique ou facteur de distorsion, représente le rapport de la valeur efficace des harmoniques ($n \geq 2$) à celle de la valeur efficace du fondamental Y_1 .

$$TDH\% = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} Y_n^2}}{Y_1}$$

8 - Que traduisent les valeurs de TDHFund de cette charge ?

TDHu = 2,4%, la tension n'est pas déformée.

TDHi = 156,3%, le courant est très déformé.

La lampe fluo-compact qui impose ce courant est donc une charge polluante.

C- Relevé pour l'ensemble des charges

Etude comparative des
différentes charges

Mesure

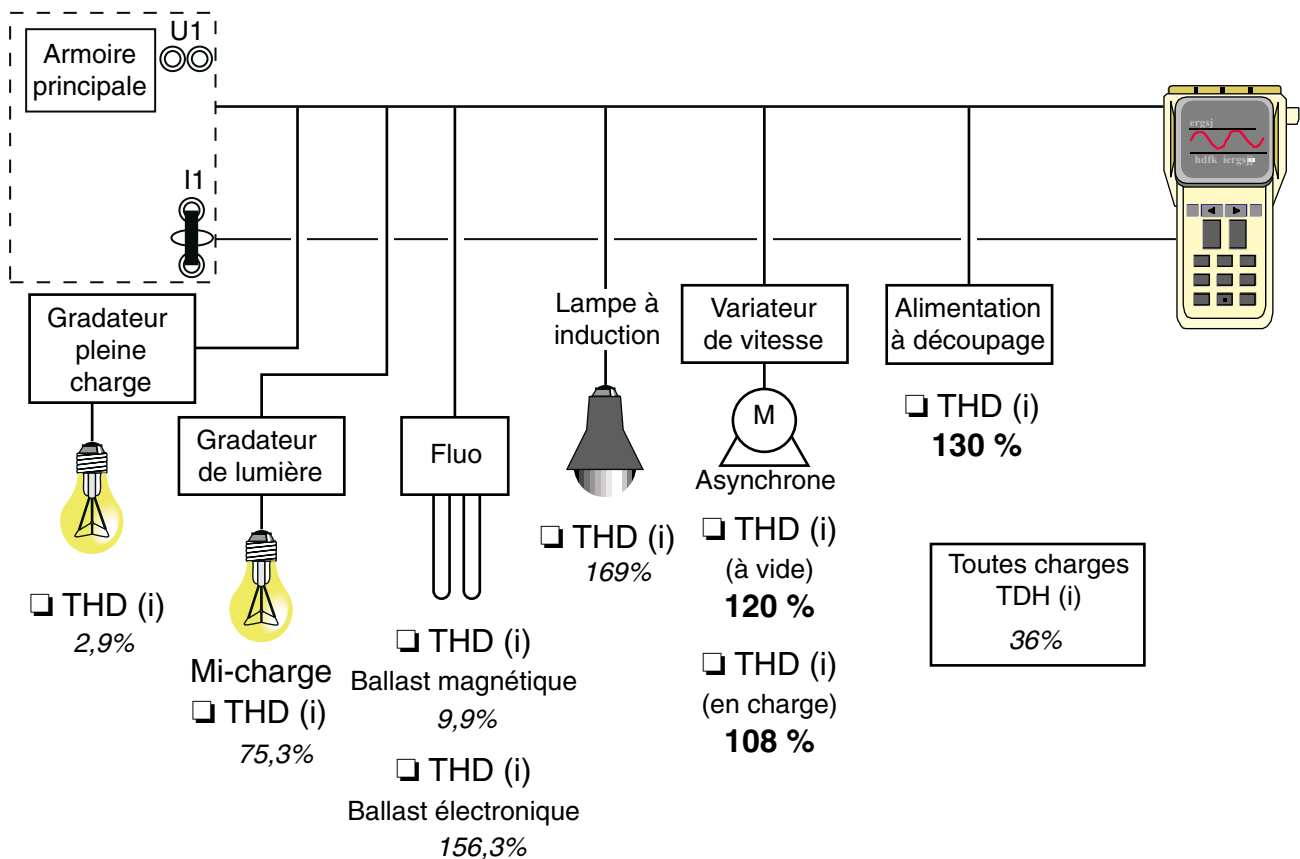
☐ Notion de puissance mise en jeu

☐ Utilisation du coffret de charges :

☐ Mesurer en toute sécurité, à l'aide d'un analyseur d'harmoniques, les paramètres de l'alimentation en énergie électrique du coffret aux points de mesure U1 I1.

- TDH pour le taux de distorsion de tension et de courant par rapport au fondamental (THD Fund),
- le courant efficace (IRMS), H1 pour le fondamental,
- le Facteur de Puissance (PF),
- le $\cos \varphi$ (DPF),
- le facteur de crête (CF),
- la puissance active (KW),
- la puissance apparente (KVA).
- Ainsi qu'aux allures de la tension, du courant, de la puissance et de leur spectre harmonique.

1 - Compléter la représentation suivante ainsi que le tableau récapitulatif.



Étude des
phénomènes
harmoniquesTP 1 : Étude de différentes charges
d'éclairage

16/28

	TDHu(%)	TDHi(%)	I _{eff} (A)	I _{H1} (A)	I _{H3} (A)	FP	Cos φ	FC	S(VA)	P(W)
Gradateur pleine charge 100W		2,9	0,454	0,453	0	1	1	1,4	100	100
Lampe à ballast magnétique 9W		9,9	0,174	0,173	0,16	0,37	0,36	1,56	40	15
Lampe à ballast électronique 23W		156,3	0,185	0,099	0,083	0,48	0,86	4,12	42	20
Lampe à induction 23W	2,6	169	0,175	0,088	0,073	0,45	0,86	4,35	40	18
Gradateur mi-charge 50W		75,3	0,387	0,277	0,174	0,65	0,81	2,39	79	51
Toutes les charges (gradateur mi-charge)		36,1	0,91	0,854	0,089	0,88	0,93	1,93	210	180

2 - Analyse des relevés

(cf commentaires sur les relevés effectués précédemment)

Nous constatons une déformation importante des courants sur les charges lampe à ballast électronique et lampe à induction ce qui donne d'après le théorème de Fourier un spectre important très riche en harmoniques donc un TDHi important et un facteur de puissance FP faible. Ces charges sont très polluantes mais leur faible puissance fait qu'elle ne perturbent pas notre installation.

Attention, bien que de faible puissance, ces appareils installés en très grand nombre et fonctionnant simultanément, ont des conséquences très importantes sur les niveaux d'harmoniques de rang 3, 5, 7, 11 et 13 qui apparaissent sur le réseau.

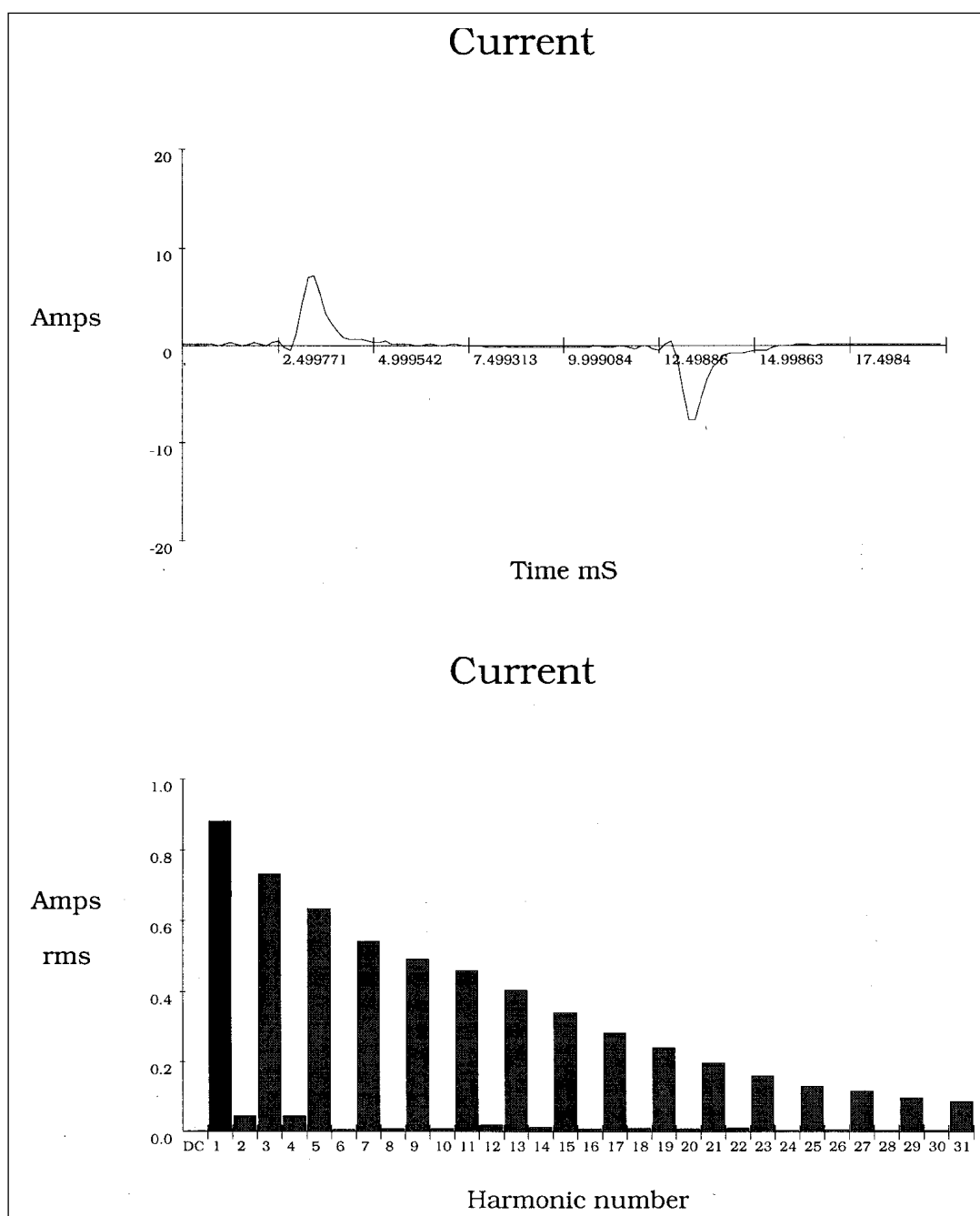
Les gradateurs sont des pollueurs identifiés car en général, les puissances sont de l'ordre de 0,5 à 1 kW.

Bien que le TDHi d'un gradateur est inférieur au TDHi d'une lampe à ballast électronique, ce qui importe c'est l'amplitude des courants harmoniques.

Les relevés «toutes les charges» mettent en évidence que le TDHi est de 36 % et le FP de 0,88.

Ceci met en évidence que les TDHi des différents pollueurs ne s'ajoutent pas algébriquement, et l'on obtient même une valeur bien plus faible que les trois pollueurs pris individuellement.

Pourquoi ? Les charges sont mises en parallèle par des longueurs de câble différentes, et sont toutes de natures spectrales différentes, l'addition des raies harmoniques n'est pas une somme algébrique mais vectorielle.



- ☐ Mesure en I1 avec cordon 10 spires.
- ☐ Charge : lampe à induction 23W.
- ☐ Spectre très riche.

Readings - 12/24/98 09:58:11

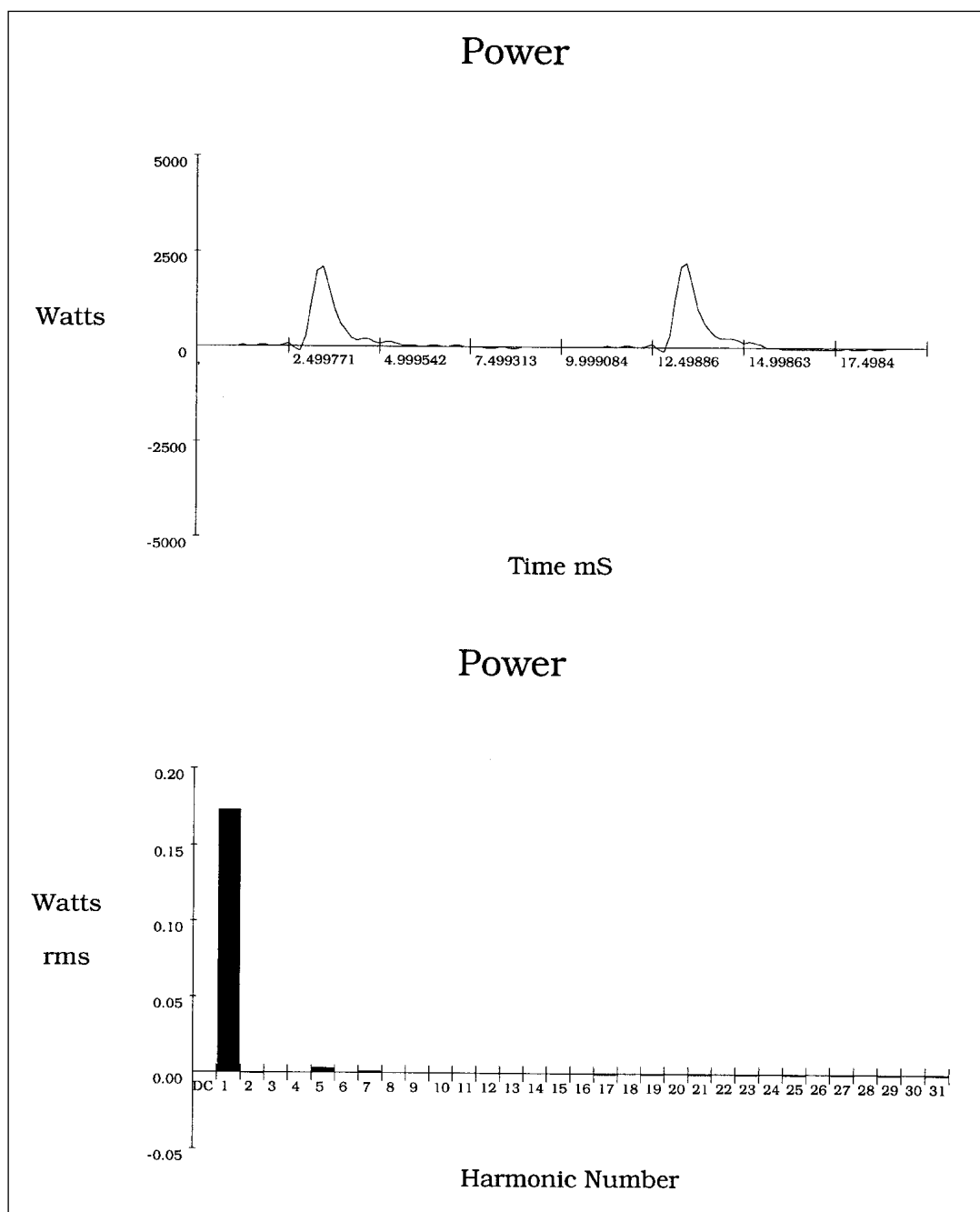
Summary Information

		Voltage		Current	Record Information			
		RMS	Peak		Max	Average	Min	
Frequency	50,0	229	314	1,75	V RMS			
Power		0	0	7,60	A RMS			
KW	0,18	DC Offset	1,37	4,35	V Peak			
KVA	0,40	Crest	2,9	86,1	A Peak			
KVAR	0,10	THD Rms	2,9	169,0	V THD-R%			
Peak KW	2,33	THD Fund	7	1,49	A THD-R%			
Phase	31° lead	HRMS			KWatts			
Total PF	0,45	KFactor			KVAR			
DPF	0,86				TPF			
					DPF			
					Frequency			

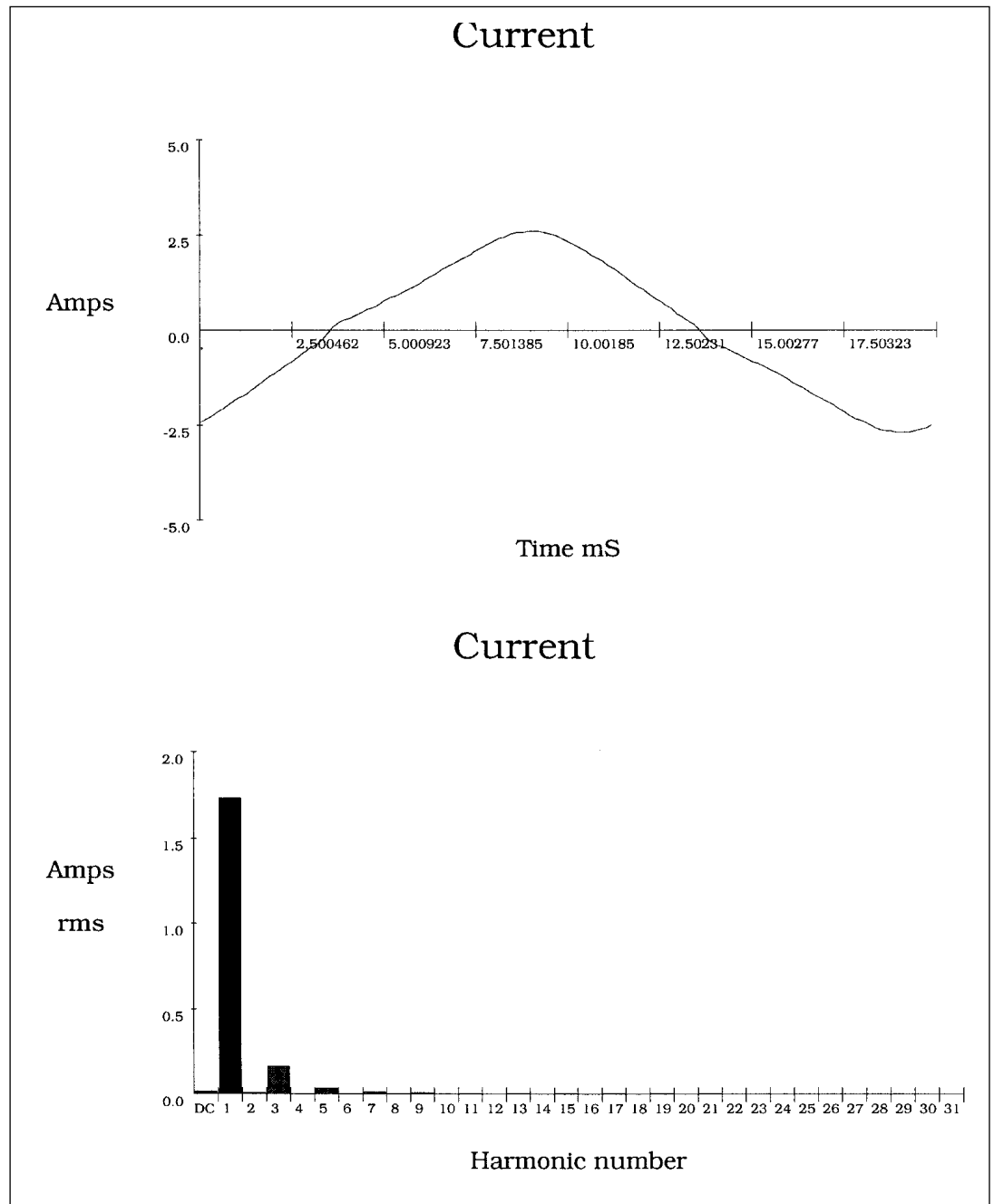
Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,1	0	0,00	0,2	0	0,00
1	50,0	229	100,0	0	0,88	50,6	31	0,17
2	100,0	1	0,3	37	0,05	2,6	165	0,00
3	150,0	1	0,3	-122	0,73	42,0	-105	0,00
4	200,0	1	0,3	-34	0,05	2,7	-16	0,00
5	250,0	6	2,6	158	0,63	36,4	132	0,00
6	300,0	0	0,1	71	0,01	0,4	180	0,00
7	350,0	2	1,0	2	0,54	31,1	11	0,00
8	400,0	0	0,1	65	0,01	0,6	158	0,00
9	450,0	0	0,1	-65	0,49	28,2	-108	0,00
10	500,0	0	0,0	76	0,01	0,6	43	0,00
11	550,1	0	0,2	49	0,46	26,4	131	0,00
12	600,1	0	0,0	-18	0,02	1,1	-82	0,00
13	650,1	0	0,2	-47	0,40	23,1	10	0,00
14	700,1	0	0,0	87	0,01	0,8	151	0,00
15	750,1	0	0,0	-129	0,34	19,5	-110	0,00
16	800,1	0	0,0	-25	0,01	0,6	65	0,00
17	850,1	0	0,1	25	0,28	16,2	133	0,00
18	900,1	0	0,0	-89	0,01	0,6	-66	0,00
19	950,1	0	0,1	-113	0,24	13,8	17	0,00
20	1000,1	0	0,0	44	0,01	0,6	177	0,00
21	1050,1	0	0,0	163	0,20	11,4	-101	0,00
22	1100,1	0	0,0	-27	0,01	0,7	41	0,00
23	1150,1	0	0,0	14	0,16	9,2	147	0,00
24	1200,1	0	0,0	-158	0,01	0,4	-65	0,00
25	1250,1	0	0,0	-129	0,13	7,6	37	0,00
26	1300,1	0	0,0	-54	0,01	0,4	169	0,00
27	1350,1	0	0,0	127	0,12	6,8	-72	0,00
28	1400,1	0	0,0	44	0,01	0,3	43	0,00
29	1450,1	0	0,0	-27	0,10	5,7	179	0,00
30	1500,1	0	0,0	117	0,00	0,3	-105	0,00
31	1550,1	0	0,0	-165	0,09	5,0	72	0,00

- ☐ Mesure en I1 avec cordon 10 spires.
- ☐ Charge : lampe à induction 23W.
- ☐ Spectre très riche.



- ☐ Mesure en U111 avec cordon 10 spires.
- ☐ Charge : lampe à induction.



- ☐ Mesure en I1 avec cordon 10 spires.
- ☐ Charge : lampe à ballast magnétique 9W.
- ☐ Le courant est fortement déphasé par rapport à la tension, mais son allure reste proche d'une sinusoïde. Son spectre est donc très pauvre.

Étude des
phénomènes
harmoniquesTP 1 : Étude de différentes charges
d'éclairage

21/28

Readings - 12/24/98 09:54:21

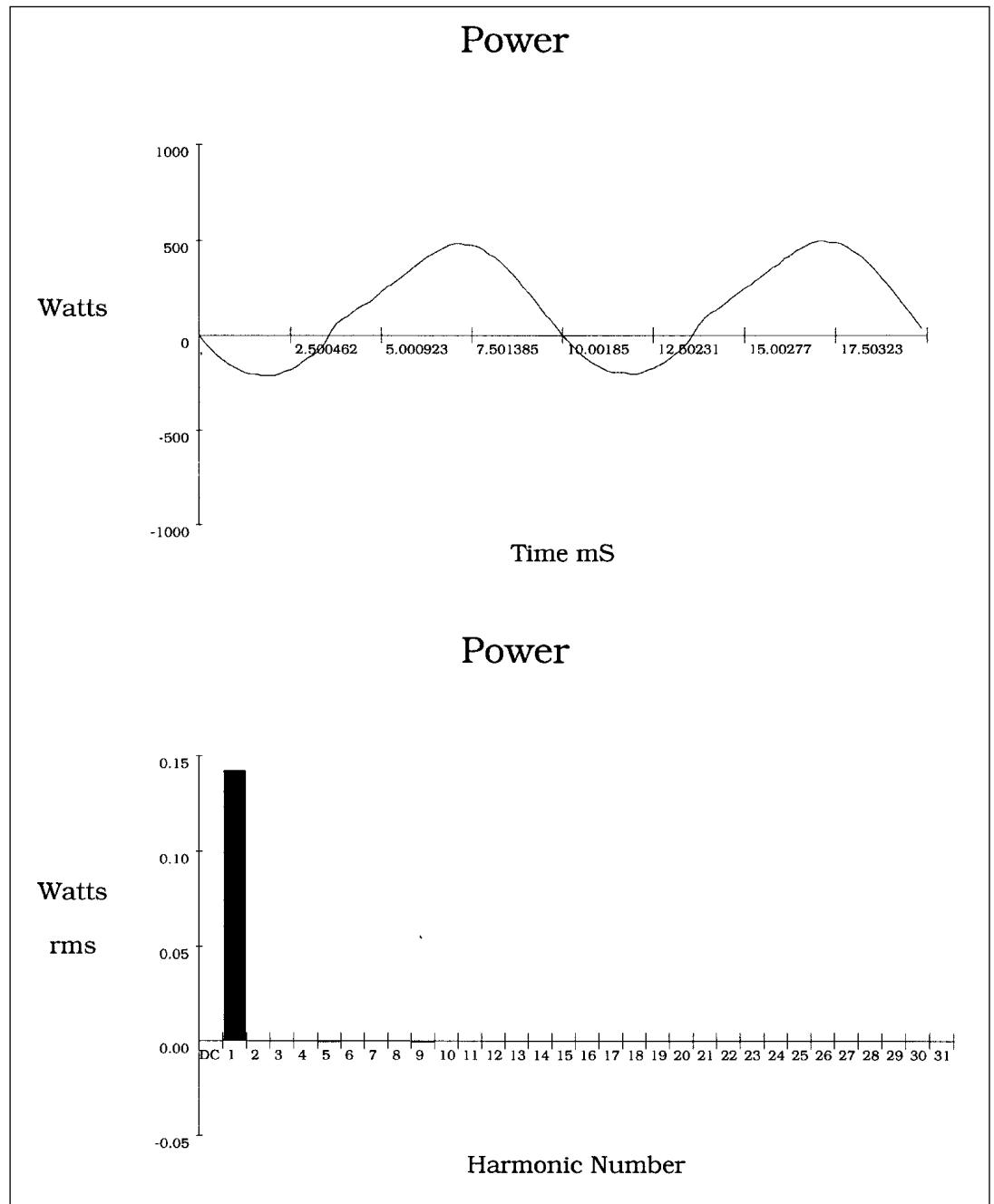
Summary Information

		Voltage		Current	Record Information			
					Max	Average	Min	
Frequency	50,0	RMS	228	1,74	V RMS			
Power		Peak	315	2,72	A RMS			
KW	0,15	DC Offset	0	-0,02	V Peak			
KVA	0,40	Crest	1,38	1,56	A Peak			
KVAR	0,37	THD Rms	2,7	9,8	V THD-R%			
Peak KW	0,52	THD Fund	2,7	9,9	A THD-R%			
Phase	69° lag	HRMS	6	0,17	KWatts			
Total PF	0,37	KFactor		1,1	KVAR			
DPF	0,36				TPF			
					DPF			
					Frequency			

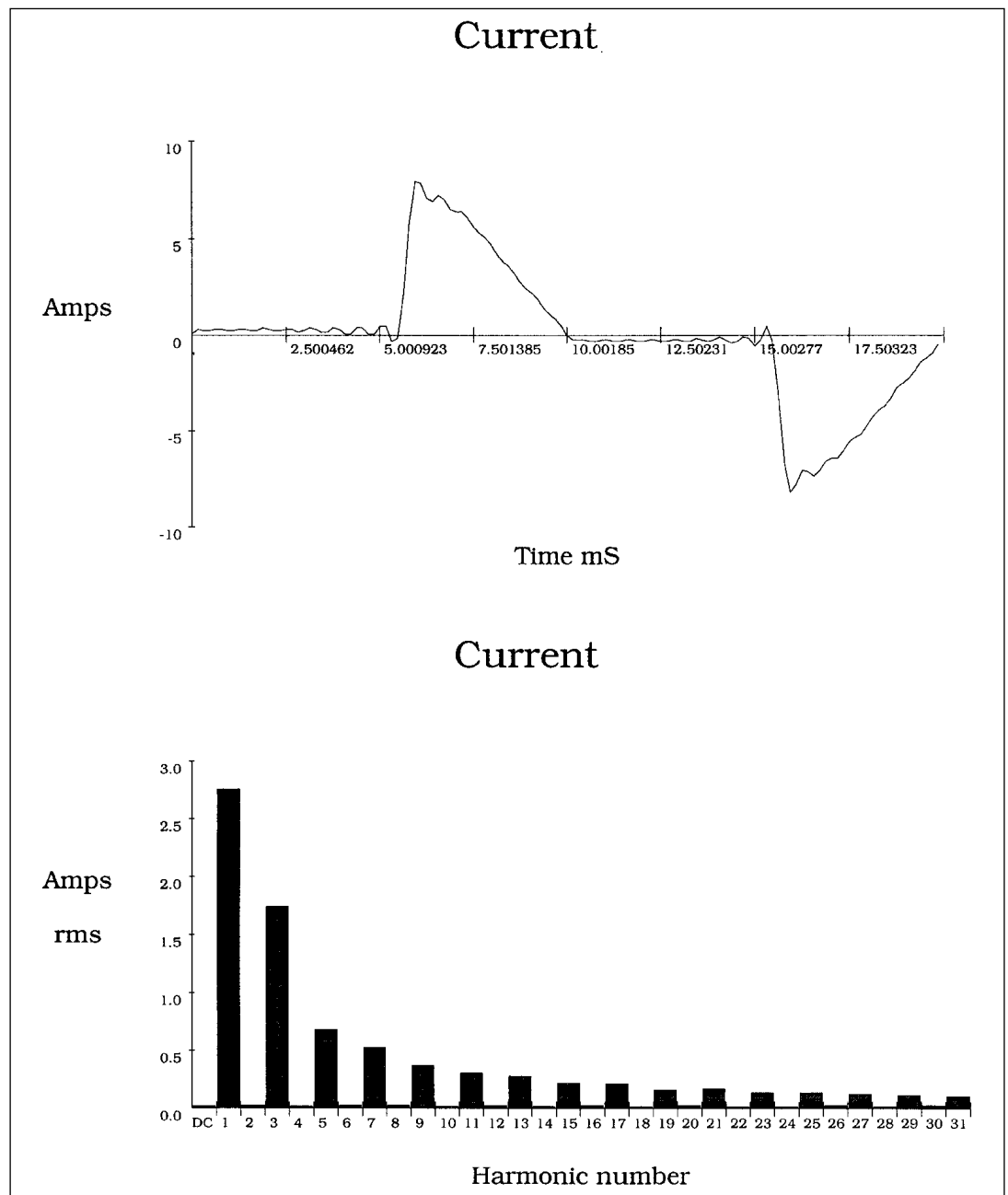
Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,1	0	0,02	1,2	0	0,00
1	50,0	228	100,0	0	1,73	100,7	-69	0,14
2	100,0	1	0,4	40	0,01	0,6	-45	0,00
3	150,0	1	0,3	-123	0,16	9,6	-58	0,00
4	200,0	0	0,2	-39	0,00	0,3	-68	0,00
5	250,0	5	2,3	161	0,04	2,2	33	0,00
6	299,9	0	0,1	58	0,00	0,1	73	0,00
7	349,9	3	1,1	-23	0,02	1,0	-32	0,00
8	399,9	0	0,1	60	0,00	0,2	-58	0,00
9	449,9	0	0,2	-88	0,01	0,6	144	0,00
10	499,9	0	0,0	76	0,00	0,1	180	0,00
11	549,9	0	0,2	46	0,01	0,4	30	0,00
12	599,9	0	0,0	22	0,00	0,1	20	0,00
13	649,9	0	0,2	-64	0,01	0,4	-86	0,00
14	699,9	0	0,0	-8	0,00	0,1	-118	0,00
15	749,9	0	0,0	-147	0,01	0,4	119	0,00
16	799,9	0	0,0	34	0,00	0,1	106	0,00
17	849,8	0	0,1	11	0,01	0,3	-31	0,00
18	899,8	0	0,0	-25	0,00	0,1	-13	0,00
19	949,8	0	0,1	-122	0,00	0,3	-158	0,00
20	999,8	0	0,0	180	0,00	0,1	-88	0,00
21	1049,8	0	0,0	152	0,00	0,3	84	0,00
22	1099,8	0	0,0	-78	0,00	0,1	93	0,00
23	1149,8	0	0,0	-8	0,00	0,1	-49	0,00
24	1199,8	0	0,0	-116	0,00	0,1	-22	0,00
25	1249,8	0	0,0	-118	0,00	0,2	-143	0,00
26	1299,8	0	0,0	135	0,00	0,1	-164	0,00
27	1349,8	0	0,0	40	0,00	0,2	18	0,00
28	1399,7	0	0,0	0	0,00	0,1	63	0,00
29	1449,7	0	0,0	-46	0,00	0,2	-47	0,00
30	1499,7	0	0,0	97	0,00	0,1	-56	0,00
31	1549,7	0	0,0	-178	0,00	0,2	165	0,00

- ☐ Mesure en U111 avec cordon 10 spires.
- ☐ Charge : lampe à ballast magnétique 9W.
- ☐ Les différentes valeurs traduisent que cette charge est linéaire et peu polluée.



- ☐ Mesure en U111 avec cordon 10 spires.
- ☐ Charge : lampe à ballast magnétique 9W.
- ☐ U et I étant déphasés, apparition d'une puissance alternative.



- ☐ Mesure en I1 avec cordon 10 spires.
- ☐ Charge : gradateur halogène à mi-charge.
- ☐ Lampe halogène 100W.
- ☐ Cette allure bien connu s'éloigne de la sinusoïde, d'où un spectre harmonique riche.

Readings - 12/24/98 10:04:12

Summary Information

		Voltage		Current	Record Information		Average	Min
Frequency	50,0	RMS	228	3,47	V RMS	Max		
Power		Peak	314	8,29	A RMS			
KW	0,51	DC Offset	0	-0,02	V Peak			
KVA	0,79	Crest	1,38	2,39	A Peak			
KVAR	0,37	THD Rms	2,8	60,2	V THD-R%			
Peak KW	2,58	THD Fund	2,8	75,3	A THD-R%			
Phase	36° lag	HRMS	6	2,08	KWatts			
Total PF	0,65	KFactor		16,9	KVAR			
DPF	0,81				TPF			
					DPF			
					Frequency			

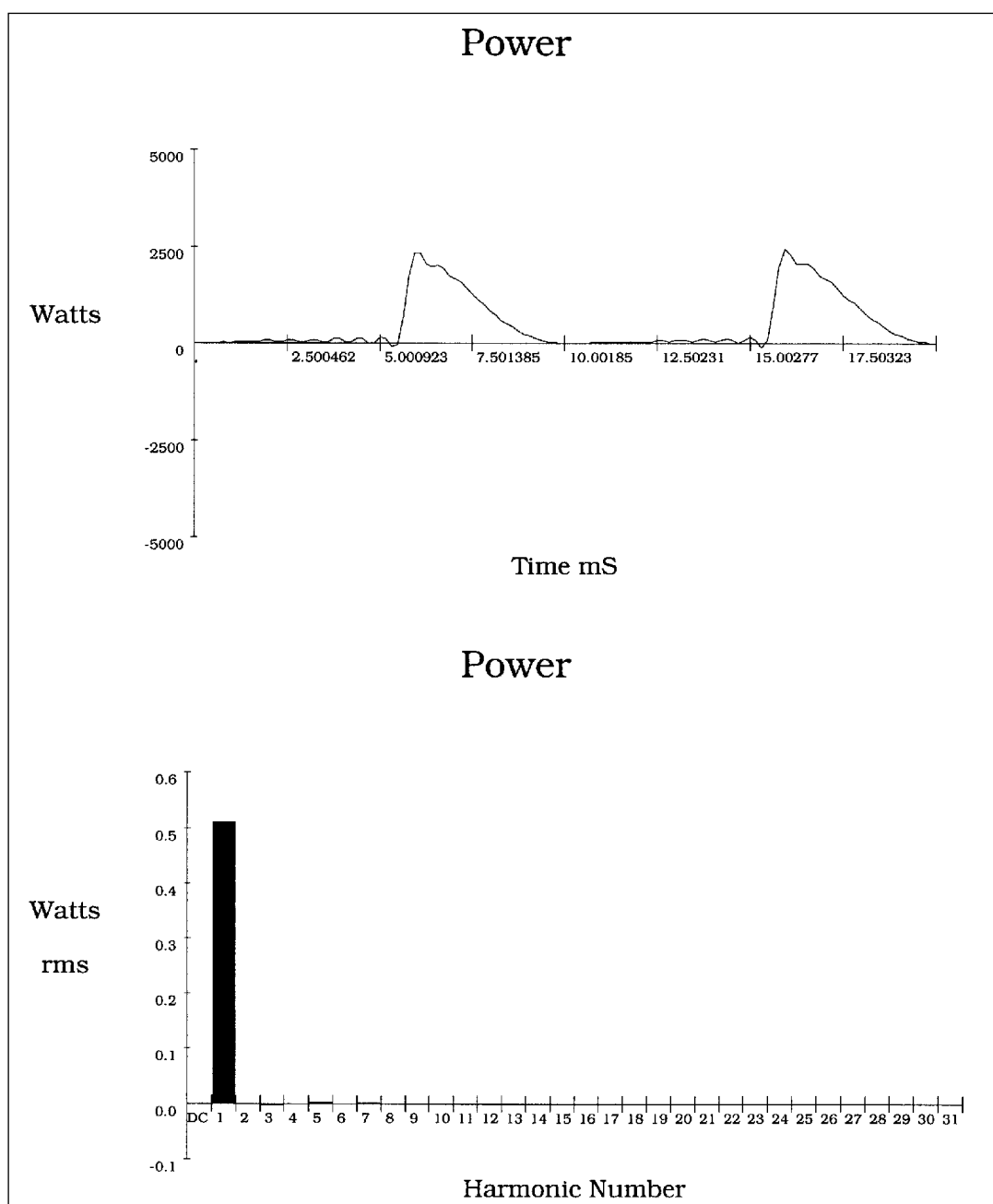
Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,1	0	0,02	0,6	0	0,00
1	50,0	228	100,0	0	2,77	80,2	-36	0,51
2	100,0	1	0,4	39	0,03	0,8	60	0,00
3	150,0	1	0,5	-112	1,74	50,5	65	0,00
4	200,0	0	0,2	-32	0,02	0,6	-141	0,00
5	250,0	5	2,4	158	0,68	19,8	-159	0,00
6	299,9	0	0,0	44	0,03	0,8	21	0,00
7	349,9	3	1,1	-22	0,53	15,4	10	0,00
8	399,9	0	0,1	66	0,03	0,8	159	0,00
9	449,9	1	0,3	-83	0,37	10,8	155	0,00
10	499,9	0	0,0	91	0,02	0,6	-37	0,00
11	549,9	1	0,2	49	0,31	9,0	-38	0,00
12	599,9	0	0,0	-27	0,03	0,7	118	0,00
13	649,9	0	0,2	-46	0,28	8,1	108	0,00
14	699,9	0	0,0	112	0,02	0,7	-89	0,00
15	749,9	0	0,1	-127	0,22	6,4	-90	0,00
16	799,9	0	0,0	-7	0,03	0,8	75	0,00
17	849,8	0	0,1	39	0,22	6,3	63	0,00
18	899,8	0	0,0	-106	0,02	0,7	-132	0,00
19	949,8	0	0,1	-84	0,17	4,8	-141	0,00
20	999,8	0	0,0	104	0,03	0,8	31	0,00
21	1049,8	0	0,0	146	0,17	4,9	16	0,00
22	1099,8	0	0,0	-107	0,02	0,7	179	0,00
23	1149,8	0	0,0	6	0,14	4,1	168	0,00
24	1199,8	0	0,0	-103	0,02	0,7	-24	0,00
25	1249,8	0	0,0	-146	0,14	4,0	-33	0,00
26	1299,8	0	0,0	173	0,03	0,8	131	0,00
27	1349,8	0	0,0	21	0,12	3,6	118	0,00
28	1399,7	0	0,0	-32	0,02	0,7	-70	0,00
29	1449,7	0	0,0	41	0,11	3,3	-82	0,00
30	1499,7	0	0,0	143	0,03	0,7	86	0,00
31	1549,7	0	0,0	-112	0,11	3,1	71	0,00

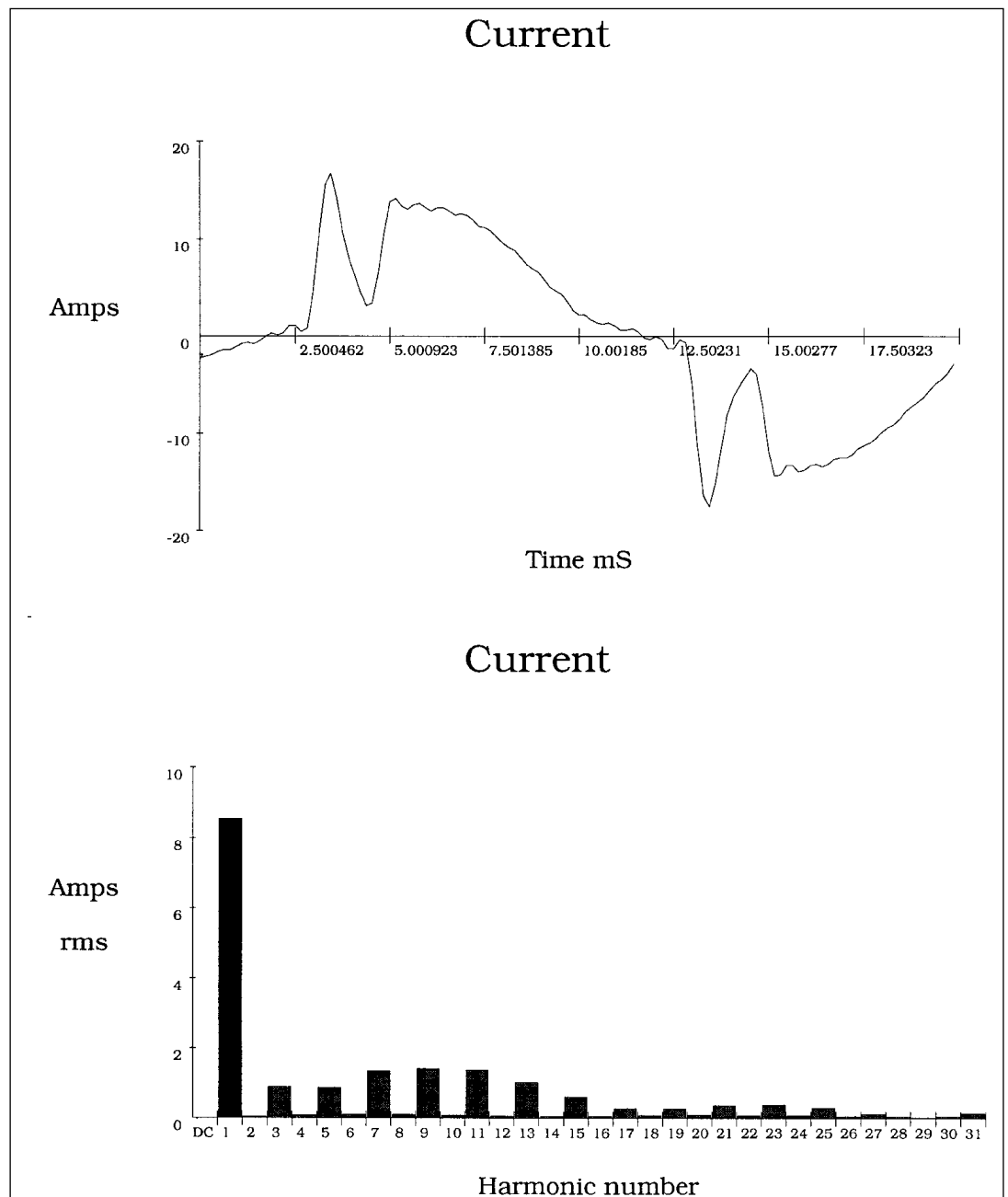
☐ Mesure en U111 avec cordon 10 spires.

☐ Charge : gradateur mi-charge.

☐ Le taux de distorsion en courant est nettement plus faible que pour une charge à ballast électronique, mais la différence de puissance mise en jeu 100W/23W fait que il se produit des valeurs plus importante de IH. Dans nôtre cas d'étude, c'est la charge la plus pol-lueuse.



- ☐ Mesure en U111 avec cordon 10 spires.
- ☐ Charge : gradateur mi-charge.



- ☐ Mesure en I1 avec cordon 10 spires.
- ☐ Charge : toutes les lampes avec gradateur halogène à mi-charge.

Étude des
phénomènes
harmoniquesTP 1 : Étude de différentes charges
d'éclairage

27/28

Readings - 12/24/98 10:10:51

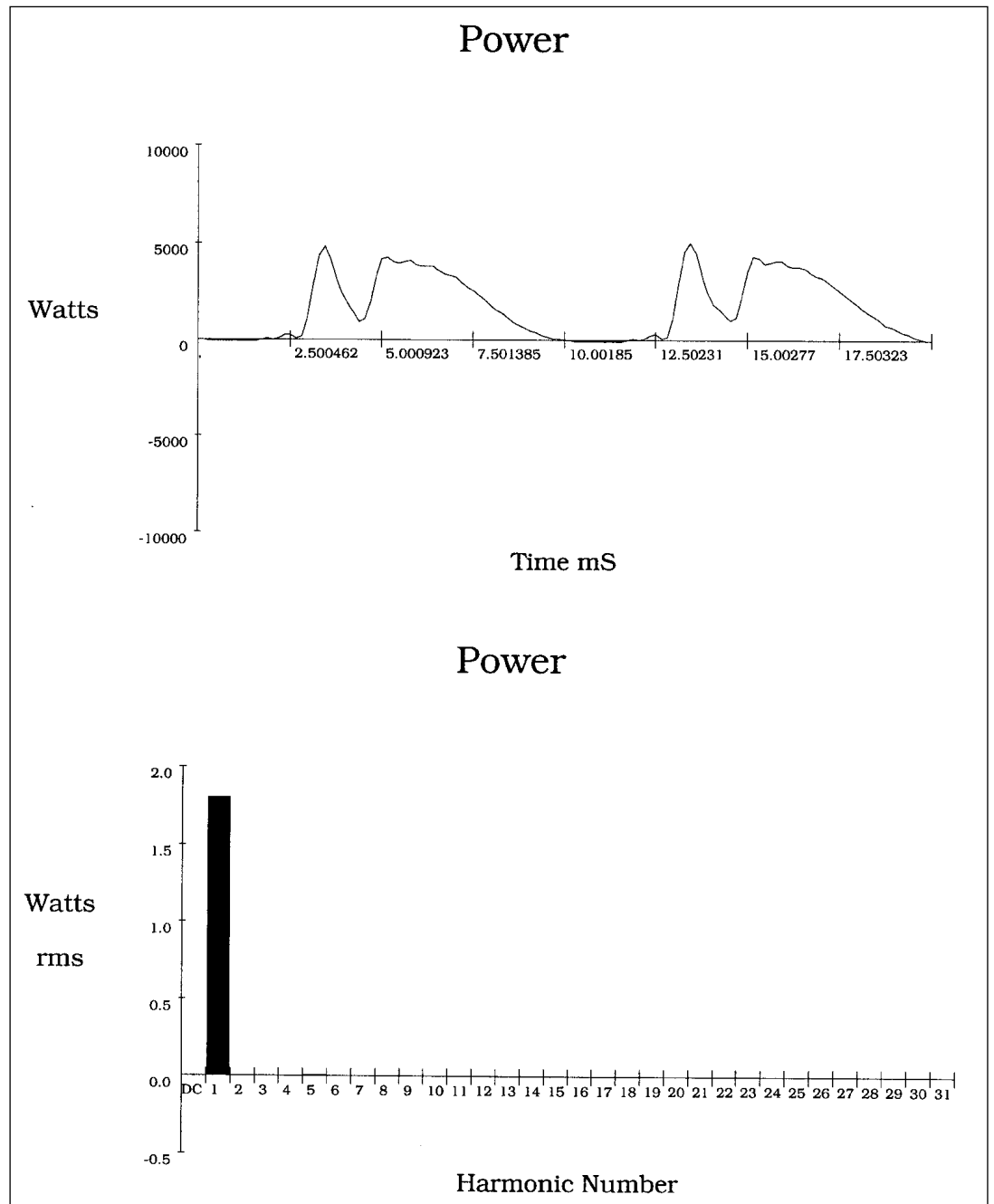
Summary Information

		Voltage		Current		Record Information			
						Max	Average	Min	
Frequency	50,0	RMS	227	9,10	V RMS				
Power		Peak	314	17,53	A RMS				
KW	1,8	DC Offset	0	-0,01	V Peak				
KVA	2,1	Crest	1,38	1,93	A Peak				
KVAR	0,7	THD Rms	2,9	33,9	V THD-R%				
Peak KW	5,3	THD Fund	2,9	36,1	A THD-R%				
Phase	22° lag	HRMS	7	3,08	KWatts				
Total PF	0,88	KFactor		14,5	KVAR				
DPF	0,93				TPF				
					DPF				
					Frequency				

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,0	0	0,01	0,2	0	0,0
1	50,0	227	100,0	0	8,54	94,1	-22	1,8
2	100,0	1	0,5	42	0,05	0,5	-105	0,0
3	150,0	1	0,4	-126	0,89	9,8	127	0,0
4	200,0	0	0,2	-42	0,09	1,0	68	0,0
5	250,0	6	2,7	156	0,87	9,5	154	0,0
6	299,9	0	0,1	44	0,12	1,3	-84	0,0
7	349,9	2	0,9	-16	1,36	14,9	40	0,0
8	399,9	0	0,1	64	0,13	1,4	115	0,0
9	449,9	0	0,2	-87	1,41	15,5	-98	0,0
10	499,9	0	0,0	93	0,10	1,1	-46	0,0
11	549,9	1	0,2	34	1,38	15,2	122	0,0
12	599,9	0	0,0	41	0,08	0,9	137	0,0
13	649,9	0	0,1	-79	1,04	11,4	-11	0,0
14	699,9	0	0,0	136	0,07	0,8	-49	0,0
15	749,9	0	0,1	-113	0,61	6,7	-143	0,0
16	799,9	0	0,0	-39	0,08	0,9	129	0,0
17	849,8	0	0,1	39	0,29	3,2	110	0,0
18	899,8	0	0,0	-173	0,10	1,1	-43	0,0
19	949,8	0	0,1	-117	0,29	3,2	46	0,0
20	999,8	0	0,0	88	0,11	1,2	152	0,0
21	1049,8	0	0,0	160	0,39	4,3	-72	0,0
22	1099,8	0	0,0	-105	0,10	1,1	-13	0,0
23	1149,8	0	0,1	14	0,40	4,4	154	0,0
24	1199,8	0	0,0	172	0,09	1,0	174	0,0
25	1249,8	0	0,1	-127	0,31	3,4	20	0,0
26	1299,8	0	0,0	57	0,08	0,9	-4	0,0
27	1349,8	0	0,0	35	0,14	1,5	-115	0,0
28	1399,7	0	0,0	27	0,08	0,9	-180	0,0
29	1449,7	0	0,0	-18	0,03	0,3	-105	0,0
30	1499,7	0	0,0	107	0,08	0,9	6	0,0
31	1549,7	0	0,0	-72	0,17	1,8	134	0,0

□ U1I1 toutes charges.



□ U1I1 toutes charges.

2.2 Harmoniques : cours de synthèse

Ce cours sur les Harmoniques comprend :

- Normes et réglementations
- Rappel théorique d'électrotechnique
- Etude d'une charge non linéaire (alimentation à découpage)

Objectif Connaître l'état actuel des normes, l'évolution, la tendance, le consensus.

Définitions ■ Perturbations électromagnétiques :

Est considéré comme tel tout phénomène électromagnétique susceptible de créer des dysfonctionnements d'un appareil ou d'un système.

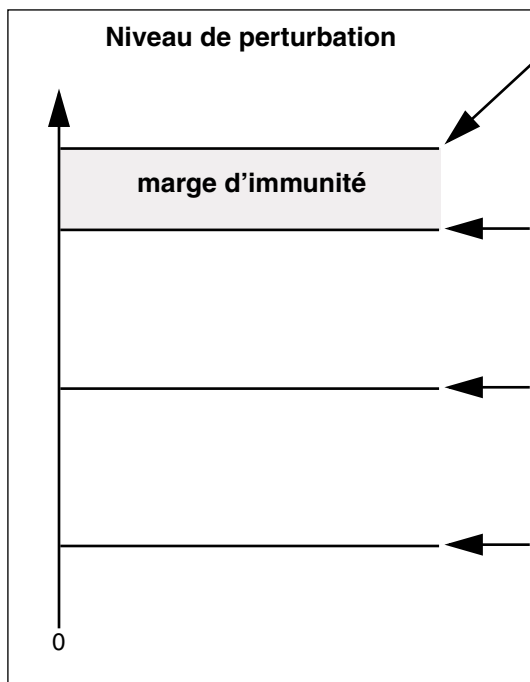
■ Compatibilité électromagnétique :

Aptitude d'un appareil ou d'un système, à fonctionner dans un environnement de façon satisfaisante, et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement.

■ Immunité :

Aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner correctement en présence d'une perturbation électromagnétique.

Différents niveaux de perturbations



■ Niveaux de susceptibilité :

Niveau de perturbation à partir duquel il y a un dysfonctionnement d'un matériel ou d'un système.

■ Niveau d'immunité : c

Niveau normalisé d'une perturbation supportée par un matériel ou un système.

■ Niveau de compatibilité électromagnétique : a

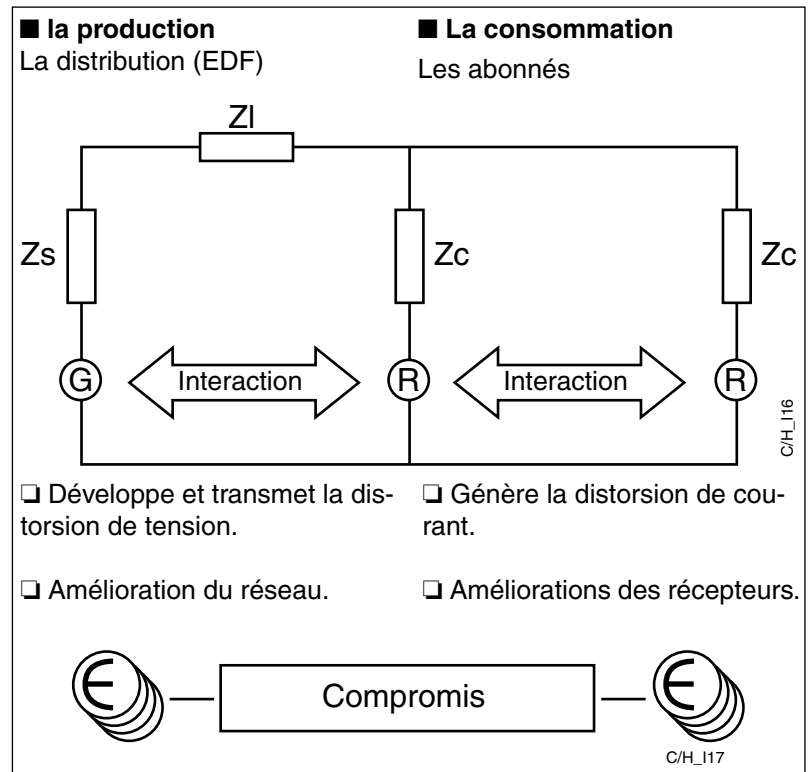
Niveau maximal spécifié de perturbations auquel on peut s'attendre dans un environnement donné, en situation normale.

■ Niveau d'émission : b

niveau maximal autorisé pour un utilisateur ou pour un appareil.

Les différents niveaux de perturbations seront abordés, par la suite, de la lettre **a** à **c**.

La coexistence normée



a Les niveaux de compatibilité (qualité de la tension d'alimentation)**■ Les réseaux public**

□ Tableau d'électra CEI 61000-2-2

n = rang d'harmoniques

n	BT/MT (%)	HT (%)
2	2	1,5
3	5	2
4	1	1
5	6	2
6	0,5	0,5
7	5	2
8	0,5	0,2
9	1,5	1
10	0,5	0,2
11	3,5	1,5
12	0,2	0,2
13	3	1,5
TDHu	8 %	3 %

■ Les installations industrielles

□ Tableau CEI 61000-2-4

n	classe 1(%) appareils sen- sibles	classe 2(%) appareils moyennement sensibles	classe 3(%) appareils de fortes puissan- ces
2	2	2	3
3	3	5	6
4	1	1	1,5
5	3	6	8
6	0,5	0,5	1
7	3	5	7
8	0,5	0,5	1
9	1,5	1,5	2,5
10	0,5	0,5	1
11	3	3,5	5
12	0,2	0,2	1
13	3	3	4,5
TDHu	5 %	8 %	10 %

b Niveau d'émission ■ Sur l'appareillage BT raccordé au réseau public**1 - Consommant moins de 16 A par phase :**

□ La CEI 61000-3-2 impose des limites aux appareils selon leur classification (date d'application 2001).

- classe A : appareils triphasé équilibrés, et tous les autres appareils excepté ceux des classes qui suivent.

Limite pour appareil domestique de 75W à 16A (par appareil).

Limite pour appareil à usage professionnel de 75W à 1kW (par appareil).

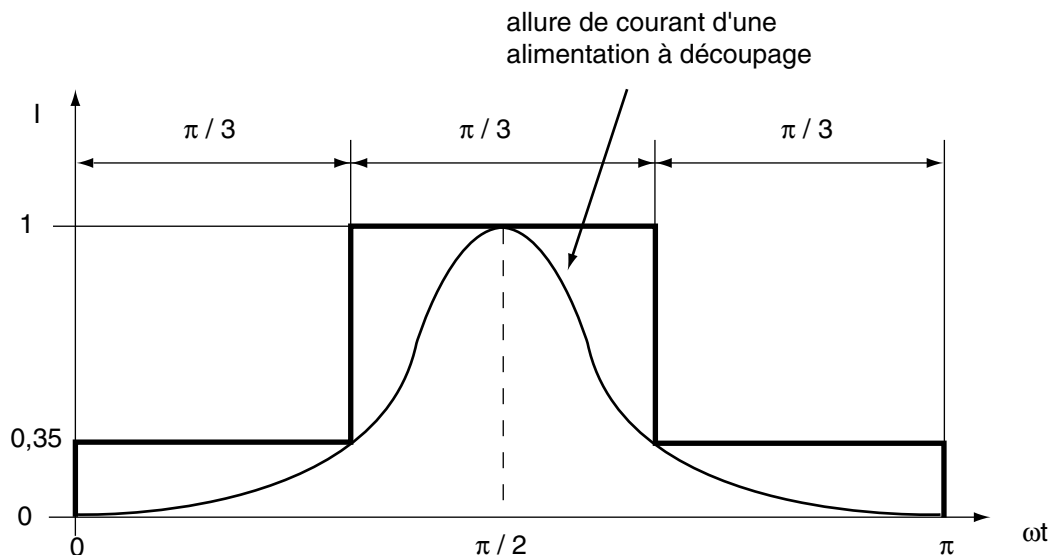
La limite inférieure de 75W sera ramené à 50W en l'an 2000.

- classe B : outils portable.

- classe C : appareils d'éclairage incluant les gradateurs.

- classe D : appareils de $P < 600W$, ayant un courant de forme spéciale, de gabarit ci-dessous

exemple : alimentation à découpage (TV, micro-ordinateur)



□ La CEI 61000-3-2 : les limites par classe

- Classe A :

	Rang de l'harmonique n	Courant harmonique maximal admissible (en ampères)
Harmoniques impairs	3	2,3
	5	1,14
	7	0,77
	9	0,4
	11	0,33
	13	0,24
	$15 \leq n \leq 39$	$0,15 \times 15/n$
Harmoniques pairs	2	
	4	
	6	
	$8 \leq n \leq 40$	$0,23 \times 8/n$

- Classe B :

les limites pour la classe B sont égales à celles de la classe A x 1,5.

- Classe C :

Rang de l'harmonique n	Courant harmonique maximal admissible (en ampères)
2	2
3	$30 \cdot \lambda = 18\% \text{ de } I_{H1}$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (harmoniques impairs seulement)	3

λ est le facteur de puissance.

Étude des
phénomènes
harmoniques

Harmoniques : cours de synthèse

■ Normes et réglementations

6/7

- Classe D :

Rang de l'harmonique n	Courant maximum autorisé par Watt (mA/W)	Courant harmonique maxi- mum autorisé en ampères (A)
2	3,4	2,3
3	1,9	1,14
5	1	0,77
7	0,5	0,4
9	0,35	0,3
11 ≤ n ≤ 39 (harmoniques impairs seulement)	3,85 / n	voir tableau classe A

 λ est le facteur de puissance.**2 - Consommant plus de 16 A par phase :**Pas de norme actuellement, mais guide CEI 1300-3-4 en prépara-
tion.

■ En tarif vert

EDF généralise ses nouveaux contrats vert «EMERAUDE».

☐ EDF s'engage sur :

- un nombre standard de coupures brèves et longues,
- 2 coupures pour travaux inférieures à 4 h,
- des variations de tensions < ou = à 5 %.
- un niveau de déséquilibre de 2 %.

☐ L'utilisateur s'engage sur les perturbations générées, de type :

- à coup de tension \Rightarrow 5 %,
- déséquilibre \Rightarrow 1 % (charge > 500 kVA),
- flickers selon CEI 61000-2-2,
- courant harmoniques injectés.

■ Limite des
courants

Rang		Hn (%)
Pairs	Impairs	
2		2
	3	4
4		1
> 4		0,5
	5	5
	7	5
	9	2
	11	3
	13	3
	> 13	2

c Immunité : niveau de TDHu acceptable

■ Les niveaux d'immunité : pas de norme officielle aujourd'hui mais des projets : 77A (sec) 99 immunité dans les installation BT.

Il est fixé à 12% pour appareils sensibles et 16% pour appareils non sensibles.

**Étude des
phénomènes
harmoniques**
Harmoniques : cours de synthèse
■ Rappel théorique d'électrotechnique

1/2

**Différence entre facteur de
puissance et $\cos \varphi$:**
■ Facteurs de puissance FP et de facteur de déphasage.

□ Selon la CEI, le facteur de puissance est le rapport de la puissance active P à la puissance apparente S :

$$FP = P / S \quad FP \text{ tient compte des harmoniques.}$$

□ Ce facteur de puissance ne doit pas être confondu avec le facteur de déphasage $\cos \varphi$ qui représente le cosinus de l'angle entre les composantes fondamentales (sinusoïdales de fréquence f) de la tension et du courant.

$$\cos \varphi_1 = P_1 / S_1 \text{ il ne tient pas compte des harmoniques.}$$

On part de l'hypothèse que la tension est sinusoïdale ($TDH_u < 8 \%$, pas de distorsion de tension) on peut écrire la relation suivante :

$$FP = \cos \varphi_1 \cdot \frac{I_1}{I_{RMS}}$$

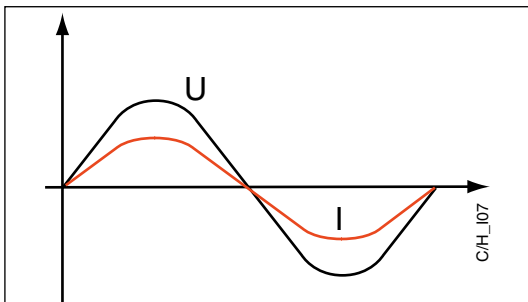
$$\frac{I_1}{I_{RMS}} = FD = \text{facteur de déformation}$$

■ Présentation des différentes charges et des remèdes :

□ Charge résistive : $\cos \varphi = FP = 1$

Etude du remède ?

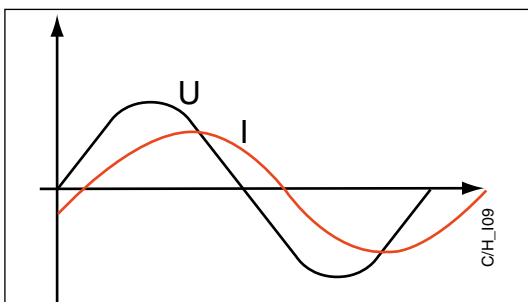
Aucun car pas de déphasage et absence d'harmoniques.



□ Charge selfique (moteur) : $\cos \varphi = FP < 1$
On déphase sans générer d'harmoniques.

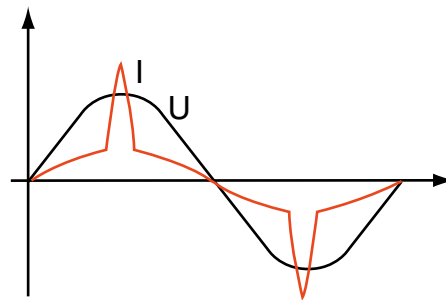
Etude du remède ?

Le remède est l'utilisation de condensateurs destinés à améliorer le $\cos \varphi$.



□ Redresseur de tension

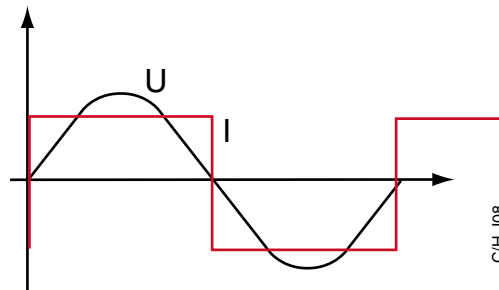
exemple : variateur de vitesse, alimentation à découpage.



en amont d'un redresseur + condensateur

□ Redresseur de courant

exemple : onduleur



en amont d'un redresseur + self

$\cos \varphi = 1$ car le fondamental du courant est en phase avec la tension.

$FP \ll 1$ car il y a présence importante d'harmoniques

Etude du remède ?

Le remède est l'utilisation de filtres anti-harmoniques mais surtout pas de condensateurs pour ne pas surcompenser car $\cos \varphi = 1$.

■ **Conclusion** : $\cos \varphi \neq FP$ et $FP < \cos \varphi$

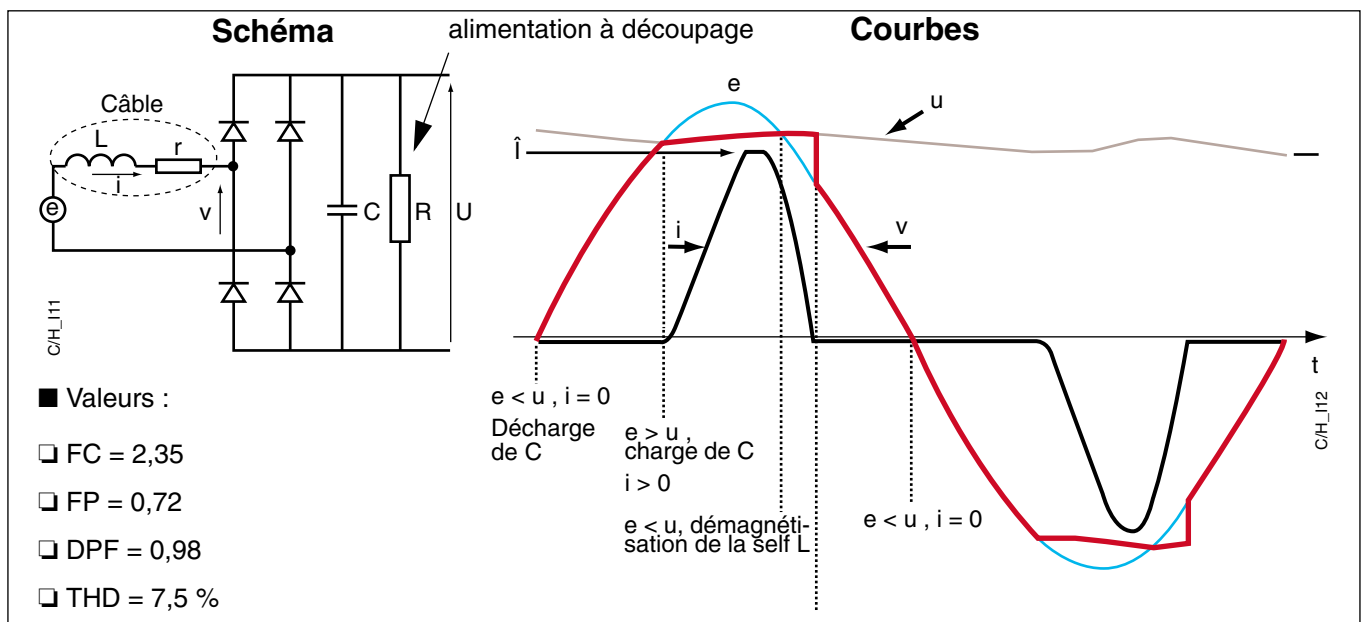
**Étude des
phénomènes
harmoniques**
Harmoniques : cours de synthèse

■ Etude d'une charge non linéaire (alimentation à découpage)

1/1

Redresseur de tension

Le schéma ci-dessous représente la structure d'entrée des principales sources polluées étudiées



□ Les redresseurs de tension entraînent une déformation du courant donc sont générateurs d'harmoniques à cause de la charge du condensateur derrière un pont de diode.

□ Ces charges prolifèrent autant dans le domaine industriel que domestique :

- variateur de vitesse,
- micro-ordinateur
- éclairage à ballast électronique,
- lampe à induction,
- téléviseur,
- etc...

2.3 Évaluation harmoniques : QCM

■ Définition du courant efficace :

☐ I RMS

☐ I_{eff} RMS

☐ I_{h1}
☐ I_{eff}

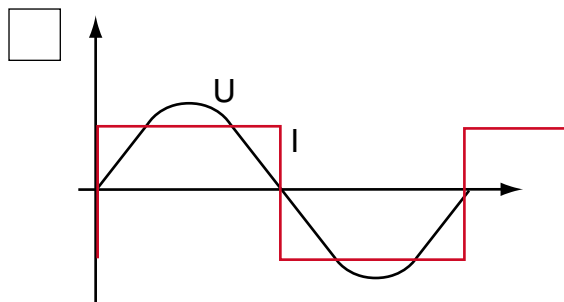
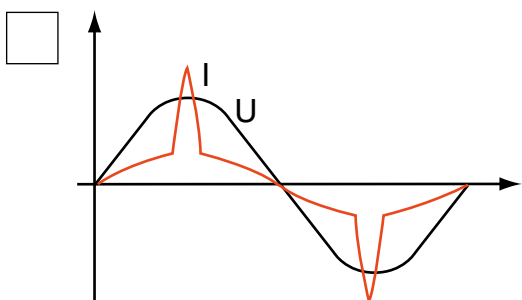
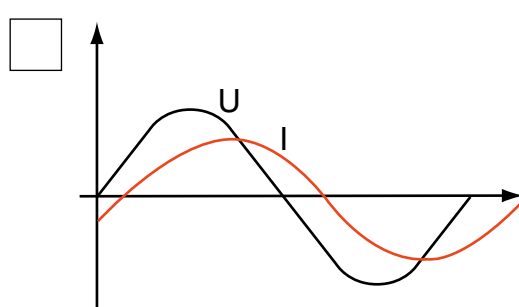
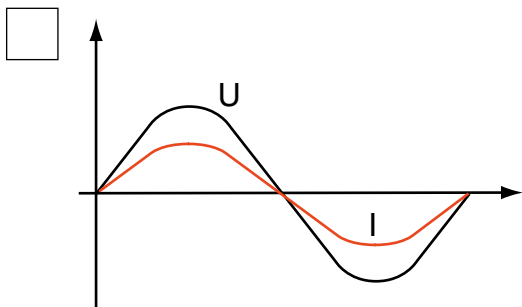
■ Calcul du courant efficace :

☐ I_{h1}
☐ I_{h3}
☐ I_{h1} + I_{h3}
☐ $\sqrt{I_{h1}^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_{hn}^2}$

■ Différence entre facteur de puissance et cos φ₁ sur charge non linéaire :

☐ FP = cos φ₁
☐ FP ≤ cos φ₁
☐ FP > cos φ₁

■ Allure de courant d'une charge non linéaire (alimentation à découpage) :



■ Définition du taux de distorsion en courant TDHI :

☐ $\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{hn}^2}}{I_{RMS}}$
☐ $\frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_{hn}^2}}{I_{RMS}}$
☐ $\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{hn}^2}}{I_{h1}}$

2.4 TD : Étude des perturbations harmoniques sur la distribution (l'éclairage)

L'objectif de ce TD est d'étudier l'incidence des harmoniques générés par l'éclairage sur une installation.

On y abordera aussi la détermination de la protection et de la section des câbles en fonction des différentes technologies d'éclairage.

Ce TD est structuré comme suit :

A - Sur une installation industrielle ne présentant pas de courant harmoniques

B - Sur une installation présentant des courants harmoniques

C - Rappels de quelques définitions pour la détermination de la section d'un câble

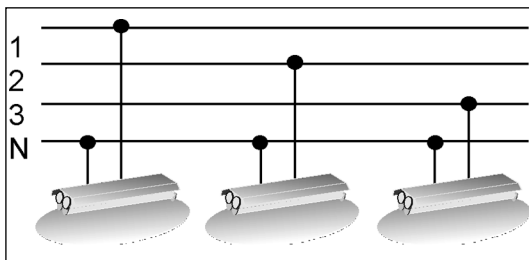
D - Informations sur le choix des câbles par rapport aux types de disjoncteur

E - Précautions à prendre pour l'étude d'une installation présentant des courants harmoniques (alimentations à découpage par exemple)

A - Sur une installation industrielle ne présentant pas de courant harmoniques**Cahier des charges**

Une installation d'éclairage fluo à ballast magnétique (charge linéaire) d'un grand magasin présente les caractéristiques suivantes :

- ☐ IRMS = 35 A par phase,
- ☐ câble multi-conducteurs cuivre,
- ☐ isolant PR, installé sur chemin de câble,
- ☐ $\theta = 35^\circ\text{C}$.

Travaux

1 - Déterminer la section des conducteurs à l'aide du catalogue basse tension SCHNEIDER (pages K).

$IB = 35\text{ A}$, lettre E, $K1 = 1$, $K2 = 1$, $K3 = 0,96$, $I'Z = 37\text{ A}$ choix de la section 4 mm^2 (42 A).

$S_{ph} = S_n$ car $S < 16\text{ mm}^2$, disjoncteur série multi9 C60N 40 A courbe C (4P+4D).

2 - Dans le cas où la charge est équilibrée, quelle est la valeur du courant I_n passant dans le neutre ?

Aucun courant.

3 - On enlève une rampe d'éclairage, quelle est la valeur du courant I_n passant dans le neutre ?

Courant d'une phase = 35A.

4 - On enlève 2 rampes d'éclairage, quelle est la valeur du courant I_n passant dans le neutre ?

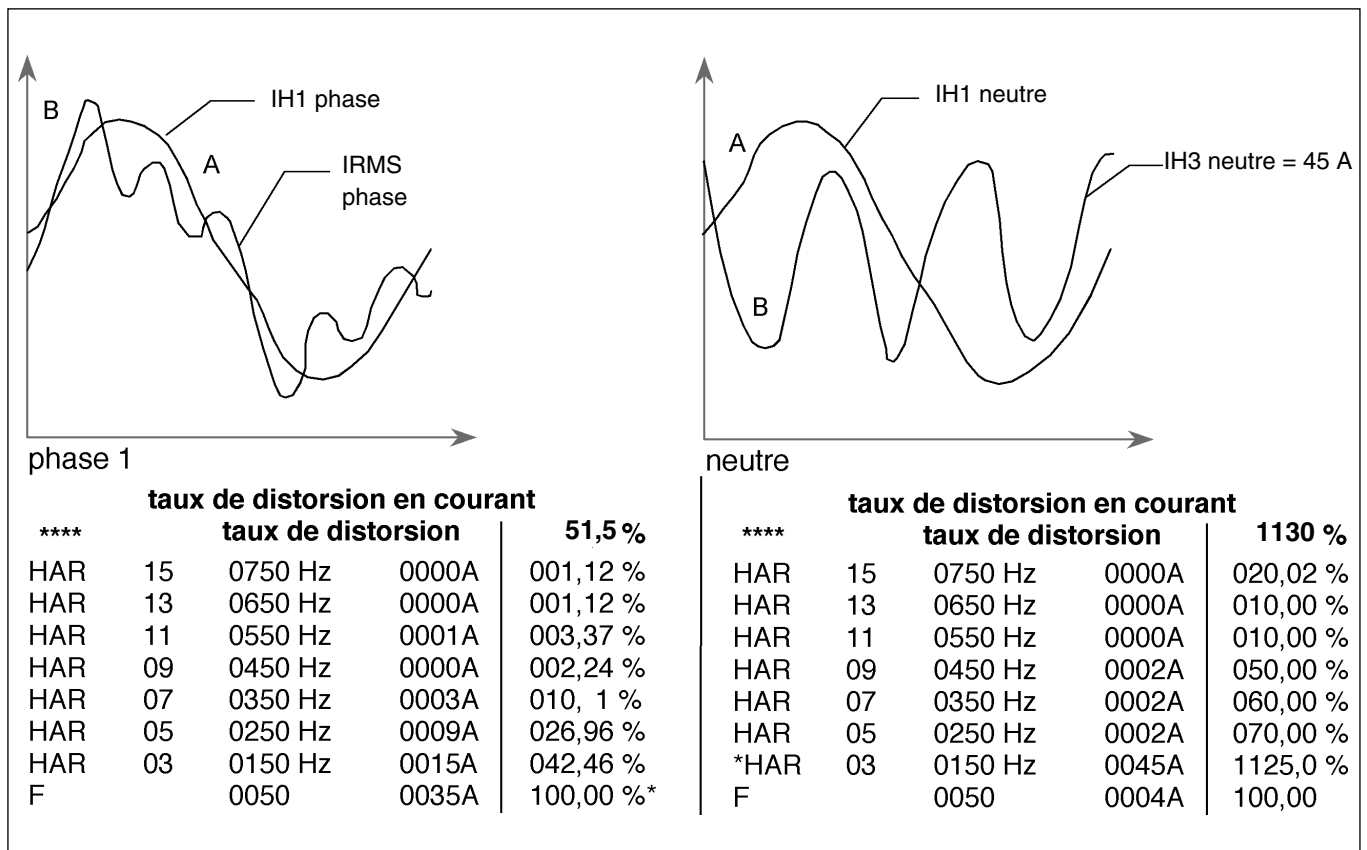
Courant d'une phase = 35A

Conclusion : *Cette installation fonctionne correctement pour ce type de disjoncteur et cette section de câble.*

B- Sur une installation présentant des courants harmoniques**Cahier des charges**

■ On décide de remplacer l'éclairage fluo à ballast magnétique par un éclairage fluo à ballast électronique (charge non linéaire) :

□ Mesure sur site les trois rampes en service :

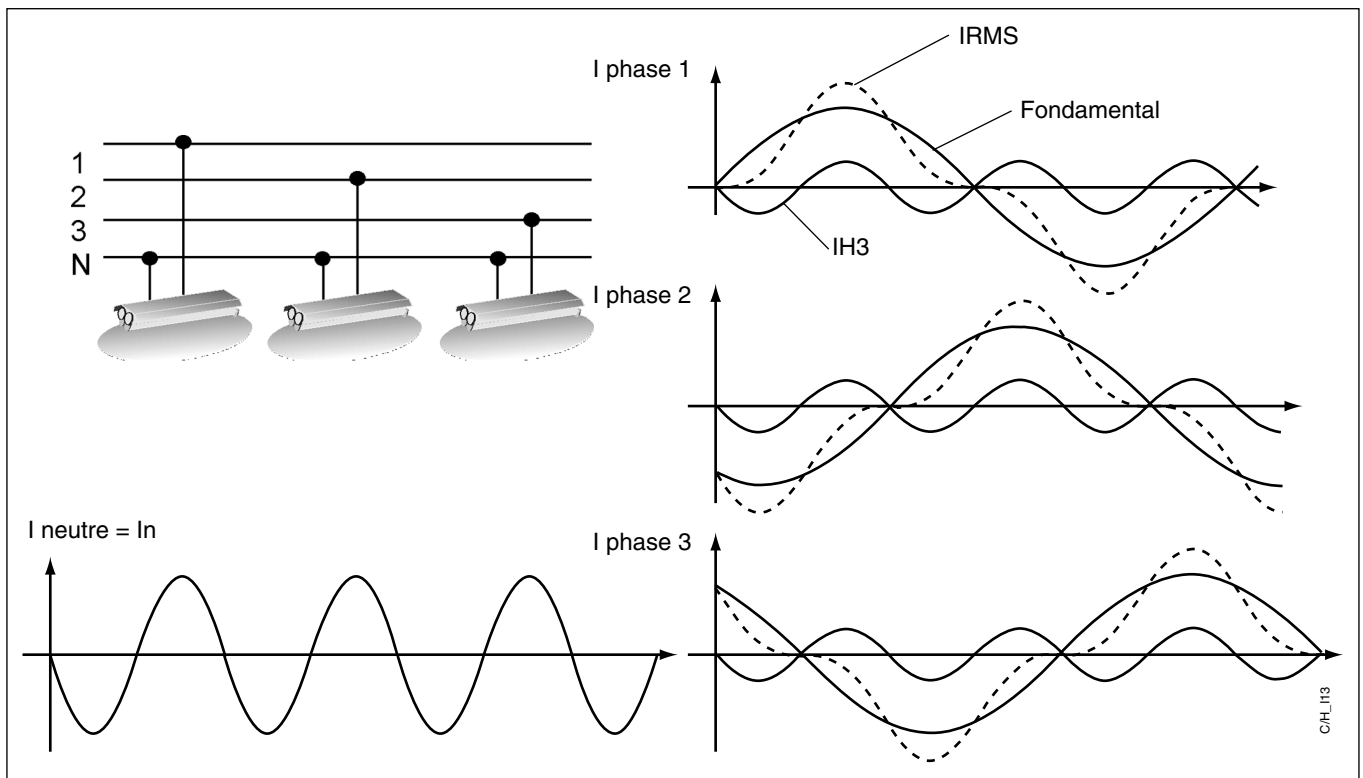


Travaux

1 - Calculer le courant IRMS par phase à l'aide du spectre de la phase 1 sachant que les 3 rampes d'éclairages fonctionnent.

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=\infty} I_h n^2} = 39A$$

□ Analyse du courant I_n , on limite l'étude harmonique aux IH3.



On se rend compte que les IH3 s'ajoute dans le conducteur de neutre.

2 - Calculer le courant I_n . Que se passe-t-il sur notre installation ?
On se limitera au courant d'harmonique 3

$$I_n = 3I_{h3 \text{ phase}} = 3 \times 15A = 45A$$

Déclenchement thermique du disjoncteur C60N40A assurant la protection des câbles mais entraînant une perte de la continuité de service de l'installation.

Étude des
phénomènes
harmoniques

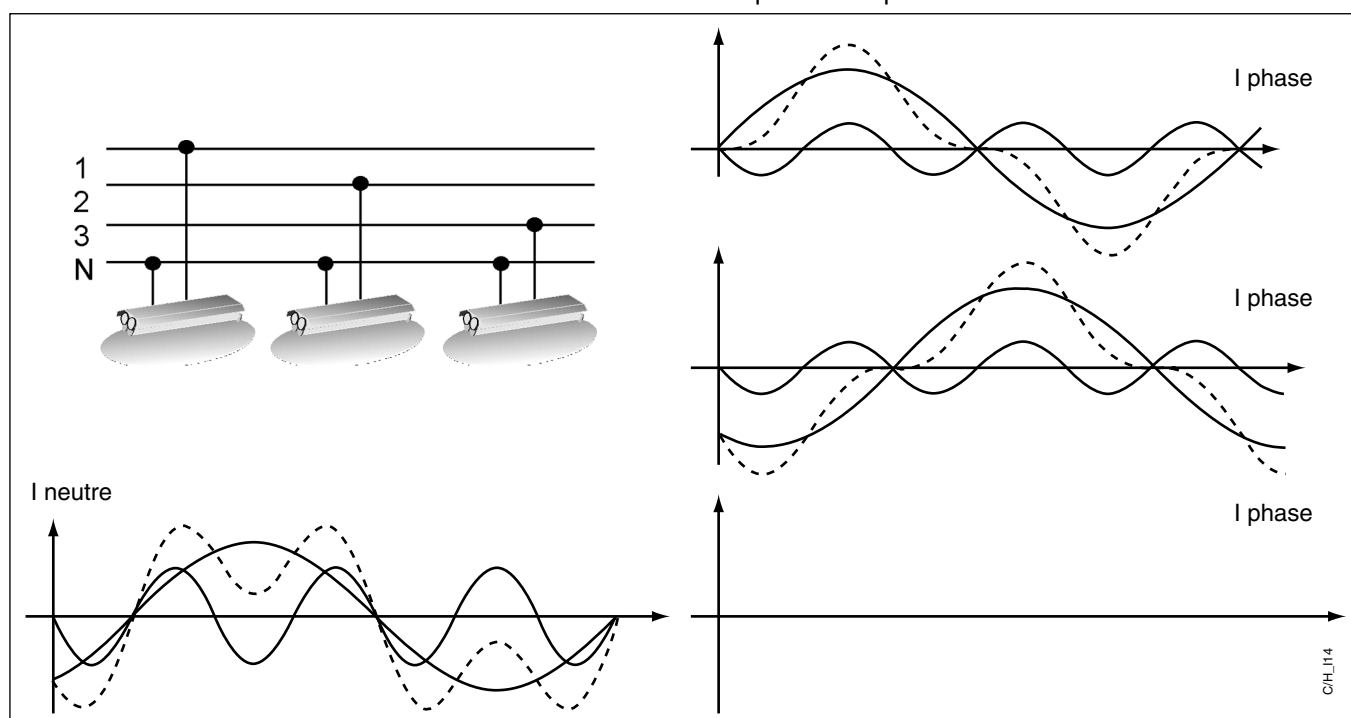
TD : Étude des perturbations harmoniques sur la distribution (l'éclairage)

4/8

3 - On enlève une rampe d'éclairage, quelle est la valeur du courant I_n passant dans le neutre ? Que se passe-t-il sur notre installation ?

$$I_n = \sqrt{I_{h1}^2 + (2 \cdot I_{h3})^2} = \sqrt{35^2 + (2 \cdot 15^2)} = 46 \text{ A}$$

Problème identique au cas précédent



Conclusion : Pour ces 2 derniers cas, traités précédemment, il est nécessaire d'intervenir sur notre installation, deux remèdes sont possibles pour rétablir la continuité de service :

□ atténuer les harmoniques par un filtrage, mais cette solution paraît difficile à réaliser sur une installation de ce type pour des raisons de câblage (multiplication des filtres, prix...)

□ augmenter les sections des conducteurs et le calibre du disjoncteur, ceci va dans le sens de la NF C 15-100 qui parle d'estimation des harmoniques.

4 - Déterminer la section des conducteurs et le calibre de la protection pour rendre cette installation utilisable.

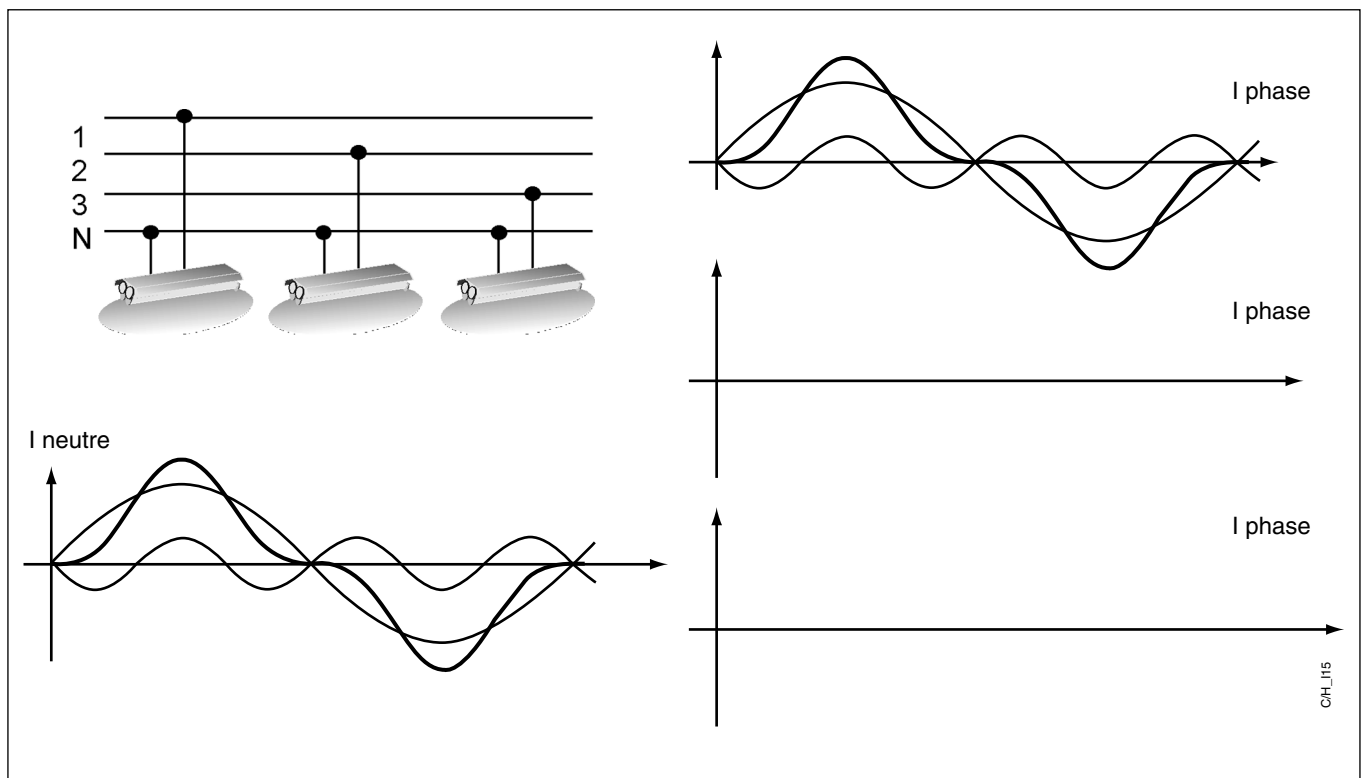
□ On se place dans le cas le plus défavorable pour le neutre : on enlève une rampe $I_n = 46 \text{ A}$

- $I_B = 46 \text{ A}$, lettre E,
- $K_1 = 1$;
- $K_2 = 1$; $K_3 = 0,96$;
- $I'Z = 48 \text{ A}$ choix de la section 6 mm^2 (54 A)
- $S_{ph} = S_n$ car $S < 16 \text{ mm}^2$, disjoncteur série multi9 C60N 50 A courbe C (4P+4D)

5 - On enlève 2 rampes d'éclairage. Quelle est la valeur du courant I_n passant dans le neutre ? Que se passe-t-il sur notre installation ?

$$I_n = \sqrt{I_{h1}^2 + (1 \cdot I_{h3})^2} = \sqrt{35^2 + 15^2} = 38A$$

L'installation fonctionne correctement avec le disjoncteur C60N 40A.



Étude des
phénomènes
harmoniques

TD : Étude des perturbations harmoniques sur la distribution (l'éclairage)

6/8

C- Rappels de quelques définitions pour la détermination de la section d'un câble

☐ IB : courant d'emploi = courant qui passe dans le câble

☐ IN : calibre du disjoncteur

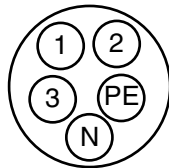
☐ IZ : courant admissible par la canalisation

☐ Règle à respecter : $IB < IN < IZ$

☐ I'Z : courant théorique nécessaire

$$I'Z = IB / Kt$$

Méthode de calcul décrite dans les pages «K» du catalogue «Basse tension SCHNEIDER Electric».

D- Informations sur le choix des câbles par rapport aux types de disjoncteur**■ Différents types de câbles multipolaire sur le marché.**

- ☐ Section neutre = Section phase
- ☐ Section neutre = (Section phase) / 2

Nota : dans un câble multipolaire, la section du neutre ne sera pas supérieure à la section des phases.

■ Calibrage du câble neutre

- ☐ Section neutre = section phase en dessous de 16^2 .
- ☐ Réduction de la section du neutre entre 16^2 et 50^2 cuivre, ou 70^2 alu.
- ☐ Section neutre moitié au delà.

■ Protection possibles par disjoncteur

- ☐ Si section neutre \geq section phase :
 - disjoncteur 4P 3D en TT ou TNS
 - disjoncteur 4P 4D en IT.
- ☐ Si section neutre moitié : disjoncteur 4P 3D + N/2 en TT, IT ou TNS.

Note : si il y a présence de courant harmonique, il faut adapter la section du neutre en tenant compte du courant RMS dans le neutre qui pourra être supérieur au courant RMS en phase.

■ Plusieurs solutions sont possibles :

- ☐ Si câble multipolaire avec neutre surchargé : rajouter un deuxième câble en parallèle.
- ☐ Si câble unipolaire : possibilité de mettre un câble neutre de section supérieure aux section de phase avec disjoncteur 4P 3D en TT et TNS.

Note : le calibre du disjoncteur devra correspondre au courant dans le neutre de façon à protéger le pôle de coupure

- ☐ Possibilité de mettre 4 câbles de section identique avec disjoncteur 4P 3D pour TT et TNS.

E - Précautions à prendre pour l'étude d'une installation présentant des courants harmoniques (alimentations à découpage par exemple)

Deux cas peuvent se présenter :

Solution curative : correspondant à du matériel déjà installé sans précautions particulières.

☐ Procédure :

- Mesure des courants harmoniques avec expertise de l'installation.
- Effectuer les modifications nécessaires sur les câbles et les appareils de protection.

Solution préventive : cas d'une étude nouvelle (matériel non installé).

Consultation de la norme NFC 15100.

☐ Selon l'article 523-5-2

La norme demande à appliquer sur le paramètre K de calcul des sections de câble un facteur de réduction :

facteur de 0,84 aux valeurs de courants admissible IZ, pour les câbles à 3 ou 4 conducteurs, lorsque le conducteur est chargé par des courants harmoniques éventuels.

☐ Selon l'article 524-3

Le neutre ne devra pas avoir une section inférieure à celle des conducteurs de phase.

2.5 TP 2 : Étude des remèdes

Étude des phénomènes harmoniques

Lieu d'activité

Laboratoire d'essai de système

Transfert et complément de connaissance

Conditions de réalisation

■ Sécurité

L'enseignant doit énoncer de manière explicite les consignes de sécurités.

Pour réduire au maximum les risques d'origine électrique :

- ☐ Tous les points de mesure sont accessibles sur le coté de l'armoire par bornes de sécurité.
- ☐ Le raccordement des appareils de mesure doit être réalisé exclusivement par des cordons de sécurité.

■ Matériels et documents utilisés

- ☐ Le système «Banc d'étude des perturbations des réseaux électriques CEM et Harmoniques»,
- ☐ Le dossier technique du système,
- ☐ Un analyseur d'harmoniques, un ampèremètre non RMS, un ampèremètre RMS.

■ Pré-requis

- ☐ Sensibilisation du risque électrique.
- ☐ Connaissance des normes et définitions liées à l'études des harmoniques.
- ☐ Connaissance de base de l'électrotechnique.

Conditions de mesure

■ Configuration du système

- ☐ Raccorder les deux armoires par :
 - le câble d'alimentation de la partie opérative.
 - le câble d'alimentation du variateur repéré (raccordé CEM).
- ☐ Utiliser des cordons de sécurité pour raccorder l'analyseur harmonique aux bornes U1, pour réaliser la mesure de la tension réseau,
- ☐ Remplacer les cavaliers I1 (phase ou neutre) et IFP par un cordon de sécurité pour permettre la mise en place de la pince TI de l'analyseur harmonique et réaliser la mesure du courant réseau.
- ☐ Agir sur les boutons poussoirs correspondant aux différents filtres mis en oeuvre.
- ☐ Remplacer un des cavaliers I_M courant de sortie VV par un ampèremètre RMS pour réaliser la mesure du courant de charge réglé par le frein à poudre.

Objectif de l'activité

- ☐ Mise en oeuvre et analyse des différents remèdes.
- ☐ H0 : Connaître les normes en vigueur BF et HF, le marquage CE, ainsi que leurs champs d'application ;
- ☐ H2 : Choisir et appliquer une stratégie de protection en fonction des données constructeur (montage et remèdes) ;
- ☐ H4 : Identifier les différents pollueurs et victimes de l'installation ;
- ☐ H5 : Proposer un protocole d'investigation et de mesures sur site ;
- ☐ H6 : Déterminer, en fonction de critères prédéfinis, la stratégie de protection utilisé sur l'installation et justifier cette dernière.

Procédure de démarrage du variateur ATV28 et de freinage du moteur par frein à poudre.

Sur l'armoire de commande

- ☐ Mise sous tension du variateur par le bouton poussoir **I/O** situé sur la face avant.
- ☐ ordre de démarrage, de sens rotation et d'arrêt du moteur par le commutateur à trois positions AV, O, AR situé sur la face avant.

Sur la partie opérative

- ☐ validation et réglage du freinage du moteur.
- ☐ Validation ou arrêt du freinage par action sur le commutateur C5.
- ☐ Réglage du freinage par le potentiomètre P1.

Le freinage sera réglé pour ajuster le courant de sortie du variateur par exemple à $I_N = 2,1A$ grâce à un ampèremètre situé en série sur un cavalier de sortie IM.

Note : Lors des manipulations, il est conseillé pour arrêter ou démarrer le moteur, de se servir du commutateur AV, O, AR et non pas du BP (**I/O**) de façon à éviter de solliciter trop fréquemment la protection de l'étage d'entrée du variateur.

A- Mise en évidence du pollueur

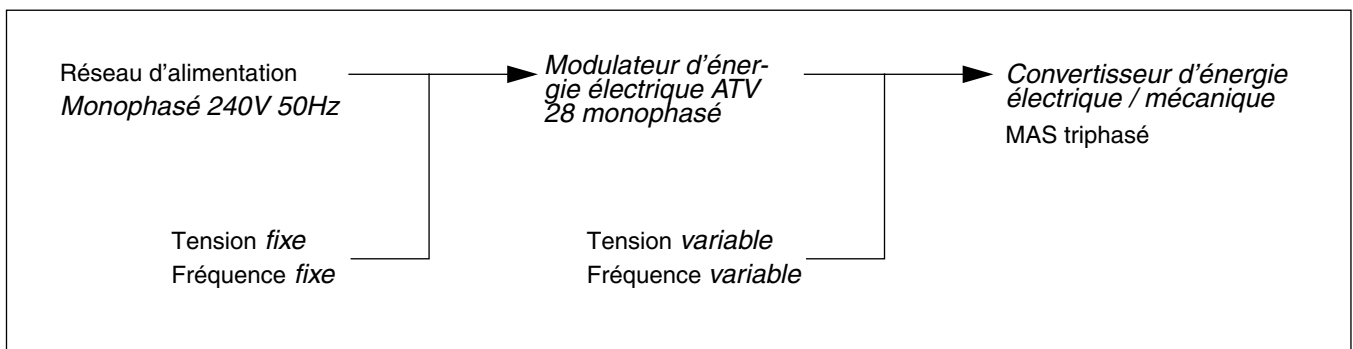
■ Vous êtes concepteur de l'armoire d'alimentation d'une MAS, en BT, < 16 A donc soumis à une réglementation produit avec des restrictions par cordon (CEI 61000-3-2).

Analyse de l'installation

□ Armoire sans filtre : points de mesure U1-I1.

1 - Mettre en évidence, grâce au schéma, la chaîne de transfert de l'énergie électrique.

□ Utiliser un surligneur pour suivre le parcours de l'énergie sur le schéma puis compléter la représentation suivante :



2 - Relever en toute sécurité la valeur du courant de ligne avec un appareil non RMS (i1) puis un appareil RMS (i2).

□ Que constate t-on ?

i1 ≠ i2, il est donc important de prendre le bon appareil de mesure.

3 - Relevez en toute sécurité l'allure du couple tension/courant sur la ligne d'alimentation.

□ Le courant est-il sinusoïdal ?

On constate que le courant est alternatif non sinusoïdal.

Cette allure permet d'expliquer la différence de relevé constaté à la question 1 par la présence d'harmoniques.

4 - En fonction de ces informations, la charge que constitue cette armoire est-elle une charge linéaire ?

□ Identifier l'élément pollueur de cette installation.

La charge n'est pas linéaire et le pollueur est le modulateur ATV 28.

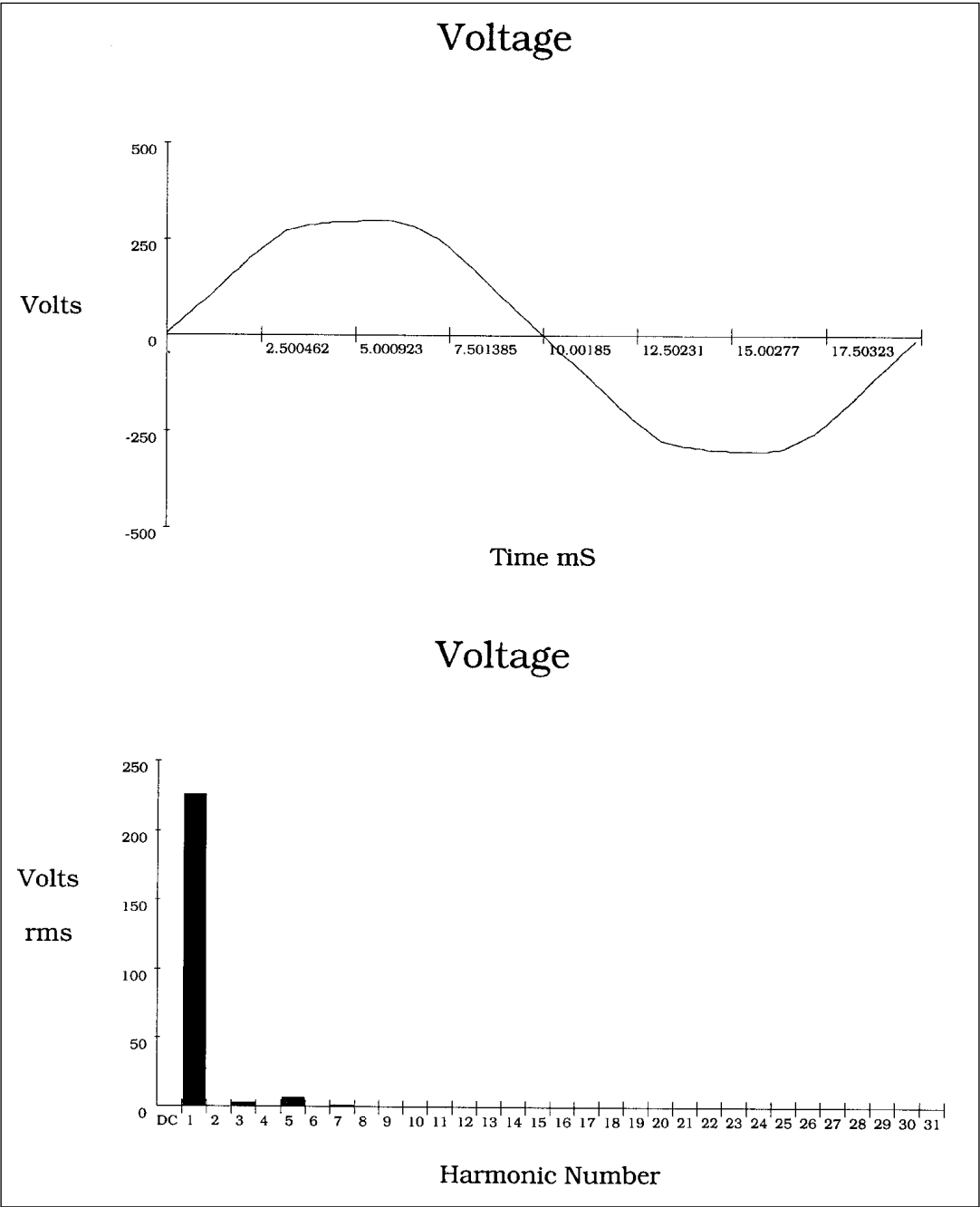
Étude harmonique : ■ Utilisation d'un analyseur de spectre.

Réaliser en toute sécurité le relevé des paramètres suivant à l'aide d'un analyseur, les paramètres de l'alimentation en énergie électrique du coffret aux points de mesure U111. L'analyseur nous offre de nombreuses mesures, nous nous limiterons aux valeurs suivantes :

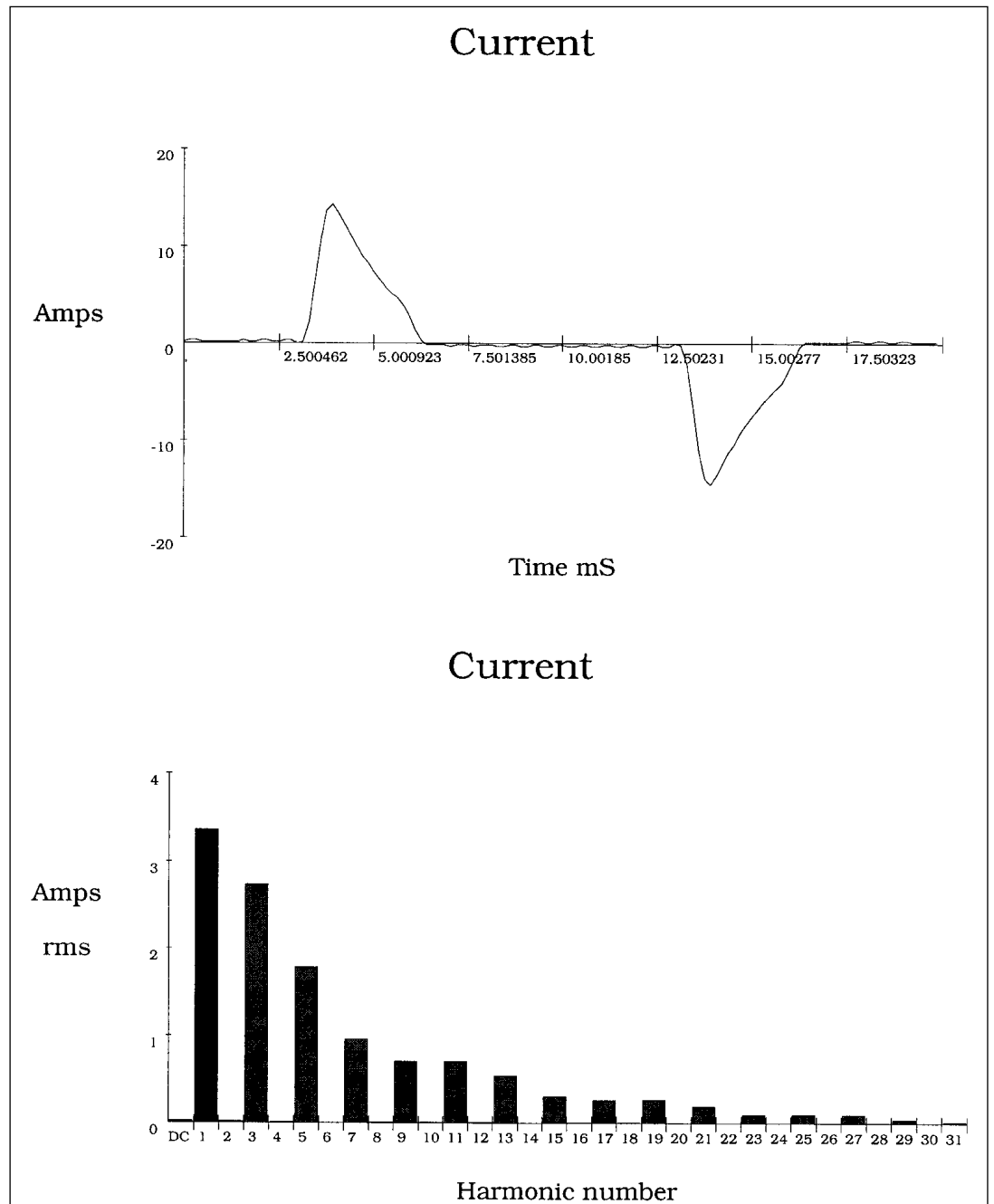
- ☐ TDH pour le taux de distorsion de tension et de courant par rapport au fondamental (THD Fund),
- ☐ le courant efficace (IRMS),
- ☐ H1 pour le fondamental,
- ☐ le Facteur de Puissance (PF),
- ☐ le Cos φ (DPF),
- ☐ Le facteur de crête (CF),
- ☐ la puissance active (KW),
- ☐ la puissance apparente (KVA),
- ☐ ainsi qu'aux allures de la tension, du courant, de la puissance et de leur spectre harmonique.
- ☐ Exploitation des relevés :

TDHu (%)	TDHi (%)	IRMS	IH1 (A)	IH3 (A)	IH5 (A)	IH7 (A)	IH9 (A)	PF	Cos φ	P (kW)	Q (kVA)
3,3	108,2	4,96	3,36	2,74	1,8	0,96	0,7	0,65	0,98	0,72	1,12

- Objectifs du TP N°2 :**
- ☐ Etude du comportement d'un modulateur d'énergie vis à vis de la norme CEI 61000 - 3 - 2.
 - ☐ Dans la maquette nous utilisons un convertisseur de fréquence de type ALTIVAR 28, permettant un courant de sortie de 2,1A (voir chapitre 7.11 caractéristiques des constituants de la notice technique).
 - ☐ Cette valeur de courant de 2,1A sera utilisée comme référence pour nos mesures.



☐ Mesure de la tension en U1



- ☐ Mesure de la tension en I1
- ☐ VV à In
- ☐ Spectre riche

Étude des
phénomènes
harmoniques

TP 2 : Étude des remèdes

6/58

Readings - 02/02/99 11:14:26

Summary Information

Frequency 50,0
Power
KW 0,72
KVA 1,12
KVAR 0,17
Peak KW 4,41
Phase 13° lead
Total PF 0,65
DPF 0,98

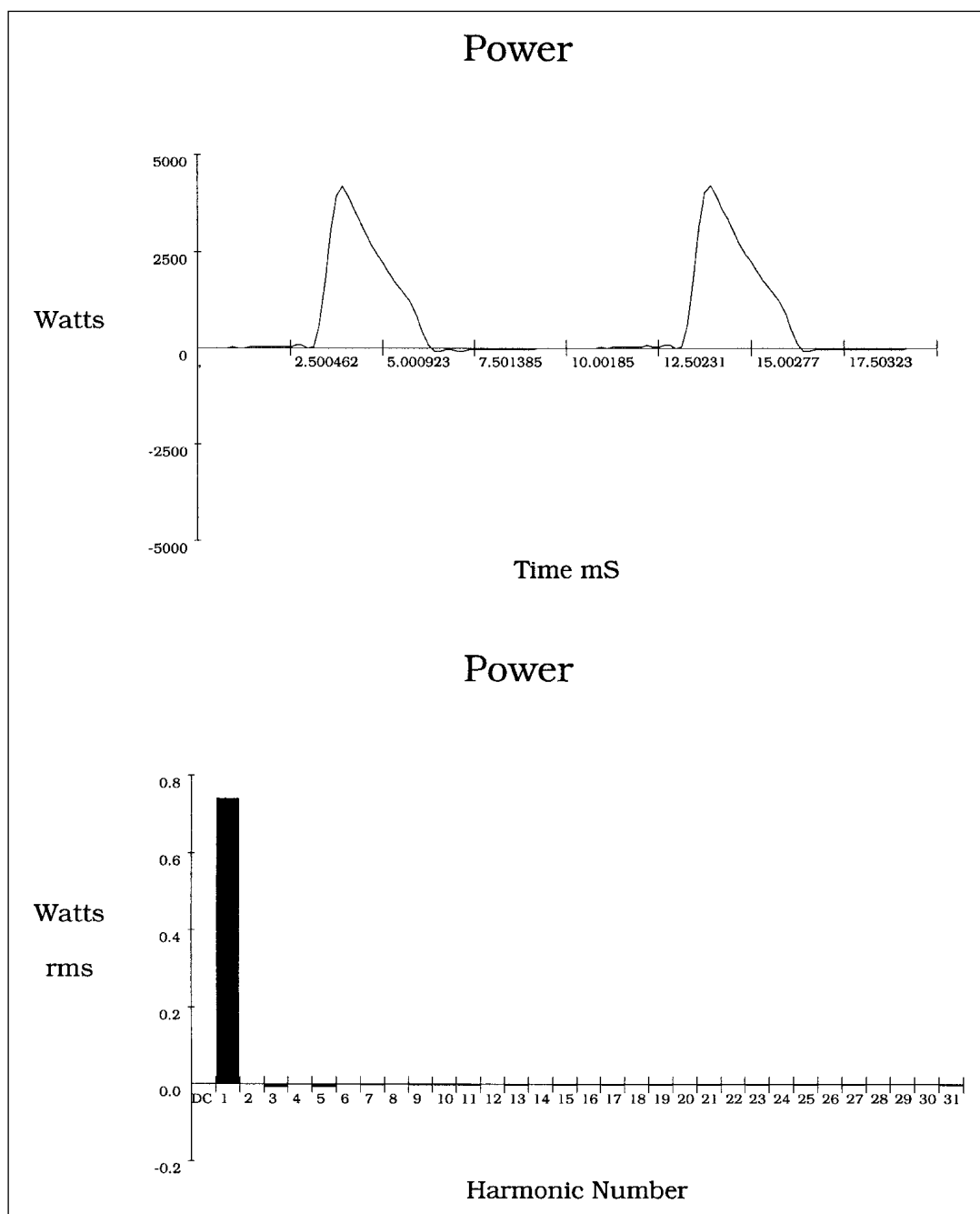
Voltage 226
Current 4,96
Peak 307
DC Offset 0
Crest 1,36
THD Rms 3,3
THD Fund 3,3
HRMS 8
KFactor 18,7

Record Information

Max Average Min
V RMS
A RMS
V Peak
A Peak
V THD-R%
A THD-R%
KWatts
KVAR
TPF
DPF
Frequency

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,0	0	0,03	0,6	0	0,00
1	50,0	226	100,0	0	3,36	68,1	13	0,74
2	100,0	0	0,1	51	0,02	0,5	105	0,00
3	150,0	3	1,2	31	2,74	55,5	-149	-0,01
4	200,0	0	0,0	-3	0,01	0,2	-71	0,00
5	250,0	7	3,0	-179	1,79	36,2	58	-0,01
6	299,9	0	0,0	-22	0,00	0,1	-58	0,00
7	349,9	2	0,7	43	0,96	19,4	-79	0,00
8	399,9	0	0,0	98	0,01	0,2	132	0,00
9	449,9	0	0,2	-15	0,70	14,2	170	0,00
10	499,9	0	0,0	123	0,01	0,2	-29	0,00
11	549,9	0	0,1	-84	0,70	14,3	39	0,00
12	599,9	0	0,0	-129	0,01	0,2	174	0,00
13	649,9	0	0,2	48	0,54	10,9	-103	0,00
14	699,9	0	0,0	-13	0,00	0,1	82	0,00
15	749,9	0	0,2	-49	0,31	6,3	130	0,00
16	799,9	0	0,0	117	0,01	0,2	-39	0,00
17	849,8	0	0,1	-94	0,26	5,3	25	0,00
18	899,8	0	0,0	89	0,01	0,2	169	0,00
19	949,8	0	0,1	124	0,27	5,5	-108	0,00
20	999,8	0	0,0	-137	0,00	0,1	22	0,00
21	1049,8	0	0,1	-56	0,20	4,0	110	0,00
22	1099,8	0	0,0	53	0,00	0,1	-30	0,00
23	1149,8	0	0,0	-139	0,10	2,0	-8	0,00
24	1199,8	0	0,0	-146	0,01	0,1	168	0,00
25	1249,8	0	0,1	127	0,10	2,0	-108	0,00
26	1299,8	0	0,0	136	0,00	0,1	-5	0,00
27	1349,8	0	0,1	-13	0,10	2,0	112	0,00
28	1399,7	0	0,0	129	0,00	0,0	146	0,00
29	1449,7	0	0,0	-124	0,05	1,0	-28	0,00
30	1499,7	0	0,0	90	0,00	0,0	-160	0,00
31	1549,7	0	0,0	140	0,02	0,5	-90	0,00



Travail sur les relevés : 5 - Notre installation est-elle conforme à la norme ?

☐ Quel paramètre est important ?

Notre armoire n'est pas conforme.

*CEI 61000-3-2 : norme d'émission pour l'appareillage BT < 16 A :
IH3 < 2,3 A*

*Note : elle serait conforme en milieu industriel avec une distribution
privée (grande parties des applications).*

6 - Comparer la valeur IH1 avec le relevé du courant effectué par
l'appareil non RMS (i1).

☐ Que peut-on en conclure ?

IH1 = i1, un appareil non RMS mesure le fondamental du courant

7 - Comment calculer IRMS en fonction du spectre harmonique ?

$$IRMS = \sqrt{\sum (IH_n)^2}$$

8 - Rechercher les définitions de FP et de cos φ.

☐ Que traduisent ces deux valeurs ?

Il n'y a pas de déphasage en amont d'un variateur de vitesse

*cosφ = 1 mais la richesse du spectre harmonique dégrade fortement
le facteur de puissance PF = 0,68.*

9 - Analyse des spectres :

☐ Expliquer la pauvreté du spectre de puissance et conclure sur le
transport de l'énergie active.

*La puissance active est la somme des puissances actives dues aux
tensions et courants de même rang.*

*Dans notre cas, malgré un spectre de courant très riche, la puis-
sance active ne transite que par le fondamental. Ceci s'explique par
la tension qui est sinusoïdale donc uniquement composé du fonda-
mental.*

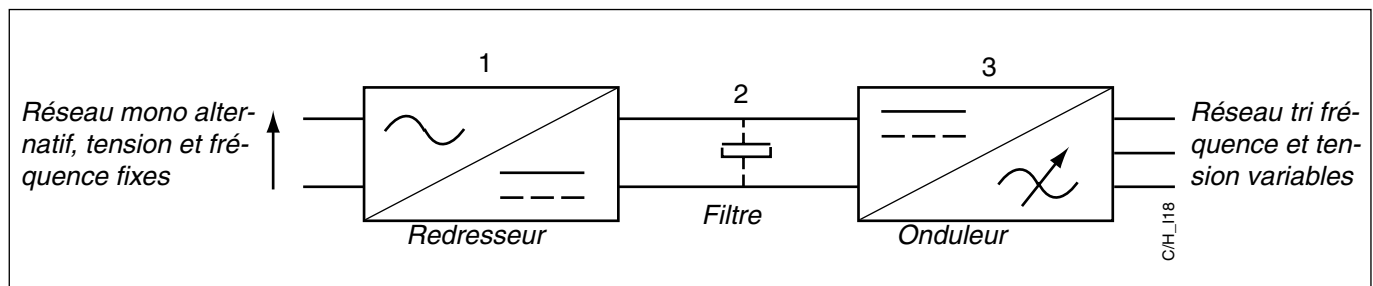
*$P = URMS \cdot IRMS \cdot PF = UH1 \cdot IH1 \cdot \cos\varphi + UH2 \cdot IH3 \cdot \cos\varphi_2 +$
 $UHn \cdot IHn \cdot \cos\varphi_n + \dots$ avec $UH2 = 0 \dots UHn = 0$.*

B - Etude du pollueur

Le générateur d'harmoniques est un convertisseur de fréquence (CdF) ATV 28.

1 - Expliquer son rôle en donnant le principe de variation de vitesse d'une MAS.

2 - A l'aide des documents constructeur, compléter le synoptique interne du modulateur.



1 - Convertisseur alternatif/continu fixe, généralement constitué par un pont de diode.

2 - Filtre constitué par une batterie de condensateur.

3 - Convertisseur continu/alternatif à modulation de largeur d'impulsion MLI constitué de transistors IGBT.

Ce pont onduleur a pour but de fournir au moteur un système de tension alternative triphasée d'amplitude et de fréquence variables.

☐ **Analyse des paramètres constructeur :**

Réseau			Moteur Puissance indiquée sur la plaque		ATV 28HU09M2		
U1	U2	Courant de ligne (A)	0,37 kW	0,5 HP	Courant de sortie permanent (A)	Courant transitoire (A)	Puissance dissipée à charge nominale (W)
200	240				2,1	3,1	23
mono-phasé 50/60 Hz		U1 4,4 U2 3,9					

3 - Calculer la puissance active absorbée par le variateur pour une tension réseau U_2 de 240 V.

Décoder les paramètres constructeur et utiliser l'un des deux facteurs suivant : $FP = 0,65$ ou $\cos\varphi = 0,98$.

$$P_a = U_{eff}.I_{eff}.FP = 226 \times 4,96 \times 0,65 = 728W$$

4 - Calculer la puissance de sortie du variateur (P_u), pour un courant de sortie sinusoïdal, une tension efficace de sortie de 240 V, le facteur de puissance est lié au $\cos\varphi$ imposé par la charge soit 0,6.

$$P_u = 240 \times 2,1 \times 0,8 \times \sqrt{3} = 698 W$$

On retrouve bien les 23W de puissance dissipé à la charge nominale dans le variateur.

5 - Que représente la puissance de 0,37 kW indiquée sur le variateur ?

Elle représente la puissance disponible sur l'arbre moteur en prenant un rendement de l'ordre de 0,6.

Les remèdes industriels envisageables**■ Solutions générales :**

- abaisser les impédance des harmoniques
- agir sur la structure de l'installation :
 - ☐ augmentation de la puissance de court-circuit
 - ☐ choisir le bon schéma de liaison à la terre
 - ☐ utilisation de transformateurs spécifiques
 - ☐ confiner les charges polluantes
 - ☐ déclassement des équipements

■ Solution de neutralisation :

- protection des condensateurs de compensation d'énergie réactive
- ☐ Installation de self anti-harmoniques (SAH)
- filtrage anti-harmoniques :
 - ☐ lisser le courant
 - ☐ filtrage passif shunt résonnant
 - ☐ filtrage actif
 - ☐ filtrage hybride

C- Les remèdes

Les relevés précédents mettent en évidence que le taux de distortion en courant, à l'entrée du redresseur, est trop important.

Il est donc nécessaire de réduire les courants harmoniques. Pour ce faire, quatre méthodes sont utilisées :

- ☐ mettre une inductance supplémentaire à l'entrée du redresseur pour atténuer globalement l'amplitude des harmoniques ;
- ☐ utiliser un Filtre Passif accordé sur une fréquence particulière, riche en harmonique ;
- ☐ utiliser un Filtre Actif capable de balayer tout le spectre harmonique ;
- ☐ utiliser un Filtre Hybride pour optimiser le filtrage.

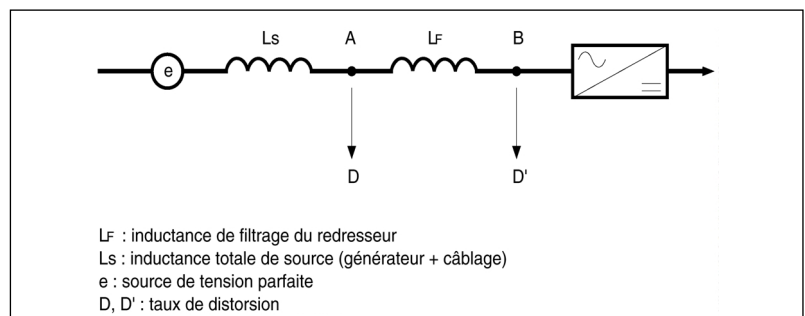
Mise en place d'une inductance à l'entrée du redresseur : lissage du courant

Il est possible de limiter les courants harmoniques de certains convertisseurs en intercalant entre leur point de raccordement et leur entrée une inductance dite de lissage. Cette disposition est utilisée en particulier pour les redresseurs avec condensateurs en tête ; l'inductance pouvant même être proposée en option par les constructeurs.

1 - Que préconise le constructeur et comment justifie t-il l'emploi d'une inductance de ligne ? (catalogue ATV28)

Réduction du taux d'harmoniques et protection contre les surtensions réseau, norme EN 50178, la valeur de la self est définie pour une chute de tension comprise entre 3 et 5 % de la tension nominale du réseau pour éviter une perte de couple du moteur.

Inductance proposée 10 mH 4A



2 - Réaliser en toute sécurité le relevé des paramètres suivant à l'aide d'un analyseur, les paramètres de l'alimentation en énergie électrique du coffret aux points de mesure U111. L'analyseur nous offre de nombreuses mesures, nous nous limiterons aux valeurs suivantes :

- ☐ TDH pour le taux de distorsion de tension et de courant par rapport au fondamental (THD Fund),
- ☐ le courant efficace (IRMS),
- ☐ H1 pour le fondamental,
- ☐ le Facteur de Puissance (PF),
- ☐ le $\cos \varphi$ (DPF),
- ☐ Le facteur de crête (CF)
- ☐ la puissance active (KW),
- ☐ la puissance apparente (KVA),
- ☐ ainsi qu'aux allures de la tension, du courant, de la puissance et de leur spectre harmonique.
- ☐ Exploitation des relevés :

0,89	TDHi (%)	IRMS	IH1 (A)	IH3 (A)	IH5 (A)	IH7 (A)	IH9 (A)	PF	Cos φ	P (kW)	Q (kVA)
3	59,8	3,95	3,38	1,92	0,5	0,34	0,14	0,82	0,95	0,95	0,72

3 - Comment à évolué le TDHi de l'installation ?

- ☐ Commenter l'évolution des IH, de FP et du $\cos \varphi$.

La self permet de lisser le courant mais n'annule pas les harmoniques, le TDHi est pratiquement divisé par 2, on se rend bien compte que la self n'agit pas sur le fondamental mais atténue fortement les harmoniques donc permet d'améliorer le PF sans trop dégrader le $\cos \varphi$.

L'utilisation d'inductances de ligne en amont des convertisseurs de fréquence a les effets suivants :

- Réduction des harmoniques de courant et donc de la valeur efficace du courant demandé au réseau.
- Conservation de la valeur de IH1 (fondamental) pour maintenir le couple moteur.
- Augmentation du facteur de puissance FP sans introduire de déphasage $\cos \varphi$ reste constant.
- Diminution du facteur de crête.

4 - Calculer la valeur de la self en fonction des données constructeur.

■ Calcul de la valeur de self

□ chute de tension : Δu total admissible pour maintenir le couple moteur $\leq 3\%$ de 240V

$$\Delta u \leq 7V$$

$$\square L1 = \frac{\Delta u}{\omega \cdot I_{h1}} = \frac{7}{2\pi \cdot 50 \cdot 2,4} = 10mH$$

■ Calcul courant de la self L1

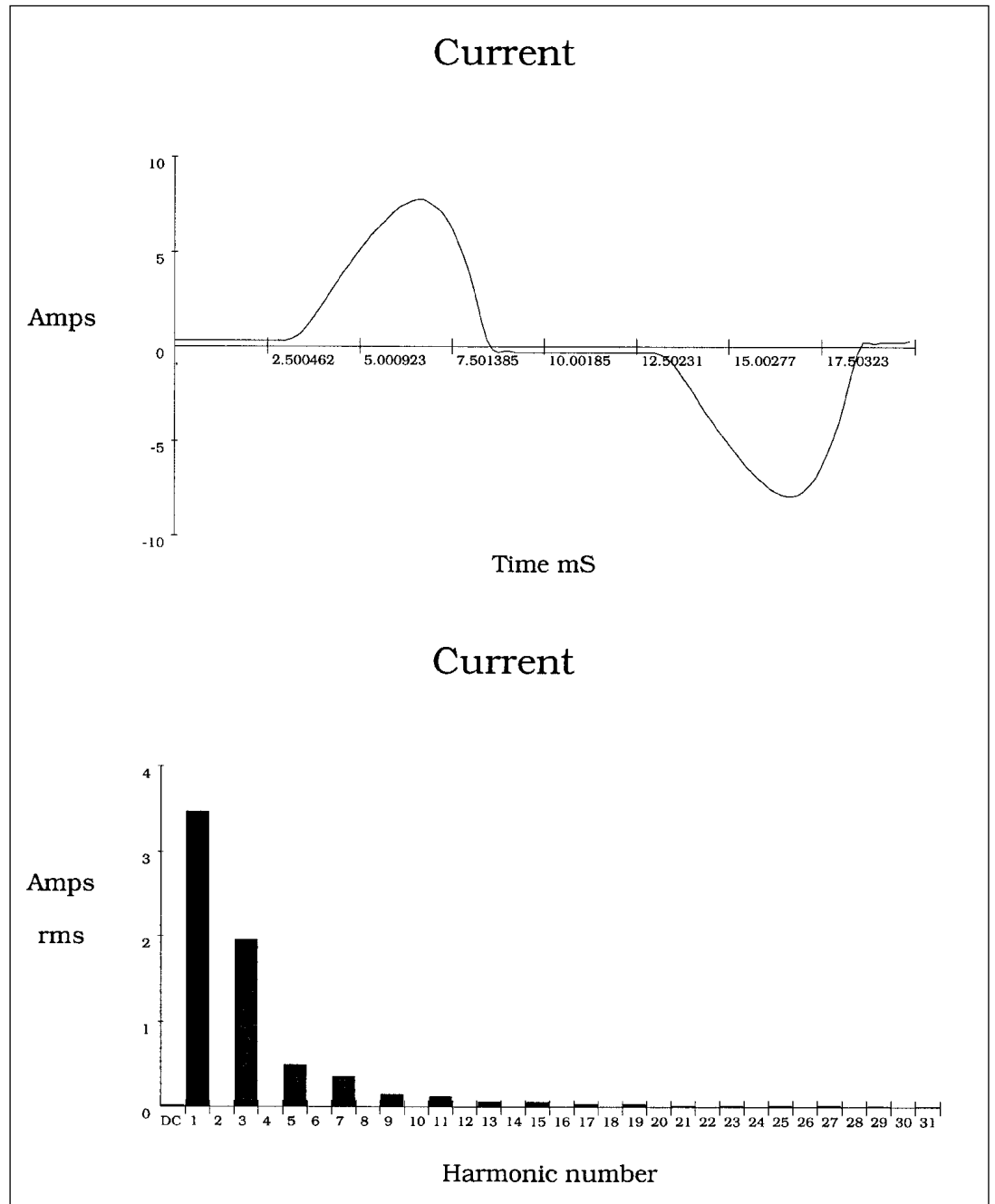
□ $I_{effL1} = I_{eff}$ du variateur = 4A

□ Nota : tenir compte des éventuels courants harmoniques pré-existant sur le réseau

□ Choix de L1 : n° 18175 AGECELEC ; 15 mH ; 6,5A.

Note : le choix volontaire d'une self plus forte a été faite à des fins pédagogiques de façon à mieux visualiser le TDHu (cf question 4),

par contre le couple moteur sera légèrement diminué.



- ☐ Mesure sur réseau
- ☐ L1 = 15 mH
- ☐ VV à IN
- ☐ IN = courant nominal = 2,1A
- ☐ Légère atténuation de tout les spectres

Étude des
phénomènes
harmoniques

TP 2 : Étude des remèdes

16/58

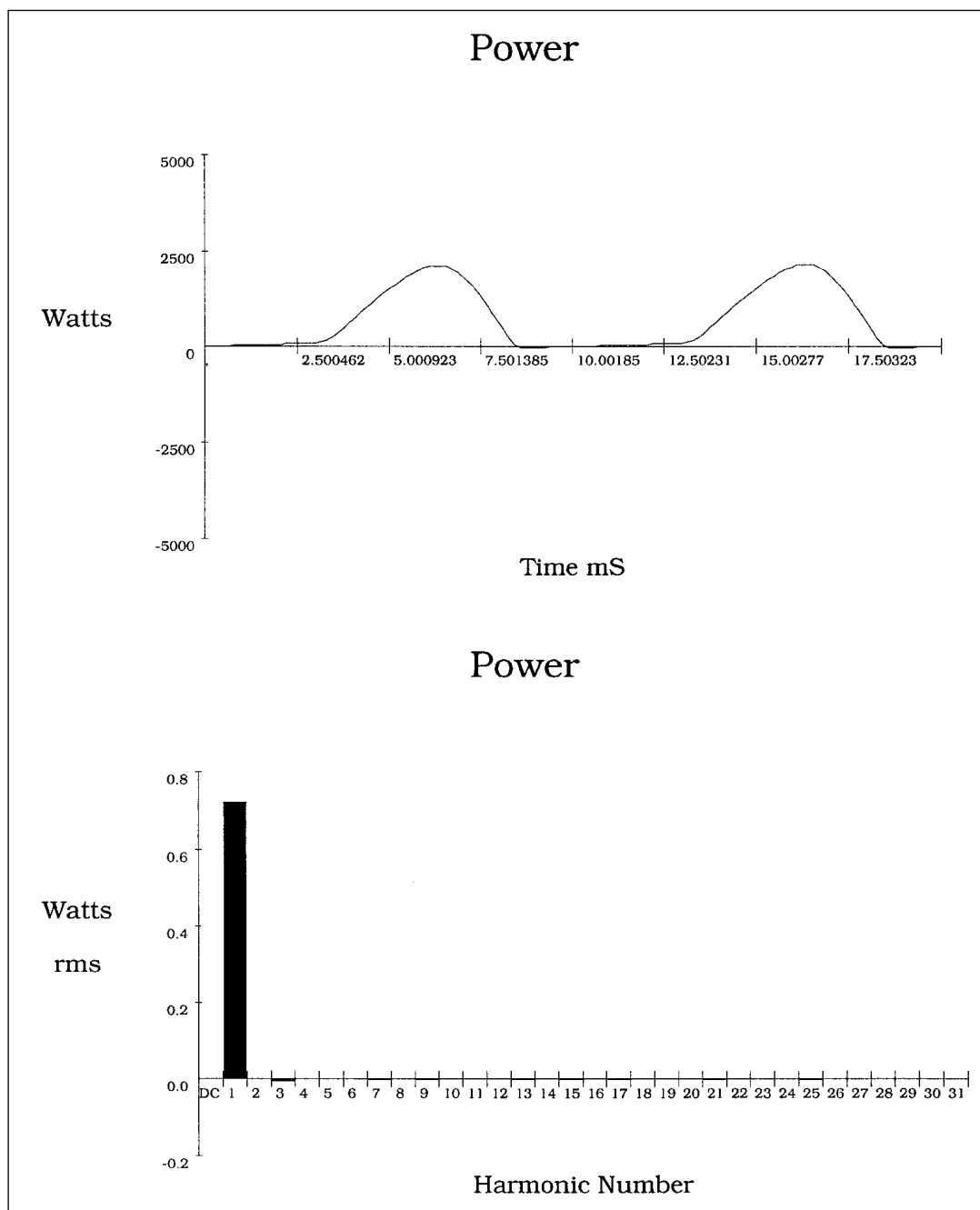
Readings - 02/02/99 12:02:54

Summary Information

		Voltage		Current	Record Information		Max	Average	Min
Frequency	50,0	RMS	225	3,95	V RMS				
Power		Peak	308	7,88	A RMS				
KW	0,72	DC Offset	0	-0,02	V Peak				
KVA	0,89	Crest	1,37	2,0	A Peak				
KVAR	0,24	THD Rms	3,1	51,3	V THD-R%				
Peak KW	2,27	THD Fund	3,1	59,8	A THD-R%				
Phase	18° lag	HRMS	7	2,02	KWatts				
Total PF	0,81	KFactor		4,1	KVAR				
DPF	0,95				TPF				
					DPF				
					Frequency				

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,0	0	0,02	0,5	0	0,00
1	50,0	225	100,0	0	3,38	86,2	-18	0,72
2	100,0	0	0,1	48	0,02	0,5	42	0,00
3	150,0	3	1,3	-51	1,92	48,9	114	-0,01
4	200,0	0	0,0	17	0,01	0,2	156	0,00
5	250,0	6	2,5	150	0,50	12,6	-146	0,00
6	299,9	0	0,0	108	0,00	0,0	-164	0,00
7	349,9	2	1,0	28	0,34	8,7	-101	0,00
8	399,9	0	0,0	135	0,00	0,0	-79	0,00
9	449,9	1	0,2	-139	0,14	3,5	-13	0,00
10	499,9	0	0,0	141	0,00	0,0	-159	0,00
11	549,9	0	0,2	18	0,12	3,0	16	0,00
12	599,9	0	0,0	80	0,00	0,1	-20	0,00
13	649,9	1	0,3	-21	0,06	1,6	90	0,00
14	699,9	0	0,0	127	0,00	0,0	62	0,00
15	749,9	0	0,1	-84	0,06	1,6	135	0,00
16	799,9	0	0,0	35	0,00	0,0	99	0,00
17	849,8	0	0,1	32	0,04	0,9	-160	0,00
18	899,8	0	0,0	-63	0,00	0,0	165	0,00
19	949,8	0	0,0	-51	0,04	1,0	-108	0,00
20	999,8	0	0,0	17	0,00	0,0	-132	0,00
21	1049,8	0	0,1	-174	0,02	0,5	-51	0,00
22	1099,8	0	0,0	53	0,00	0,0	-89	0,00
23	1149,8	0	0,0	-84	0,02	0,6	6	0,00
24	1199,8	0	0,0	36	0,00	0,0	-167	0,00
25	1249,8	0	0,0	-68	0,02	0,5	53	0,00
26	1299,8	0	0,0	127	0,00	0,0	39	0,00
27	1349,8	0	0,0	-149	0,02	0,4	114	0,00
28	1399,7	0	0,0	-98	0,00	0,0	53	0,00
29	1449,7	0	0,0	0	0,01	0,3	169	0,00
30	1499,7	0	0,0	-114	0,00	0,0	122	0,00
31	1549,7	0	0,0	-63	0,01	0,3	-126	0,00



■ Principe

**Utilisation de filtres passifs
d'harmoniques :**

Une mesure préliminaire est nécessaire pour accorder le filtre et pour vérifier que le réseau n'amène pas d'harmoniques qui pourrait saturer le filtres.

Il s'agit ici d'utiliser un condensateur en série avec une inductance de façon à obtenir l'accord sur un harmonique de fréquence donnée. Cet ensemble placé en dérivation sur l'installation présente une impédance très faible pour sa fréquence d'accord, et se comporte comme un court-circuit pour l'harmonique considéré.

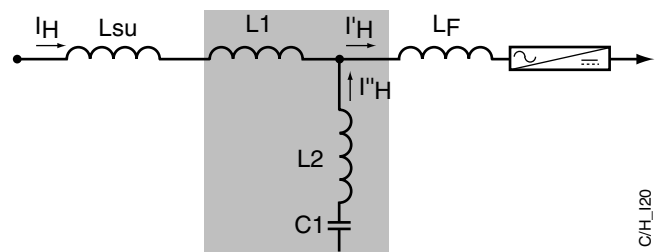
Il est possible d'utiliser simultanément plusieurs ensembles accordés sur des fréquences différentes afin d'éliminer plusieurs rangs d'harmoniques.

D'apparence simple ce principe demande toutefois une étude soignée de l'installation car si le filtre se comporte bien comme un court-circuit pour la fréquence désirée, il peut présenter des risques de résonnance avec les autres inductances du réseau sur d'autres fréquences et ainsi faire augmenter des niveaux d'harmoniques.

□ Schéma de principe :

Principe : La branche parallèle du filtre est constituée d'un circuit accordé sur l'harmonique le plus important qui présentera une impédance nulle pour ce dernier.

La branche série du filtre comporte une inductance $L1$ destinée à réaliser un découplage de la branche parallèle vis-à-vis de la source.



□ En appelant Z_{pn} et Z_{sn} les impédances des branches parallèle et série du filtre pour l'harmonique de rang n , et si le courant généré par le redresseur pour ce rang est I'_{Hn} , le courant fourni par la source est :

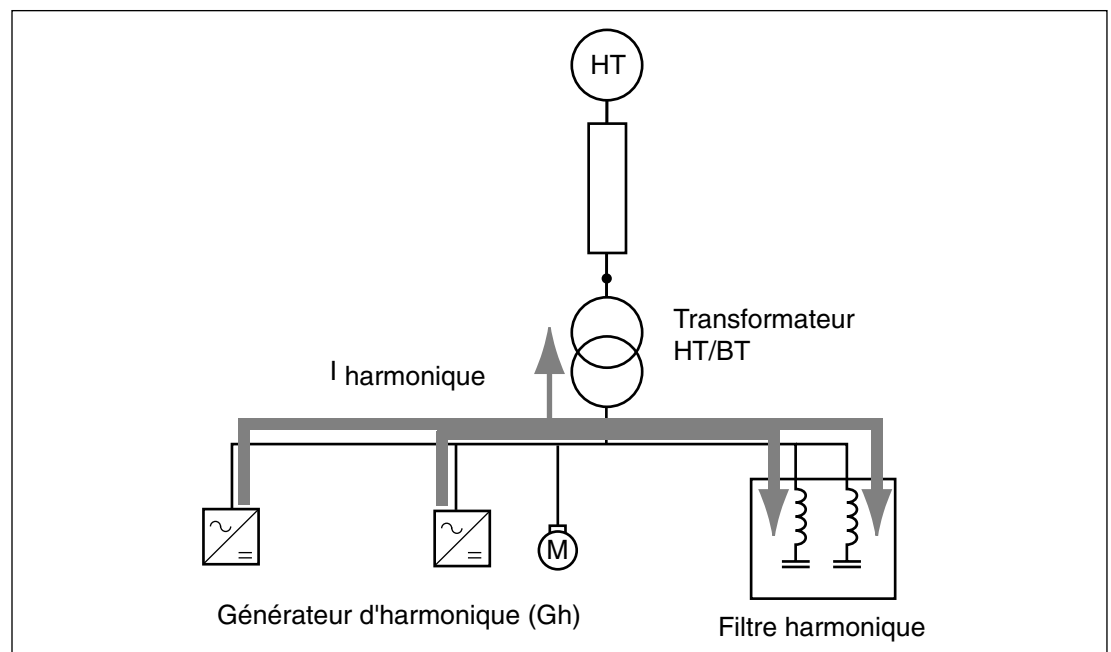
$$I_{Hn} = I'_{Hn} \cdot (Z_{pn} / (Z_{pn} + Z_{sn}))$$

- pour l'harmonique accordé, l'impédance parallèle est nulle. Tout le courant d'harmonique traverse donc la branche parallèle du filtre et cet harmonique n'affecte plus les autres utilisations.

- pour l'harmonique supérieur, du fait de la proximité de l'accord, l'impédance parallèle est encore faible et une grande partie de cet harmonique est aussi éliminée.

- enfin, pour les harmoniques de rangs élevés, l'impédance parallèle du filtre est très proche de celle de son inductance L_p : le filtre fonctionne en diviseur de courant.

Pour les harmoniques de rangs élevés : $I_{Hn} = I'_{Hn} \cdot L_2 / (L_2 + L_1 + L_s)$. Si L_2 est choisi de façon à avoir : $L_2 = L_s + L_F$, alors $I_{Hn} = 0,5 \cdot I'_{Hn}$



□ Rang d'accord des filtres harmoniques :

- rangs 5 et 7 en triphasé
- rangs 3 et 5 en monophasé

■ Mesure

1 - Mettre en service les selfs L1 et le filtre passif L2-C1 (filtre accordé sur l'harmonique de rang 3).

Réaliser en toute sécurité le relevé des paramètres suivant à l'aide d'un analyseur les paramètres de l'alimentation en énergie électrique du coffret aux points de mesure U111 (sur le réseau).

TDH pour le taux de distorsion de tension et de courant par rapport au fondamental (THD Fund), le courant efficace (IRMS), H1 pour le fondamental, le Facteur de Puissance (PF), le $\cos \varphi$ (DPF), le facteur de crête $\cos \varphi$, la puissance active (KW), la puissance apparente (KVA).

Ainsi que l'allure de la tension, du courant, de la puissance et de leur spectre harmonique.

TDHu (%)	TDHi (%)	IRMS	IH1 (A)	IH3 (A)	IH5 (A)	IH7 (A)	IH9 (A)	PF	Cos φ	P (kW)	Q (kVA)
3,4	19,6	3,78	3,7	0,47	0,48	0,10	0,22	0,88	0,89	0,74	0,85

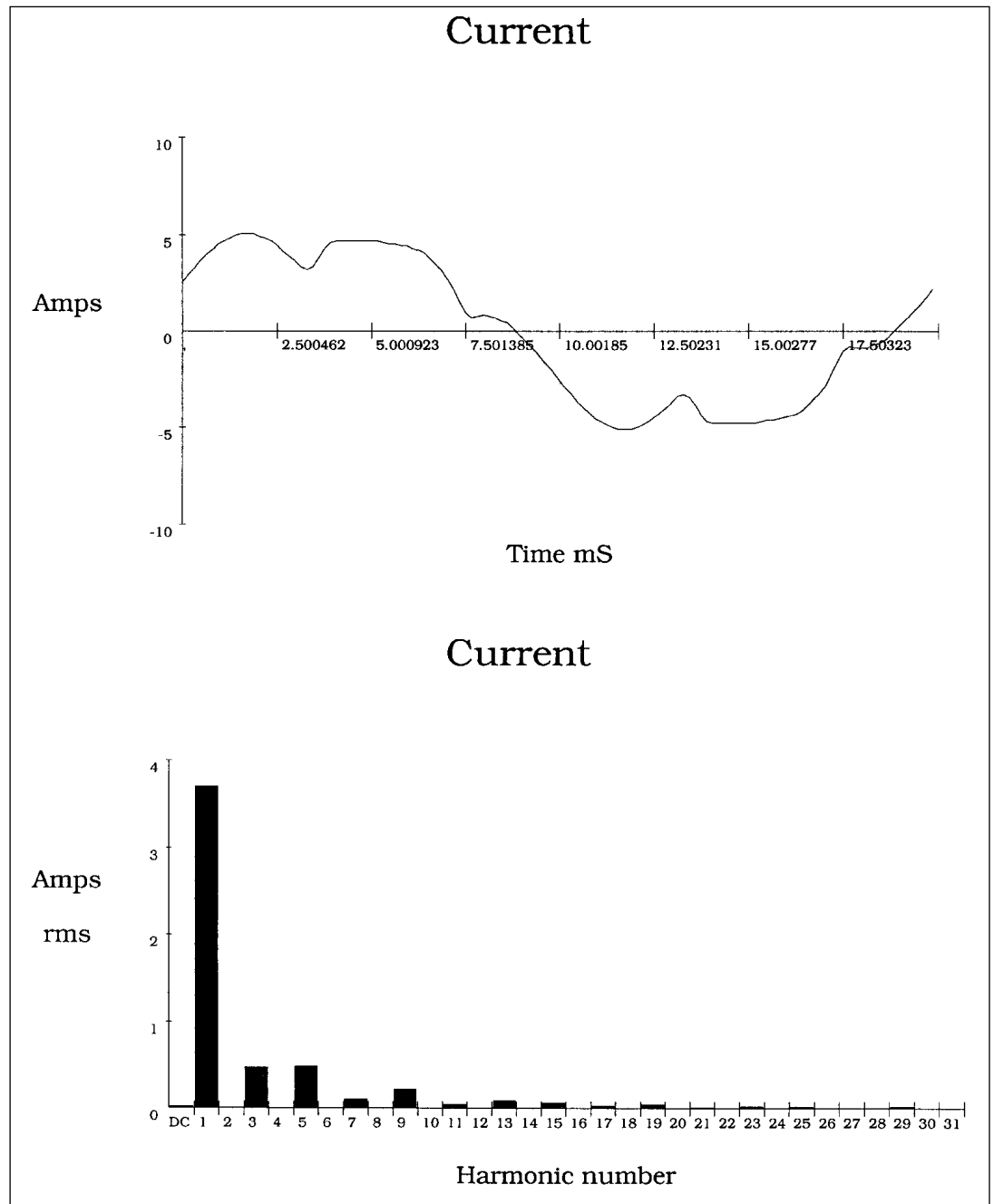
2 - Comment à évolué le TDHi de l'installation ?

□ Commenter l'évolution des IH, de FP et du $\cos \varphi$.

Le filtre passif permet de «taper» sur un rang harmonique mais ne traite pas tout le spectre, le TDHi est pratiquement divisé par 4, on se rend bien compte que le fondamental n'est pas affecté, que le filtre est accordé sur le rang 3 (fréquence de résonance) mais agit aussi sur les rangs proches (5,7,9) le PF et le Cos φ sont pratiquement unitaire. On tient largement la norme 1 A de IH3.

L'utilisation du filtre passif en amont des convertisseur de fréquence a les effets suivants :

- Réduction des harmoniques de courant et donc de la valeur efficace du courant demandé au réseau.
- Conservation de la valeur IH1 (fondamental) pour maintenir le couple moteur.
- Augmentation du facteur de puissance FP.
- Diminution du facteur de crête.



- ☐ Mesure **sur réseau** en I1.
- ☐ VV seul à IN.
- ☐ Filtre passif connecté avec $L2 = 46\text{mH}$.
- ☐ Réduction très forte du rang 3 grâce au filtre passif accordé sur ce rang.
- ☐ Le reste du spectre demeure.

Étude des
phénomènes
harmoniques

TP 2 : Étude des remèdes

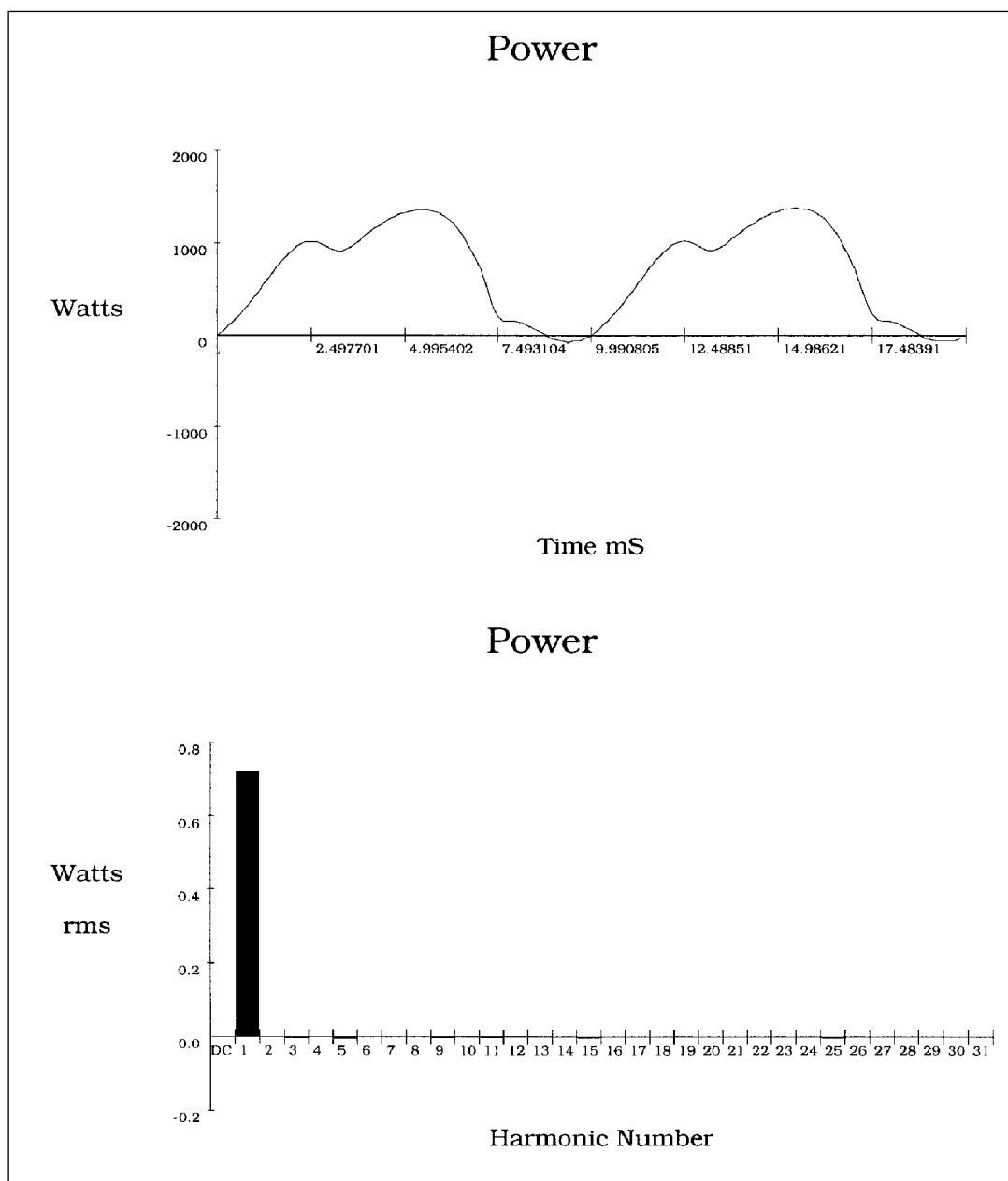
22/58

Summary Information

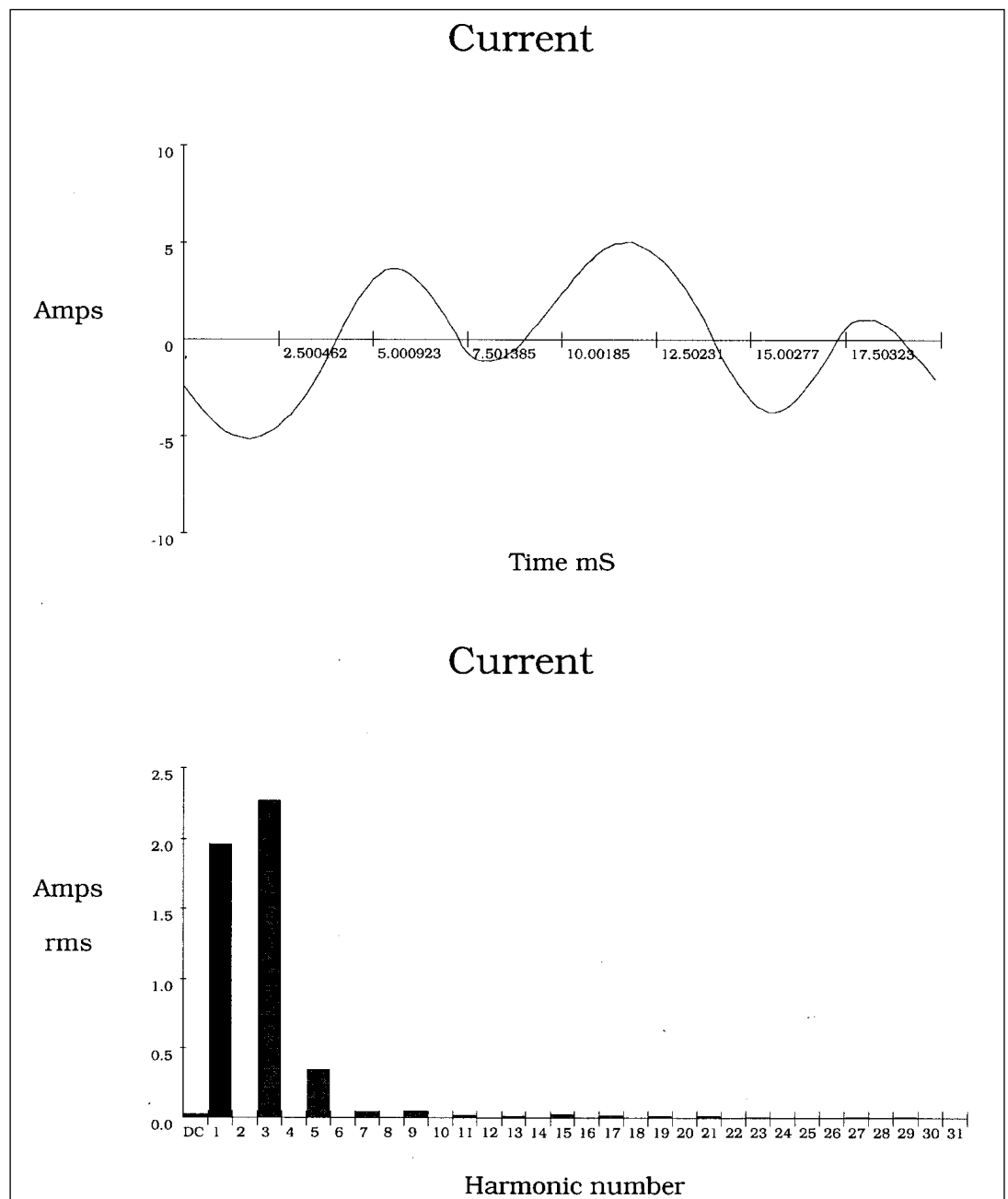
		Voltage		Current	Record Information			
		RMS	Peak		Max	Average	Min	
Frequency	50,0	225	307	3,78	V RMS			
Power		DC Offset	0	5,21	A RMS			
KW	0,74	Crest	1,36	-0,02	V Peak			
KVA	0,85	THD Rms	3,4	19,3	A Peak			
KVAR	0,37	THD Fund	3,4	19,6	V THD-R%			
Peak KW	1,51	HRMS	8	0,73	A THD-R%			
Phase	27° lead	KFactor		2,1	KWatts			
Total PF	0,88				KVAR			
DPF	0,89				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,0	0	0,02	0,6	0	0,00
1	50,0	225	100,0	0	3,70	98,6	27	0,74
2	100,0	0	0,1	51	0,01	0,4	65	0,00
3	150,0	1	0,5	-98	0,47	12,6	74	0,00
4	200,0	0	0,0	-16	0,00	0,0	110	0,00
5	250,0	7	3,1	171	0,48	12,7	-32	0,00
6	299,9	0	0,0	80	0,00	0,1	-123	0,00
7	349,9	2	0,9	-13	0,10	2,8	-45	0,00
8	399,9	0	0,0	98	0,00	0,1	-15	0,00
9	449,9	1	0,4	-63	0,22	5,8	124	0,00
10	499,9	0	0,0	162	0,00	0,0	-90	0,00
11	549,9	1	0,4	35	0,05	1,3	-75	0,00
12	599,9	0	0,0	-26	0,00	0,0	0	0,00
13	649,9	1	0,3	7	0,09	2,5	-93	0,00
14	699,9	0	0,0	103	0,00	0,0	13	0,00
15	749,9	0	0,1	-122	0,06	1,6	70	0,00
16	799,9	0	0,0	108	0,00	0,0	68	0,00
17	849,8	0	0,1	55	0,03	0,7	26	0,00
18	899,8	0	0,0	-136	0,00	0,1	141	0,00
19	949,8	0	0,1	-49	0,04	1,2	-153	0,00
20	999,8	0	0,0	32	0,00	0,0	121	0,00
21	1049,8	0	0,0	-117	0,01	0,4	25	0,00
22	1099,8	0	0,0	51	0,00	0,0	163	0,00
23	1149,8	0	0,0	56	0,02	0,6	-2	0,00
24	1199,8	0	0,0	113	0,00	0,0	-134	0,00
25	1249,8	0	0,0	-74	0,02	0,6	153	0,00
26	1299,8	0	0,0	-177	0,00	0,0	-77	0,00
27	1349,8	0	0,0	-172	0,01	0,1	152	0,00
28	1399,7	0	0,0	112	0,00	0,0	-37	0,00
29	1449,7	0	0,0	0	0,02	0,5	-75	0,00
30	1499,7	0	0,0	-34	0,00	0,0	-4	0,00
31	1549,7	0	0,0	-72	0,00	0,1	51	0,00



3 - Mesurer en toute sécurité, à l'aide d'un analyseur d'harmoniques, les paramètres du filtre passif aux points de mesure U1 IFP



- ☐ Mesure I dans le filtre passif.
- ☐ VV à IN
- ☐ avec L1 = 15 mH et L2 = 46 mH
- ☐ Ih3 élevé dans le filtre passif

**Étude des
phénomènes
harmoniques**
TP 2 : Étude des remèdes

25/58

Summary Information

		Voltage		Current	Record Information			
		RMS	Peak		Max	Average	Min	
Frequency	50,0	225	308	3,02	V RMS			
Power		DC Offset	0	-0,03	A RMS			
KW	-0,03	Crest	1,37	1,73	V Peak			
KVA	0,68	THD Rms	3,0	76,1	A Peak			
KVAR	0,44	THD Fund	3,0	117,1	V THD-R%			
Peak KW	1,17	HRMS	7	2,30	A THD-R%			
Phase	94° lag	KFactor		**OL**	KWatts			
Total PF	-0,04				KVAR			
DPF	-0,07				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,1	0	0,03	0,9	0	0,00
1	50,0	225	100,0	0	1,96	65,4	-94	-0,03
2	100,0	0	0,1	40	0,00	0,1	-81	0,00
3	150,0	1	0,5	-63	2,27	75,7	169	0,00
4	200,0	0	0,1	7	0,00	0,2	125	0,00
5	250,0	6	2,8	167	0,35	11,6	-61	0,00
6	299,9	0	0,0	71	0,00	0,1	-70	0,00
7	349,9	1	0,6	-15	0,05	1,6	50	0,00
8	399,9	0	0,0	131	0,00	0,0	-132	0,00
9	449,9	1	0,3	-82	0,05	1,8	86	0,00
10	499,9	0	0,0	163	0,00	0,0	-39	0,00
11	549,9	1	0,3	53	0,02	0,5	-137	0,00
12	599,9	0	0,0	79	0,00	0,0	136	0,00
13	649,9	0	0,2	-36	0,01	0,5	-81	0,00
14	699,9	0	0,0	141	0,00	0,0	-105	0,00
15	749,9	0	0,1	-98	0,02	0,8	38	0,00
16	799,9	0	0,0	-84	0,00	0,0	72	0,00
17	849,8	0	0,1	37	0,02	0,6	130	0,00
18	899,8	0	0,0	-48	0,00	0,0	-87	0,00
19	949,8	0	0,0	-98	0,01	0,4	-171	0,00
20	999,8	0	0,0	106	0,00	0,0	106	0,00
21	1049,8	0	0,1	-139	0,01	0,4	-77	0,00
22	1099,8	0	0,0	-134	0,00	0,0	-44	0,00
23	1149,8	0	0,0	112	0,01	0,2	77	0,00
24	1199,8	0	0,0	-160	0,00	0,0	53	0,00
25	1249,8	0	0,0	-41	0,00	0,0	93	0,00
26	1299,8	0	0,0	0	0,00	0,0	75	0,00
27	1349,8	0	0,0	110	0,01	0,2	-114	0,00
28	1399,7	0	0,0	23	0,00	0,0	-172	0,00
29	1449,7	0	0,0	51	0,01	0,3	-8	0,00
30	1499,7	0	0,0	-30	0,00	0,0	-115	0,00
31	1549,7	0	0,0	-77	0,00	0,2	0	0,00

■ Calcul du filtre passif

□ Introduction:

La branche parallèle du filtre constituée d'un condensateur C_p en série avec une inductance L_p à une impédance complexe
 $Z_p = r + j(L\omega - 1/C\omega)$

Où r est la résistance de l'inductance L_p .

L'étude de cette impédance en fonction de la fréquence présente :

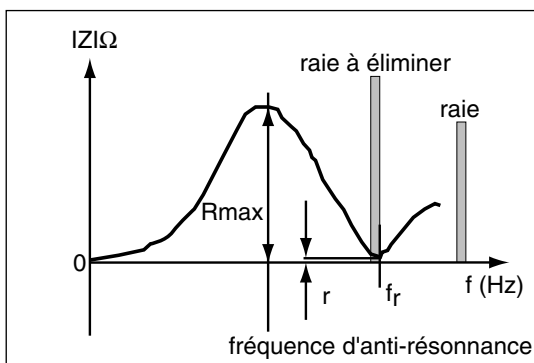
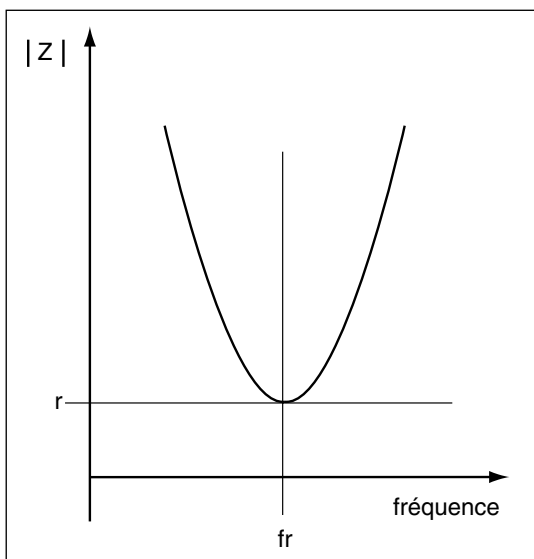
- une valeur minimale résistive à la fréquence de résonance f_r ;
- une impédance capacitive pour les fréquences inférieures à f_r ;
- une impédance inductive pour les fréquences supérieures à f_r ;

L'objectif est d'accorder ce filtre sur le rang le plus riche en harmoniques, ainsi ce courant produit par la charge se dirige vers le filtre et non vers le réseau. Le filtre est donc un absorbeur de courants harmoniques.

L'ensemble de l'installation présente une impédance A dont le comportement représenté sur le graphe suivant : ou l'on met en évidence une fréquence d'anti-résonance ou Z a une impédance maximale. Il est important de bien connaître le spectre harmonique pour caler correctement notre filtre. Dans notre cas celui-ci est déterminé pour une éliminer les IH3 donc accordé sur 150 Hz.

Il faut :

- bien vérifier que l'anti-résonance n'est pas sur un rang riche en harmoniques ;
- tenir compte des harmoniques préexistantes sur le réseau qui pourraient entraîner un échauffement supplémentaire des condensateurs ;



■ Spectre Harmonique de l'ATV28 (370W)

IRMS ligne	= 4A
IH1	= 2,4A
IH3	= 2,3A
IH5	= 2A
IH7	= 1,8A
IH9	= 2,3A

Sans self de ligne à $U_n = 240V$

□ Calcul

1 - Calcul de la puissance apparente SN (d'entrée) de l'ATV28.

□ Sans la self de ligne L1 :

$$S(KVA) = U_{eff}.I_{eff} = 240 \times 4 = 960VA.$$

□ Avec la self de ligne L1 :

Cette self limite le spectre harmonique par conséquent la puissance apparente va être réduite. Cette self doit être obligatoirement associée au filtre passif de façon à s'affranchir par «découplage impédant» des variations de courants harmoniques pré-existants sur le réseau.

Le filtre passif sera ainsi dimensionner que pour les seuls harmoniques générés par la charge à dépolluer.

□ Calcul de SN :

La valeur du condensateur de filtre étant déterminée sur le fondamental :

$$SN = U_1.I_1 = 240. 2,4 = 570 VA$$

2 - Calcul de QC.

■ Hypothèse de travail :

□ Si présence de condensateur de compensation d'énergie réactive sur l'installation :

$(QC / SN) < 15\%$ avec QC filtre passif et SN puissance du transformateur d'alimentation.

□ Si absence de condensateur :

$(QC / SN) < 30\%$ avec QC filtre passif et SN puissance du transformateur d'alimentation.

Note : si la puissance de la charge est très inférieure de celle du transformateur d'alimentation pour calculer QC, on choisira le SN de la charge. Ce sera le cas dans notre application.

$$\frac{QC}{570} < 30 \% \text{ donc } QC = 170 VAR$$

3 - Calcul de C1

$$Q = U^2 \cdot C \omega$$

$$C = \frac{Q}{U^2 \cdot \omega} = \frac{170}{270^2 \cdot 2\pi \cdot 50} = 7,4 \mu\text{F}$$

4 - Calcul de la tension de dimensionnement Ud du condensateur C1

$$U_d = U(50\text{Hz}) \cdot \frac{n^2}{n^2 - 1} + \sum_{n=2}^{n=\infty} U_n n^2$$

$$U_d = U(50\text{Hz}) \cdot \frac{n^2}{n^2 - 1} + U_{h3} + U_{h5}$$

Le terme $\frac{n^2}{n^2 - 1}$ permet de tenir compte de la surtension de la self sur la circulation des courants harmoniques.

Dans notre cas on prendra $n = 3$ car filtre de rang 3 donc

$$\frac{n^2}{n^2 - 1} = 1,125$$

$$\square \text{ Calcul de } U_{h3} = \frac{I_{h3}}{C\omega} = \frac{2,3}{7,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 150} = 330\text{V}$$

\square Calcul de U_{h5} :

Par hypothèse nous fixerons une valeur de 30% de circulation de I_{h5} dans le filtre.

$$U_{h5} = \frac{I_{h5} \cdot 0,3}{C\omega} = \frac{2 \cdot 0,3}{7,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 250} = 51\text{V}$$

\square Calcul de U_d

$$U_d = (240 \times 1,125) + 330 + 51 = 651\text{V}$$

Note : l'addition est faite algébriquement de façon à prendre une marge de sécurité.

Cette tension est très élevée pour cette faible valeur de condensateur et ne correspond pas à un produit standard. Nous opterons pour une valeur standard de condensateur de $24,8 \mu\text{F}$. Cette donnée technologique modifie les hypothèses de départ et permettra d'abaisser la tension de dimensionnement U_d .

□ Nouveau calcul de U_d

$$U_{h3} = \frac{I_{h3}}{C\omega} = \frac{2,3}{24,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 150} = 98V$$

$$U_{h5} = \frac{I_{h5} \cdot 0,3}{C\omega} = \frac{2 \cdot 0,3}{24,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 250} = 15V$$

$$U_d = 240 \cdot \frac{9}{9-1} + 98 + 15 = 385V$$

5 - Calcul de dimensionnement en courant de la capacité C1

$$I_{eff} = \sqrt{I_{cH1}^2 + I_{cH3}^2 + I_{cH5}^2} \text{ (dans la capa)}$$

$$I_{cH1} = U_1 C \omega_1 = 240 \cdot 24,8 \cdot 2\pi \cdot 50 = 1,8A$$

$$I_{cH3} = U_3 C \omega_3 = 98 \cdot 24,8 \cdot 2\pi \cdot 150 = 2,3A$$

$$I_{cH5} = U_5 C \omega_5 = 2 \cdot 0,3 = 0,6A$$

$$I_{eff} = \sqrt{1,8^2 + 2,3^2 + 0,6^2} = 3A$$

□ Choix du condensateur C1 :

RECTIPHASE : référence D12A

3,3A ; 600V ; 50Hz ; 24,8μF

Ce condensateur standard est adapté à la nouvelle tension de dimensionnement U_d .

6 - Calcul de la self L2

$$LC\omega^2 = 1 \text{ à l'accord au rang } 3 = 150 \text{ hz.}$$

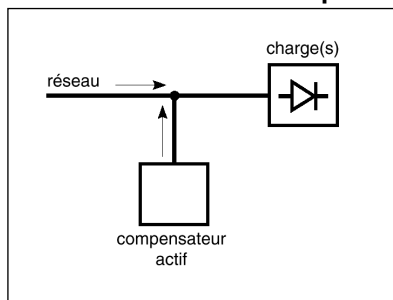
$$L = \frac{1}{C\omega^2} = \frac{1}{24,8 \cdot 10^{-6} \cdot (2\pi \cdot 150)^2} = 46mH$$

□ Nota : on peut tenir compte de la dérive de la valeur du condensateur dans le temps en accordant le filtre à une valeur légèrement inférieur au rang 3 (par exemple 2,95).

□ Choix de la self L2 :

AGECELEC n°181120 ; 46mH ; 3,5A

Le compensateur actif : explication du fonctionnement théorique.

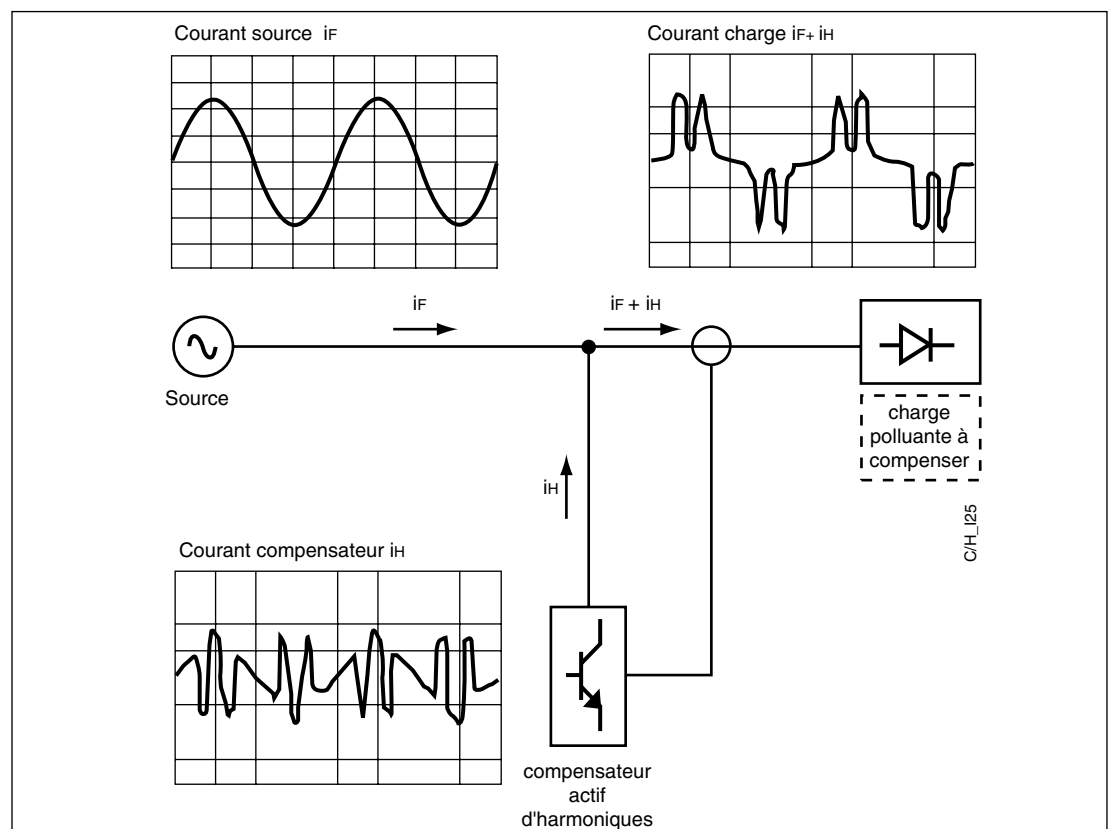


■ Présentation du compensateur actif

■ L'objectif est de minimiser - sinon d'annuler - au point de raccordement les harmoniques du courant (ou de la tension), par injection d'un courant (ou d'une tension) «complémentaire».

■ Sous réserve que le dispositif soit apte à injecter à tout instant un courant dont chaque composante harmonique est de même amplitude que celle du courant dans la charge, et de phase opposée, alors la loi de sommation des courants en A garantit que le courant fourni par la source est purement sinusoïdal.

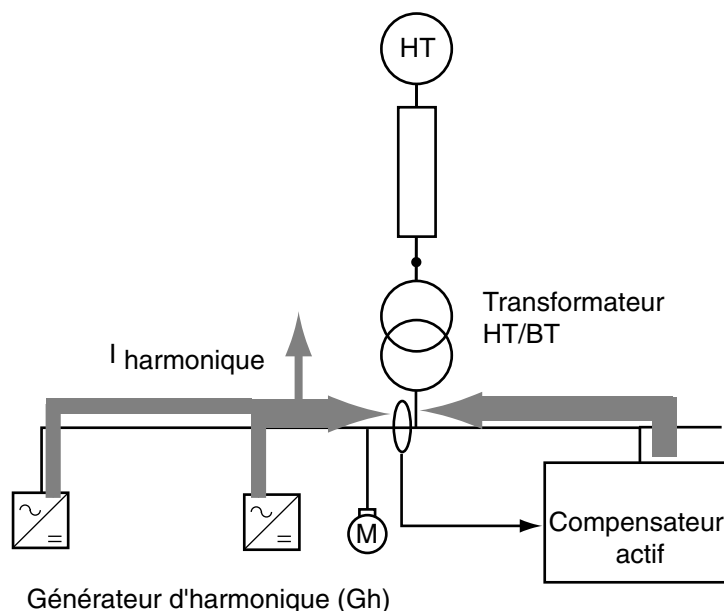
L'association «charges perturbatrices + compensateur actif» constitue une charge linéaire.



■ Ce type de dispositif est particulièrement bien adapté à la dépollution des réseaux BT, et ce quel que soit le point de raccordement choisi et le type de charge (car ce dispositif est auto-adaptatif). Le compensateur actif «shunt» constitue une source de courant indépendante de l'impédance réseau, et qui présente les caractéristiques intrinsèques suivantes :

- ❑ sa bande passante est suffisante pour garantir la suppression des composantes harmoniques majoritaires (en termes statistiques) du courant de la charge. Typiquement, nous considérons que la plage H 2 - H 23 est satisfaisante ; car plus le rang est élevé, plus le niveau de l'harmonique est faible.
- ❑ son temps de réponse est tel que la compensation harmonique soit effective non seulement en régime établi, mais encore en régime transitoire «lent» (quelques dizaines de ms),
- ❑ sa puissance permet d'atteindre les objectifs de dépollution fixés, ce qui ne signifie pas nécessairement la compensation totale et permanente des harmoniques générés par la (ou les) charge(s). Sous réserve que ces trois objectifs soient simultanément atteints, alors le compensateur actif «shunt» constitue un excellent dépollueur, car auto-adaptatif, et ne présentant aucun risque d'interaction avec l'impédance réseau.

Schémas de principe



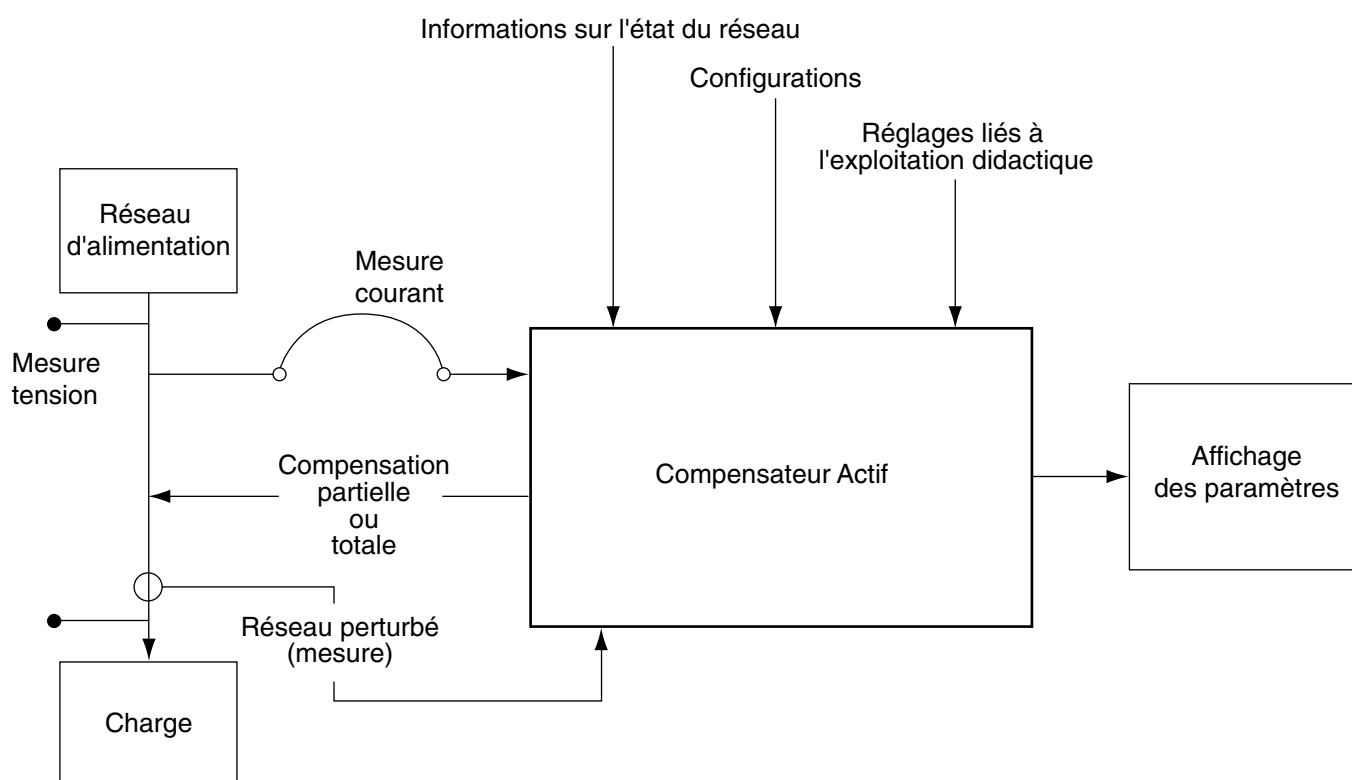
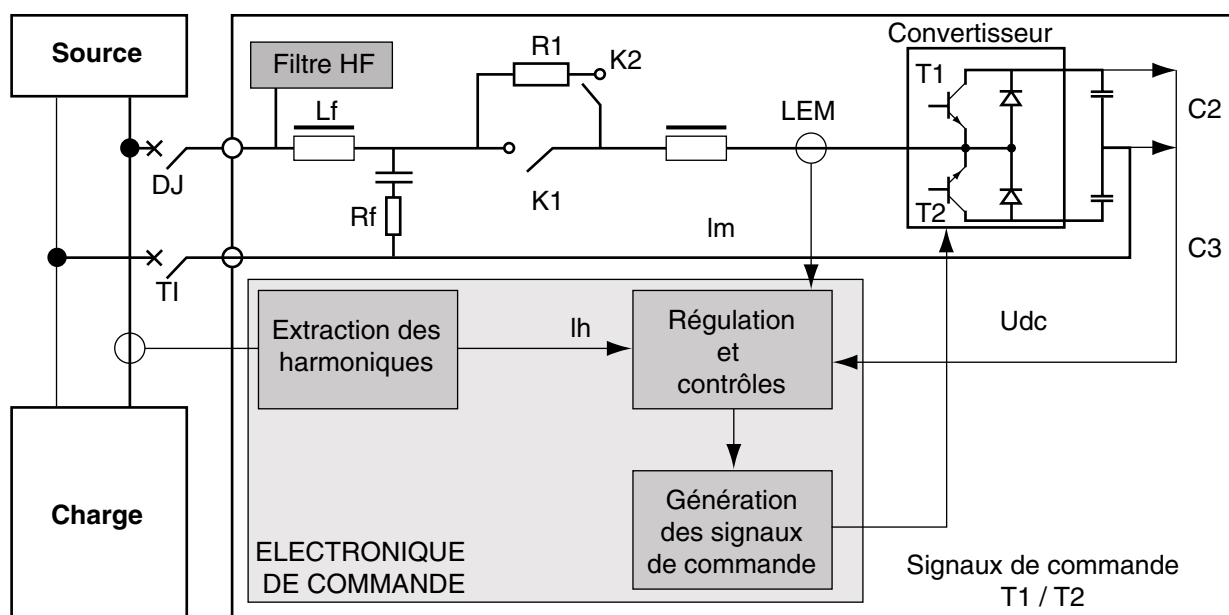
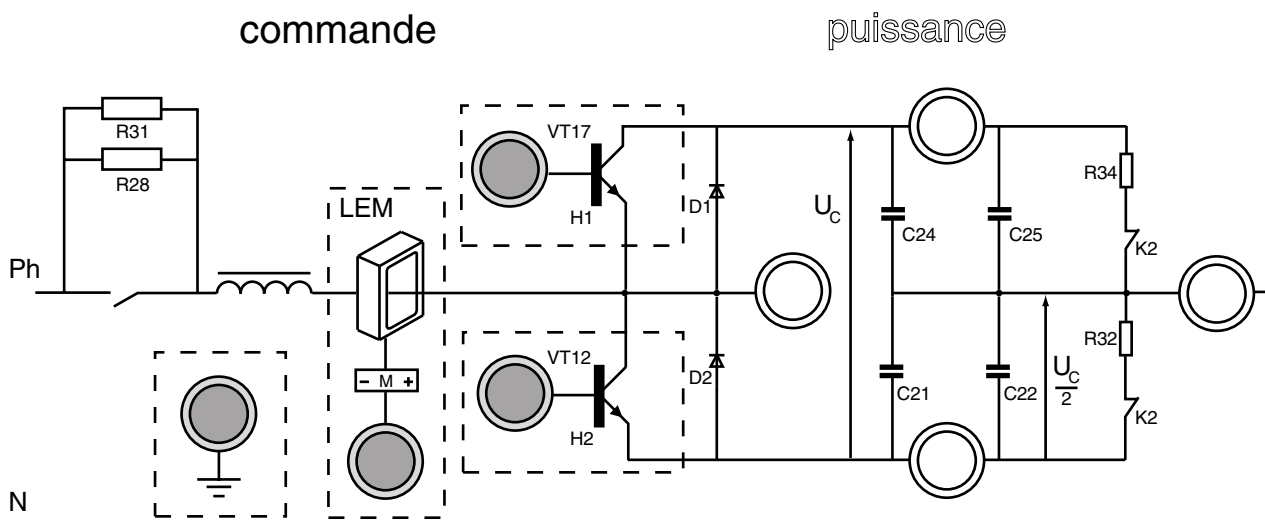


Schéma de principe unifilaire

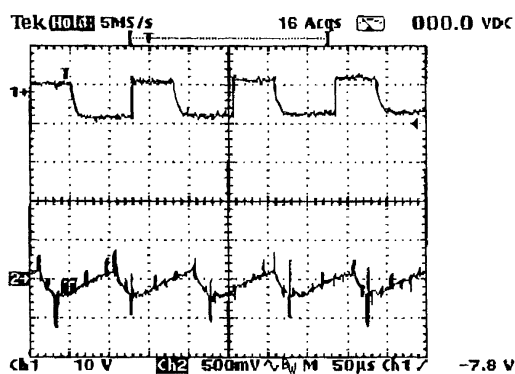
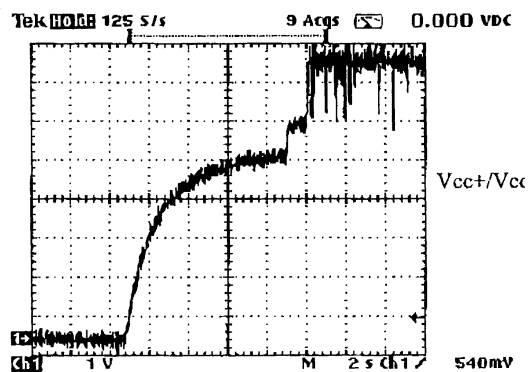


■ Schéma de principe du pupitre de commande



■ Caractéristiques du pupitre

Contrôle de phase

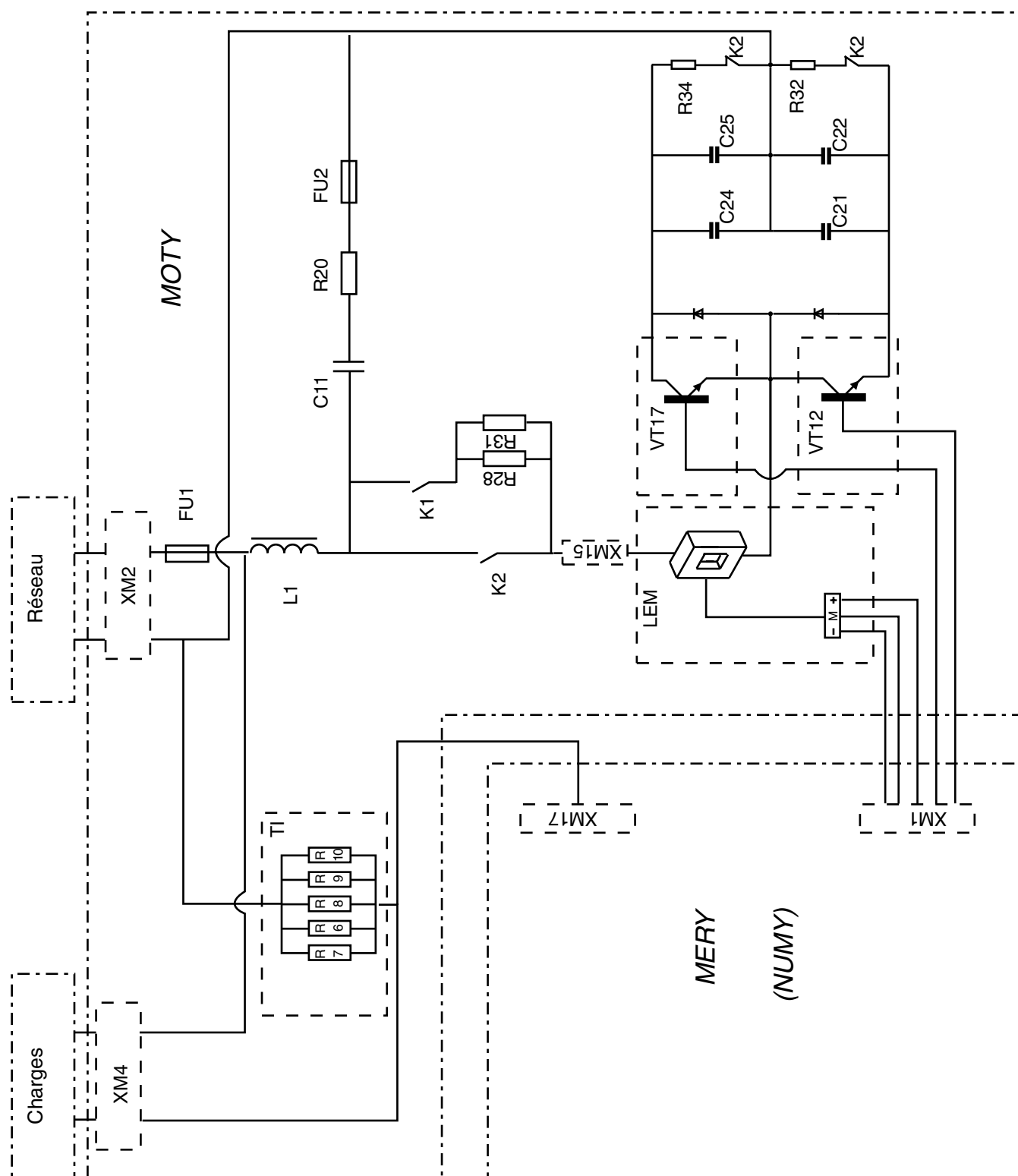
Précharge et régulation
des condensateurs

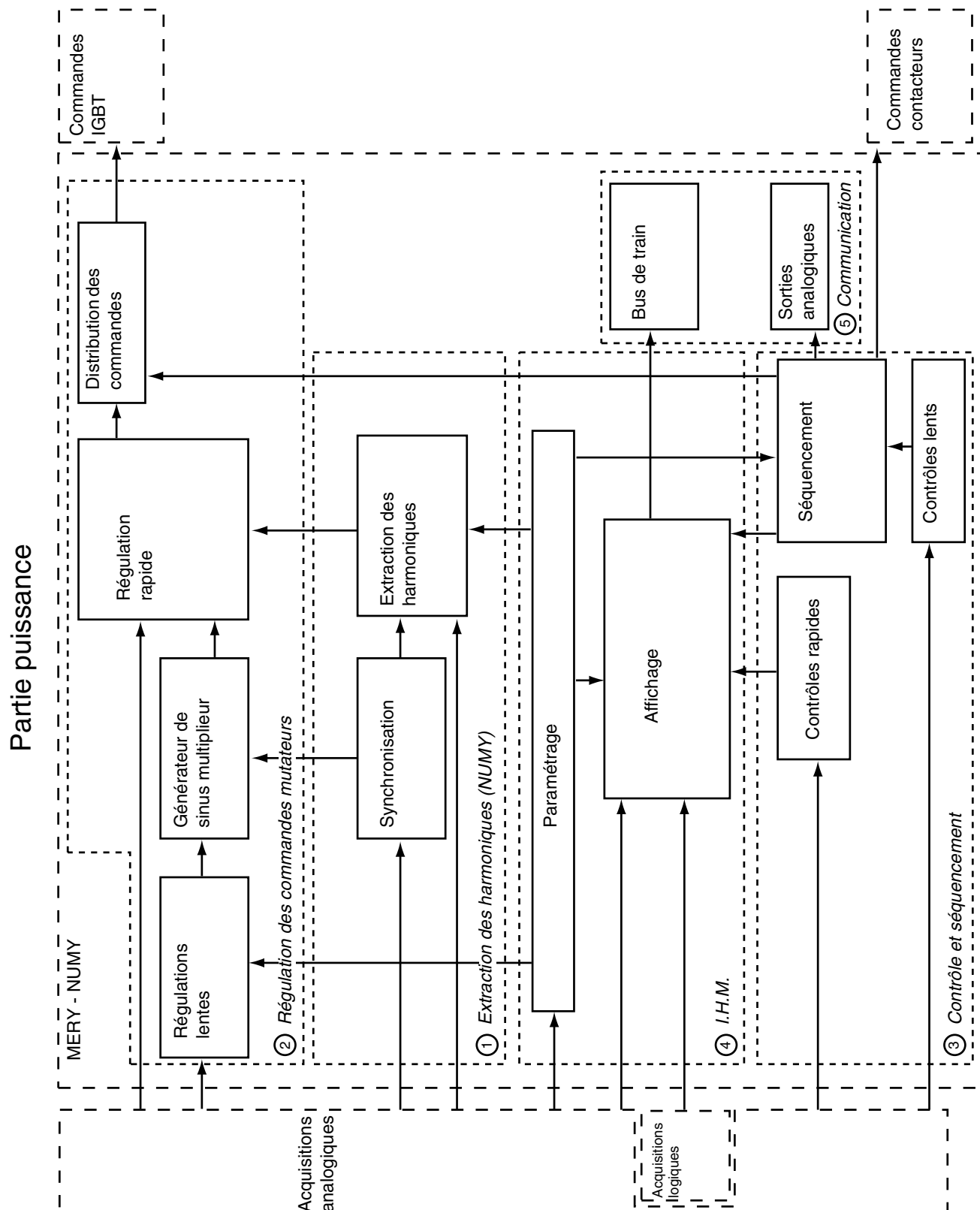
Étude des
phénomènes
harmoniques

TP 2 : Étude des remèdes

34/58

■ Partie puissance

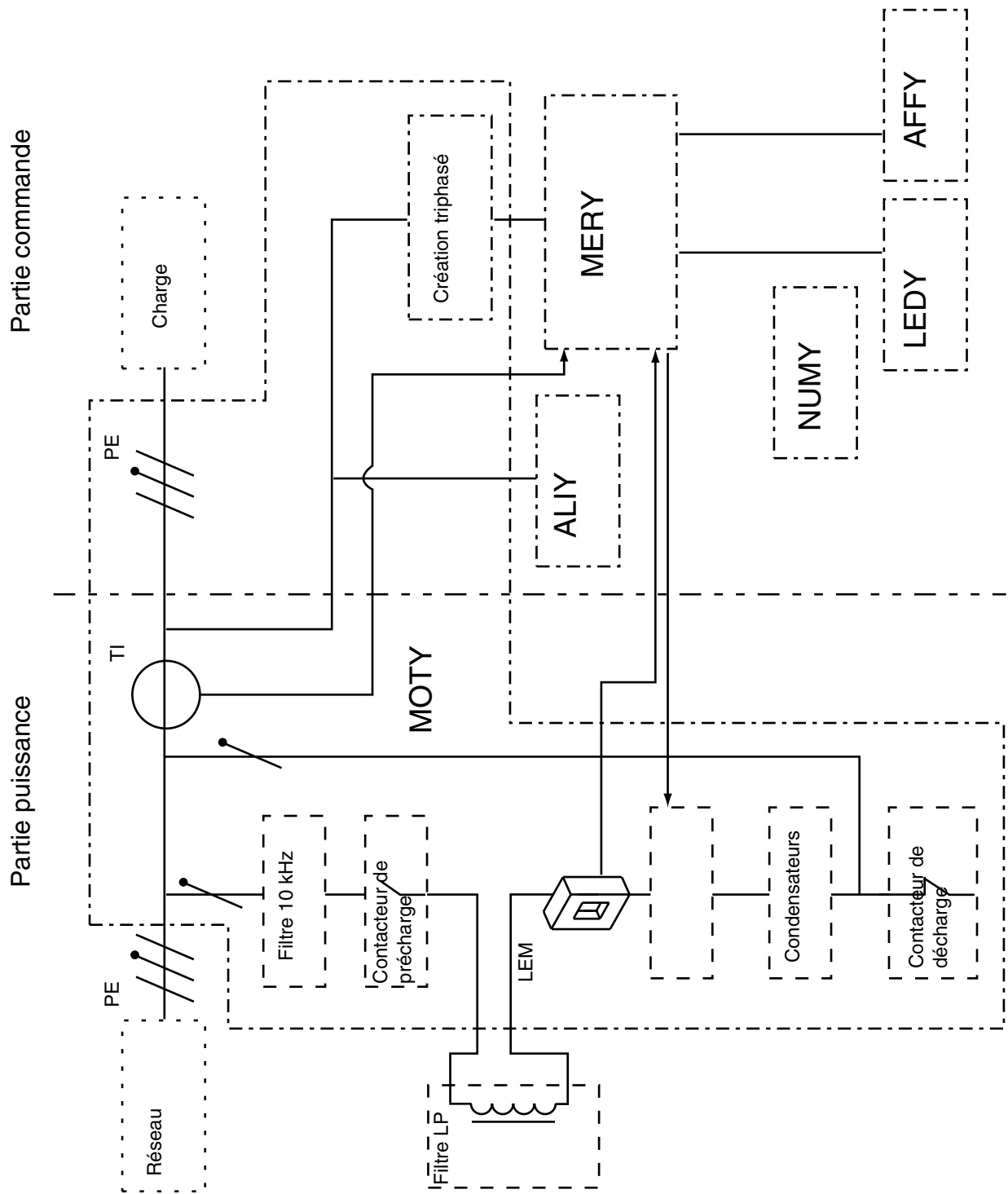




Étude des phénomènes harmoniques

TP 2 : Étude des remèdes

36/58



■ Descriptif

Technologie du filtre actif

Transistor de type IGBT (Insolated Gate Bipolar Transistor)

Mixage des technologies MOS et bi-polaire permettant de réunir l'avantage du bi-polaire (bonne capacité de sortie en courant) et MOS (Rapidité, faible consommation de courant de commande)

H22 Interfaces d'alimentation

Compensateur actif d'harmoniques SineWave™ de 20 à 480 A de la marque MGEUPS



Présentation

Le compensateur actif d'harmoniques SineWave de 20 à 480 A permet une dépollution harmonique des installations de 10 à 2000 kVA.

Principe de fonctionnement

Le compensateur actif analyse les harmoniques consommés par la charge et restitue ensuite à cette dernière le même courant harmonique avec la phase convenable. Conséquence : au point considéré, il y a neutralisation complète des courants harmoniques. Ainsi, ces courants ne circulent plus en amont et ne sont plus fournis par la source. SineWave™ réduit les harmoniques en courant dans un rapport de 10 pouvant aller jusqu'à 20 en fonction de la nature des charges. Cette compensation des harmoniques va du rang 2 jusqu'au rang 25 et donne ainsi une large plage de réglage en fonction de chaque type de charge. 2 modes de fonctionnement sont possibles :

- compensation globale
- compensation d'un rang déterminé.

SineWave contribue aussi à l'amélioration du cosinus ϕ et du facteur de puissance apportant ainsi une réduction du coût de l'énergie.

Intégration dans l'installation

L'encombrement de SineWave est réduit. Il peut se placer sur un mur, dans un tableau ou dans une armoire électrique. SineWave s'adapte automatiquement à toute charge monophasée ou triphasée, informatique, éclairage fluorescent, variateurs de vitesse...

Fonctions

- Compensation des harmoniques : globale ou rang par rang (paramétrable).
- Compensation du facteur de déphasage (cos ϕ) (paramétrable).
- Paramétrage du type de charges : informatique, redresseur...
- Compensation du facteur de puissance.
- Technologie IGBT et contrôle par circuit DSP.
- 3 DEL de signalisation du fonctionnement.
- Afficheur alphanumérique 7 langues.
- Système de diagnostic et de maintenance.
- Menu de configuration et paramétrage.
- Relais pour report à distance.
- Commande à distance (verrouillable).
- Conformité aux normes et marquage CE.
- Redondance et mise en parallèle.
- Grande variété de capteurs de courant.
- Interface de communication JBUS / RS 485 (option).

Il est compatible avec tout réseau triphasé d'alimentation. Son raccordement en parallèle sur le réseau ne nécessite aucune coupure de la partie puissance (capteur ouvrant) et peut se situer en n'importe quel point de l'installation (tableau général basse tension, tableaux divisionnaires, coffrets de distribution terminale).

Plusieurs compensateurs peuvent être répartis dans une même installation afin de renforcer l'efficacité de la dépollution (par exemple en cas d'insertion d'une nouvelle machine).

On peut mettre en parallèle jusqu'à 4 compensateurs actifs SineWave ou les brancher en cascade.

Interface homme-machine

L'interface homme-machine (IHM) en face avant de SineWave permet :

- l'aide à la mise en service et à la maintenance
- le paramétrage (langue de l'affichage, type de compensation harmonique)
- l'exploitation (états, mesures, alarmes, commandes).

Cet IHM est détachable (cordon de 3 mètres) et peut être installé sur la face avant du tableau contenant SineWave. Par ailleurs, la commande à distance est possible par contacts secs et liaison série RS 485 (en option).

Études des alimentations sans interruption : page K(1k).

Schneider - Catalogue distribution BT 98

H23
1

Caractéristiques

	SW20	SW30	SW45	SW60	SW90	SW120
capacité de compensation par phase	20 A eff	30 A eff	45 A eff	60 A eff	90 A eff	120 A eff
capacité de compensation dans le neutre (1)	60 A eff	90 A eff	135 A eff	180 A eff	270 A eff	360 A eff
entrée réseau						
tension nominale (2)	400 V - 20 + 15 %					
fréquence nominale	50 Hz, 60 Hz, +/- 8 %					
nombre de phases	3 phases avec ou sans neutre (fonctionnement possible sur charges monophasées ou déséquilibrées)					
capteurs de courant	calibres de 300/1 à 4000/1					
caractéristiques techniques						
courants harmoniques compensés	rang 2 à 25, compensation globale ou rang par rang					
taux d'atténuation harmonique	THDI charge / THDI réseau supérieur à T0, à capacité nominale du compensateur					
compensation du cos φ	jusqu'à 1.0					
temps de réponse	< 40 ms					
surcharge	limitation au courant nominal, fonctionnement permanent en limitation possible					
courant d'appel	< 2 fois courant nominal crête					
pertes	1000 W	1300 W	2100 W	2600 W	4200 W	5200 W
bruit acoustique (ISO 3746)	< 55 dBA	< 55 dBA	< 60 dBA	< 60 dBA	< 65 dBA	< 65 dBA
couleur	RAL 9002					
conditions d'environnement						
température de fonctionnement	0 à 30 °C permanent, < 25 °C recommandé					
humidité relative	0 à 95 % sans condensation					
altitude de fonctionnement	< 1000 m					
normes de référence						
construction et sécurité	EN 50091-1					
conception	CEI 146					
protection	IP 30 suivant CEI 529					
compatibilité électromagnétique						
émission conduite et rayonnée	EN 55011 niveau A					
immunité aux décharges électrostatiques	CEI 1000-4-2 niveau 3					
immunité aux champs rayonnés	CEI 1000-4-3 niveau 3					
immunité aux ondes de choc	CEI 1000-4-4 et CEI 1000-4-5 niveaux 4					

(1) Capacité maximum sur charge informatique de type PC, et sur réseau triphasé équilibré.

(2) Autres tensions 208 V, 220 V, 480 V disponibles sur demande.

**Note d'exploitation et
paramétrage du filtre actif**

- Programmation du compensateur actif


■ Mise sous tension par l'interrupteur face AR

■ Mise en service de l'appareil

□ Mise en marche : Touches **RUN** + **ENT**


□ Mise à l'arrêt : Touches **STOP** + **ENT**

■ Paramétrages des rangs d'harmoniques : modification de la programmation

□ Déplacement dans le menu général avec les touches  jusqu'à **CONFIGURATION**

□ Validation par la touche **ENTER**

□ Entrer le mot de passe : taper 5555 au clavier + **ENT**

□ Dans le nouveau menu de configuration, rechercher le paramètre **CHOIX DES HARMONIQUES** avec les touches  + **ENT**

□ Sélectionner les rangs d'harmoniques désirés avec les touches

F2 = OUI ; **F3** = NON ; + **ENT** en fin de programmation

□ Confirmation de la mémorisation (MEM) de cette programmation :

F2 + **ENT**

FIN DE PROGRAMMATION


■ Nota :

□ Programmer H2 à H25 = NON ; **Filtre Actif Seul**

Programmer H2 / H3 = NON ; H4 à H25 = OUI ;
Filtrage Hybride Passif + Actif

- Procédure de Marche / Arrêt du filtre actif :

☐ Mise sous tension de l'appareil par l'interrupteur face AR


LED  allumée (présence tension)

Nota : la charge est alimentée par le réseau EDF

☐ Mise en marche par les touches  +  ; LED  allumée (filtre actif en service)

☐ Mise à l'arrêt par les touches  +  ; LED  allumée (présence tension)

Nota : la charge est alimentée par le réseau EDF

☐ Fonctionnement en surcharge : LED contrôle  allumée lorsque l'appareil centrale dépasse sa capacité de dépollution, environ 2A de courant harmonique

Mesure

☐ Mettre en service le filtre actif et paramétrer celui-ci pour balayer l'ensemble du spectre.

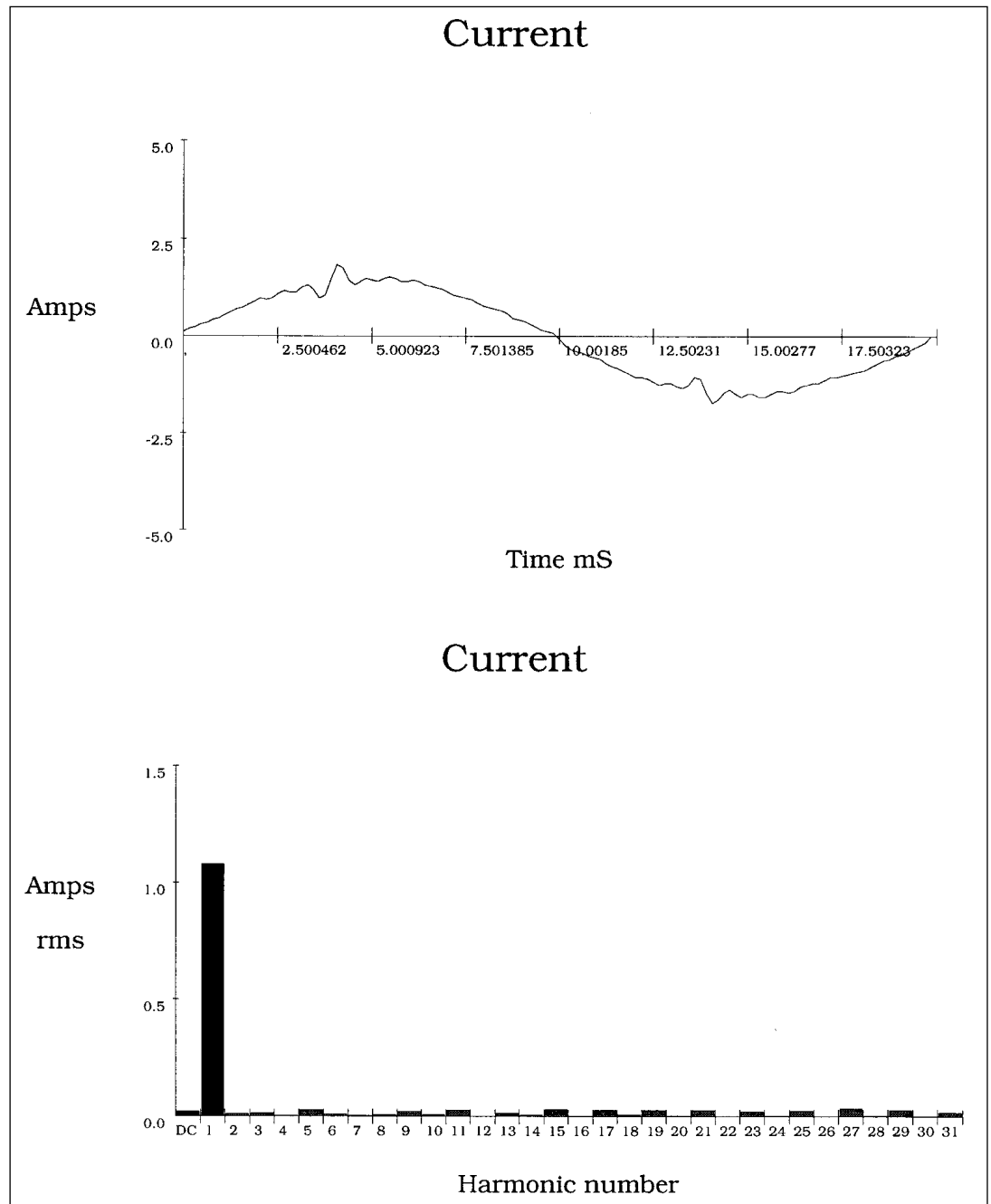
☐ Mesurer en toute sécurité, à l'aide d'un analyseur d'harmoniques, les paramètres de l'alimentation en énergie électrique aux points de mesure U «tension», I «réseau» et I «filtre» situés sur le compensateur actif et **non plus sur les points test U111 de l'armoire de commande.**

Choix des harmoniques : OUI sur tous les rangs

☐ Réaliser pour les trois situations suivantes :

- Faiblement chargé
- Filtre actif en limite de surcharge
- A In moteur

☐ Relevé et analyse : à In Variateur, le filtre est en surcharge donc ne dépollue pas complètement notre installation.



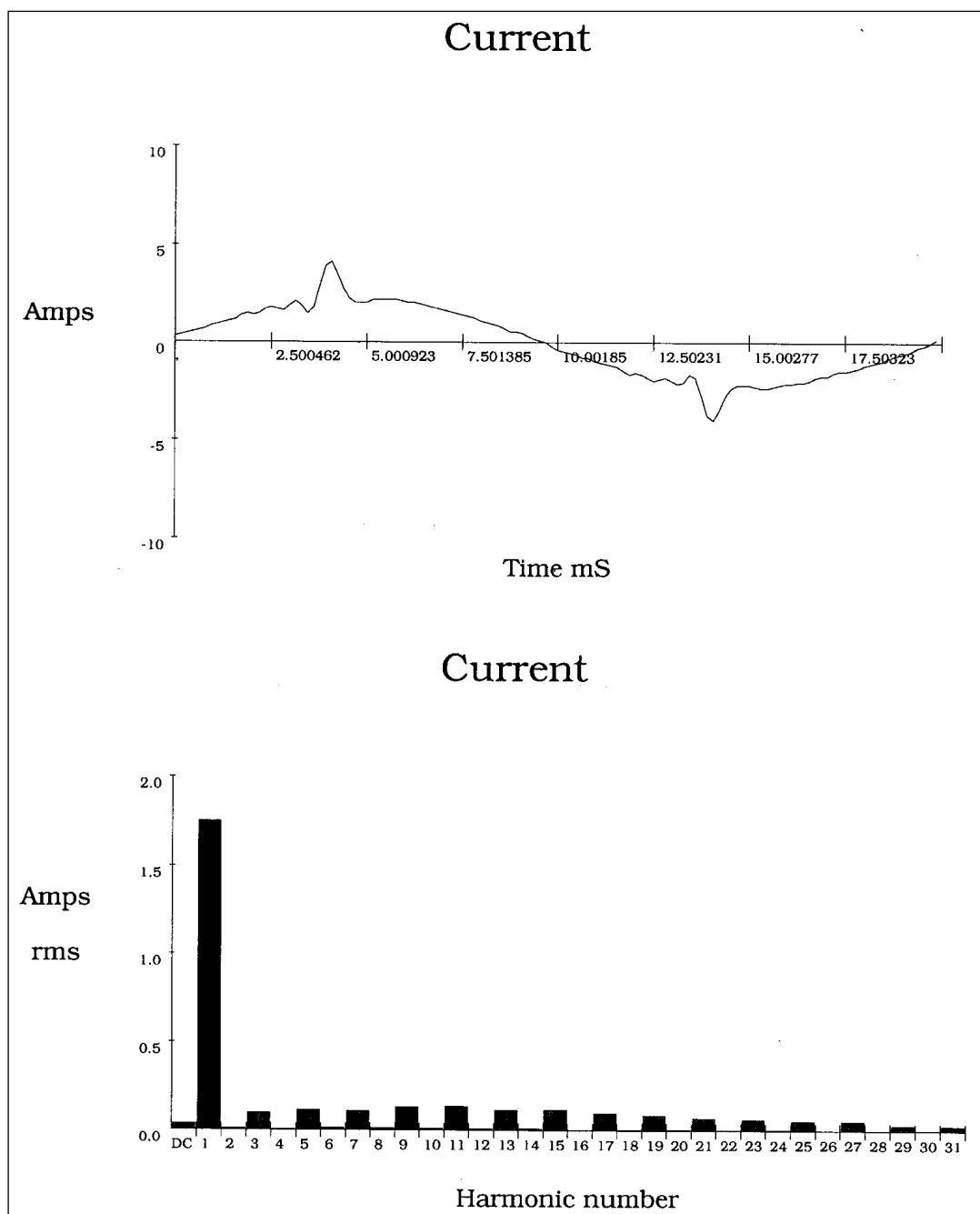
- ☐ Mesure sur le Réseau (sur compensateur actif)
- ☐ VV seul faiblement chargé
- ☐ Filtre actif seul programmé des rangs H2 à H25
- ☐ Dépollution totale du spectre

Summary Information

			Voltage	Current	Record Information		
					Max	Average	Min
Frequency	50,0	RMS	226	1,09	V RMS		
Power		Peak	310	1,81	A RMS		
KW	0,24	DC Offset	0	-0,02	V Peak		
KVA	0,25	Crest	1,37	1,66	A Peak		
KVAR	0,01	THD Rms	2,6	8,8	V THD-R%		
Peak KW	0,58	THD Fund	2,6	8,9	A THD-R%		
Phase	3° lead	HRMS	6	0,10	KWatts		
Total PF	0,99	KFactor		4,0	KVAR		
DPF	1,00				TPF		
					DPF		
					Frequency		

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,1	0	0,02	2,1	0	0,00
1	50,0	226	100,1	0	1,08	101,5	3	0,24
2	100,0	1	0,4	-146	0,01	1,1	-110	0,00
3	150,0	0	0,1	-49	0,01	1,4	41	0,00
4	200,0	0	0,1	155	0,00	0,4	73	0,00
5	250,0	5	2,3	174	0,03	2,6	-18	0,00
6	299,9	0	0,1	113	0,01	1,2	67	0,00
7	349,9	2	1,1	-8	0,00	0,4	149	0,00
8	399,9	0	0,1	-61	0,01	0,9	-136	0,00
9	449,9	0	0,1	82	0,02	1,8	82	0,00
10	499,9	0	0,1	-55	0,01	0,6	79	0,00
11	549,9	0	0,2	50	0,03	2,5	-22	0,00
12	599,9	0	0,0	131	0,00	0,2	50	0,00
13	649,9	1	0,2	-29	0,01	1,2	174	0,00
14	699,9	0	0,0	-158	0,01	0,8	122	0,00
15	749,9	0	0,1	-88	0,03	2,8	40	0,00
16	799,9	0	0,0	-18	0,00	0,1	0	0,00
17	849,8	0	0,1	38	0,03	2,5	-96	0,00
18	899,8	0	0,0	137	0,01	0,6	165	0,00
19	949,8	0	0,0	-87	0,03	2,5	108	0,00
20	999,8	0	0,0	128	0,00	0,4	73	0,00
21	1049,8	0	0,0	-139	0,03	2,6	-29	0,00
22	1099,8	0	0,0	124	0,00	0,2	-120	0,00
23	1149,8	0	0,0	43	0,02	1,9	-174	0,00
24	1199,8	0	0,0	-33	0,01	0,6	128	0,00
25	1249,8	0	0,0	-138	0,02	2,3	54	0,00
26	1299,8	0	0,0	89	0,00	0,2	23	0,00
27	1349,8	0	0,0	33	0,03	3,1	-76	0,00
28	1399,7	0	0,0	10	0,01	0,5	169	0,00
29	1449,7	0	0,0	12	0,03	2,6	122	0,00
30	1499,7	0	0,0	72	0,00	0,2	170	0,00
31	1549,7	0	0,0	-164	0,02	1,5	-8	0,00



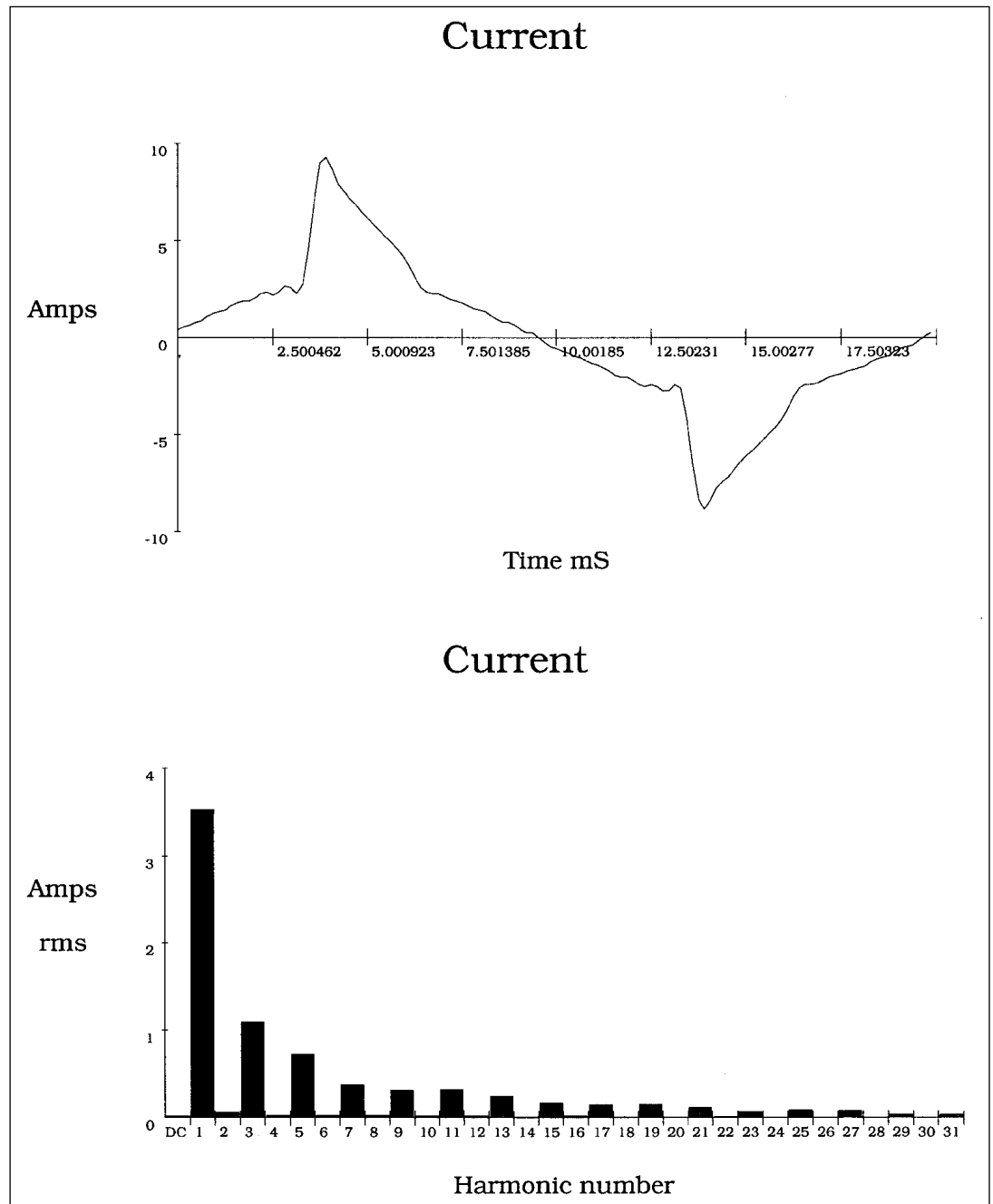
- ☐ Mesure sur le Réseau
- ☐ VV seul
- ☐ Filtre actif en limite de surcharge (1,7A RMS) programmé des rangs H2 à H25

Summary Information

			Voltage	Current		Record Information	Max	Average	Min
Frequency	50,0	RMS	224	1,79	V RMS				
Power		Peak	307	4,16	A RMS				
KW	0,39	DC Offset	0	-0,04	V Peak				
KVA	0,40	Crest	1,37	2,32	A Peak				
KVAR	0,05	THD Rms	2,5	20,3	V THD-R%				
Peak KW	1,29	THD Fund	2,5	20,8	A THD-R%				
Phase	7° lead	HRMS	6	0,36	KWatts				
Total PF	0,97	KFactor		9,0	KVAR				
DPF	0,99				TPF				
					DPF				
					Frequency				

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,1	0	0,04	2,0	0	0,00
1	50,0	224	100,1	0	1,75	99,7	7	0,39
2	100,0	1	0,4	-147	0,01	0,6	-115	0,00
3	150,0	0	0,1	-6	0,09	5,4	-134	0,00
4	200,0	0	0,1	170	0,00	0,3	151	0,00
5	250,0	5	2,2	178	0,11	6,4	78	0,00
6	299,9	0	0,0	142	0,02	1,0	58	0,00
7	349,9	3	1,1	-8	0,11	6,3	-60	0,00
8	399,9	0	0,1	-59	0,01	0,9	-125	0,00
9	449,9	0	0,1	45	0,13	7,5	146	0,00
10	499,9	0	0,1	-64	0,01	0,5	104	0,00
11	549,9	0	0,2	63	0,14	7,7	6	0,00
12	599,9	0	0,0	169	0,01	0,6	-79	0,00
13	649,9	1	0,3	-18	0,12	6,6	-144	0,00
14	699,9	0	0,0	180	0,01	0,6	148	0,00
15	749,9	0	0,1	-103	0,12	6,8	72	0,00
16	799,9	0	0,0	-83	0,00	0,2	21	0,00
17	849,8	0	0,1	63	0,10	5,6	-75	0,00
18	899,8	0	0,0	102	0,01	0,4	-123	0,00
19	949,8	0	0,0	-46	0,09	5,0	141	0,00
20	999,8	0	0,0	-143	0,01	0,4	117	0,00
21	1049,8	0	0,1	-160	0,07	4,1	5	0,00
22	1099,8	0	0,0	51	0,01	0,4	-70	0,00
23	1149,8	0	0,1	55	0,06	3,5	-139	0,00
24	1199,8	0	0,0	-91	0,00	0,3	-179	0,00
25	1249,8	0	0,0	-114	0,05	3,0	85	0,00
26	1299,8	0	0,0	36	0,00	0,1	-169	0,00
27	1349,8	0	0,0	-141	0,05	3,1	-39	0,00
28	1399,7	0	0,0	62	0,00	0,2	-23	0,00
29	1449,7	0	0,0	65	0,03	1,9	-162	0,00
30	1499,7	0	0,0	-49	0,00	0,2	-150	0,00
31	1549,7	0	0,0	-75	0,03	1,7	91	0,00



- ☐ Mesure sur I Réseau
- ☐ VV seul à In
- ☐ Filtre actif seul programmé des rangs H2 à H25
- ☐ Conclusion : on constate une dégradation des paramètres. En effet le filtre se limitant par protection électronique à son courant nominal, il ne peut ainsi plus atteindre les objectifs de dépollution
- ☐ Le filtre actif est en surcharge

Summary Information

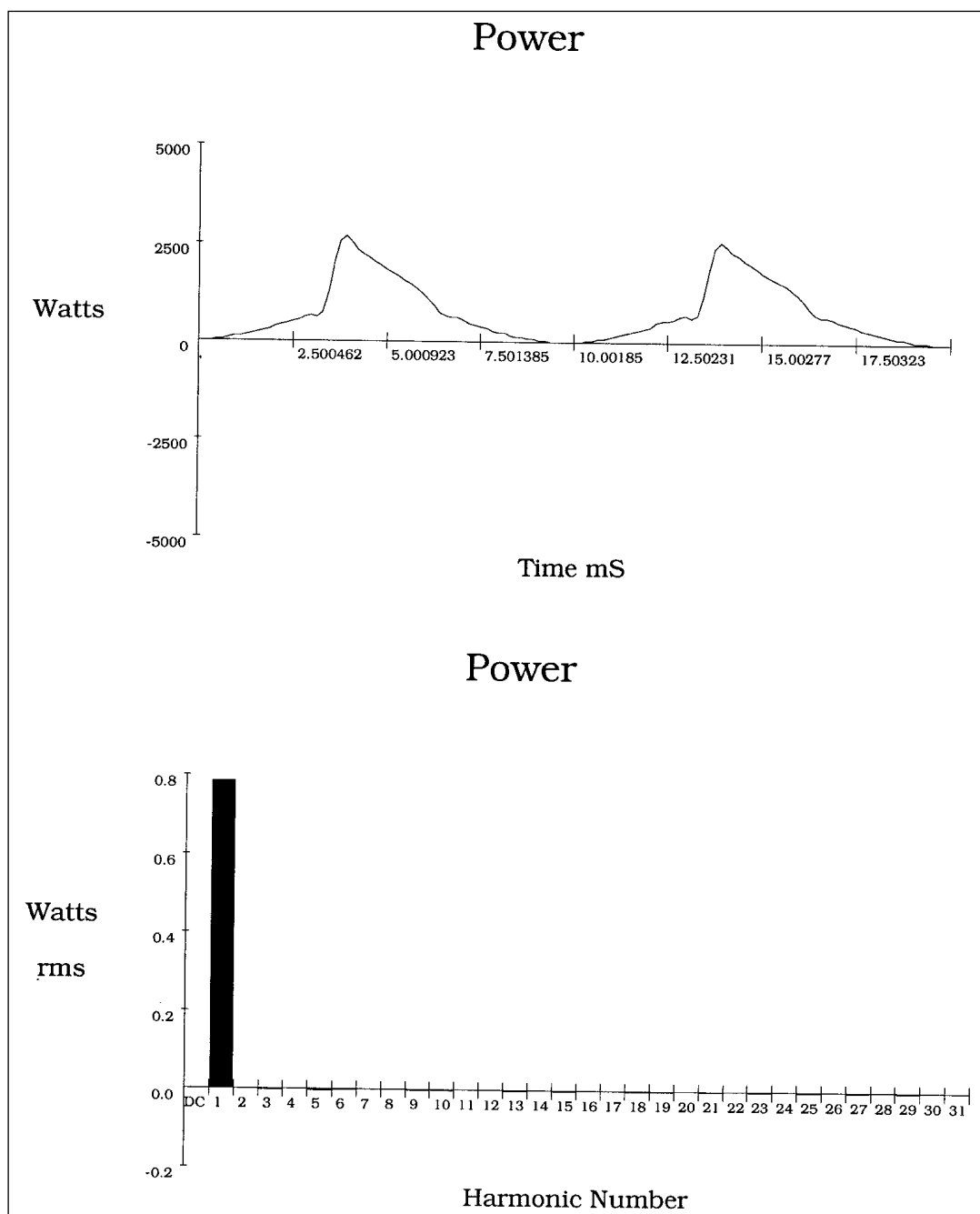
		Voltage	Current
Frequency	50,0	RMS 224	3,84
Power		Peak 306	9,29
KW	0,78	DC Offset 0	-0,02
KVA	0,86	Crest 1,36	2,42
KVAR	0,11	THD Rms 2,8	39,0
Peak KW	2,84	THD Fund 2,8	42,4
Phase	8° lead	HRMS 6	1,50
Total PF	0,91	KFactor	8,0
DPF	0,99		

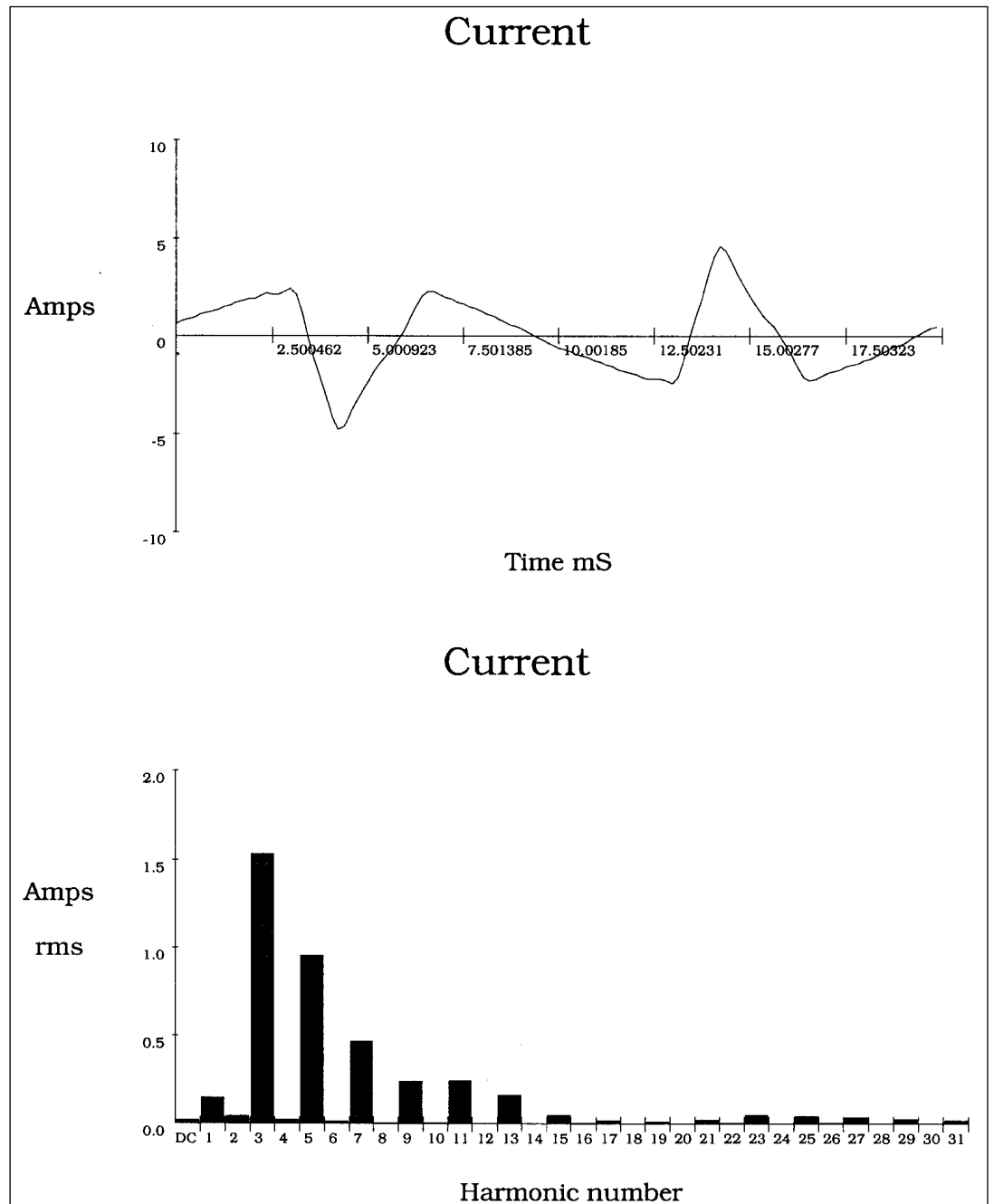
Record Information

Max	Average	Min
V RMS		
A RMS		
V Peak		
A Peak		
V THD-R%		
A THD-R%		
KWatts		
KVAR		
TPF		
DPF		
Frequency		

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,1	0	0,02	0,6	0	0,00
1	50,0	224	100,0	0	3,54	92,6	8	0,79
2	100,0	1	0,4	-152	0,06	1,7	-72	0,00
3	150,0	1	0,5	27	1,10	28,7	-153	0,00
4	200,0	0	0,2	176	0,03	0,9	150	0,00
5	250,0	5	2,4	-172	0,72	18,8	51	0,00
6	299,9	0	0,0	170	0,03	0,8	38	0,00
7	349,9	2	1,1	-6	0,38	9,9	-84	0,00
8	399,9	0	0,1	-58	0,03	0,8	-91	0,00
9	449,9	0	0,2	49	0,31	8,2	162	0,00
10	499,9	0	0,1	-65	0,02	0,6	147	0,00
11	549,9	0	0,0	68	0,33	8,6	30	0,00
12	599,9	0	0,0	78	0,02	0,5	12	0,00
13	649,9	1	0,2	-5	0,24	6,4	-112	0,00
14	699,9	0	0,0	-167	0,02	0,4	-105	0,00
15	749,9	0	0,1	-65	0,17	4,5	121	0,00
16	799,9	0	0,0	-13	0,02	0,5	115	0,00
17	849,8	0	0,0	-75	0,15	4,0	8	0,00
18	899,8	0	0,0	180	0,01	0,3	-38	0,00
19	949,8	0	0,1	63	0,15	4,0	-131	0,00
20	999,8	0	0,0	136	0,00	0,1	-135	0,00
21	1049,8	0	0,1	-96	0,11	3,0	94	0,00
22	1099,8	0	0,0	132	0,01	0,2	112	0,00
23	1149,8	0	0,0	139	0,08	2,0	-25	0,00
24	1199,8	0	0,0	134	0,01	0,2	-35	0,00
25	1249,8	0	0,0	108	0,09	2,3	-154	0,00
26	1299,8	0	0,0	79	0,00	0,1	-101	0,00
27	1349,8	0	0,0	-86	0,08	2,1	78	0,00
28	1399,7	0	0,0	15	0,01	0,2	135	0,00
29	1449,7	0	0,0	139	0,03	0,9	-46	0,00
30	1499,7	0	0,0	142	0,01	0,2	-17	0,00
31	1549,7	0	0,0	93	0,04	1,0	-132	0,00





- ☐ Mesure du courant absorbé dans le filtre actif
- ☐ VV seul à In donc filtre actif en surcharge
- ☐ Filtre actif seul programmé des rangs H2 à H25
- ☐ Conclusion : Absence de fondamental ; présence du spectre harmonique dans le filtre actif (dans sa limite de dépollution) de lh3 à lh25

Étude des
phénomènes
harmoniques

TP 2 : Étude des remèdes

50/58

Summary Information

			Voltage	Current		Record Information	Max	Average	Min
Frequency	50,0	RMS	224	1,92	V RMS				
Power		Peak	305	4,78	A RMS				
KW	0,03	DC Offset	0	-0,02	V Peak				
KVA	0,43	Crest	1,36	2,49	A Peak				
KVAR	0,02	THD Rms	2,8	99,7	V THD-R%				
Peak KW	-1,48	THD Fund	2,8	**OL**	A THD-R%				
Phase	48° lead	HRMS	6	1,91	KWatts				
Total PF	0,07	KFactor		**OL**	KVAR				
DPF	0,67				TPF				
					DPF				
					Frequency				

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,1	0	0,02	1,3	0	0,00
1	50,0	224	100,1	0	0,15	7,8	48	0,02
2	100,0	1	0,4	-149	0,04	2,3	101	0,00
3	150,0	1	0,5	36	1,53	81,1	25	0,00
4	200,0	0	0,1	174	0,02	1,2	-89	0,00
5	250,0	5	2,4	-170	0,95	50,5	-139	0,00
6	299,9	0	0,0	-175	0,02	0,9	69	0,00
7	349,9	3	1,2	-6	0,47	24,6	76	0,00
8	399,9	0	0,1	-65	0,01	0,4	176	0,00
9	449,9	1	0,3	58	0,24	12,6	-38	0,00
10	499,9	0	0,1	-69	0,01	0,4	-82	0,00
11	549,9	0	0,0	60	0,24	12,9	-173	0,00
12	599,9	0	0,0	-115	0,00	0,2	-68	0,00
13	649,9	0	0,2	-12	0,16	8,5	31	0,00
14	699,9	0	0,0	-125	0,00	0,2	147	0,00
15	749,9	0	0,1	-54	0,05	2,6	-148	0,00
16	799,9	0	0,0	-37	0,01	0,4	-61	0,00
17	849,8	0	0,0	-21	0,02	1,0	-97	0,00
18	899,8	0	0,0	-134	0,00	0,0	-34	0,00
19	949,8	0	0,0	48	0,01	0,5	113	0,00
20	999,8	0	0,0	-111	0,00	0,1	105	0,00
21	1049,8	0	0,1	-106	0,02	1,2	77	0,00
22	1099,8	0	0,0	-27	0,01	0,3	-10	0,00
23	1149,8	0	0,0	173	0,05	2,7	-77	0,00
24	1199,8	0	0,0	151	0,00	0,1	180	0,00
25	1249,8	0	0,0	82	0,04	2,3	142	0,00
26	1299,8	0	0,0	37	0,01	0,3	60	0,00
27	1349,8	0	0,1	-71	0,04	2,0	31	0,00
28	1399,7	0	0,0	46	0,00	0,1	-27	0,00
29	1449,7	0	0,0	-124	0,03	1,6	-96	0,00
30	1499,7	0	0,0	112	0,00	0,1	174	0,00
31	1549,7	0	0,0	101	0,02	1,1	119	0,00

**Calcul du dimensionnement
d'un filtre actif**

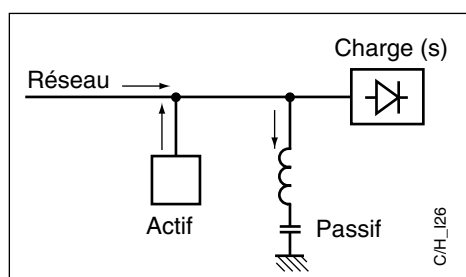
- Mesure du courant efficace absorbé par la charge déformante :

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=\infty} I_n^2}$$

- Dimensionnement du filtre passif :

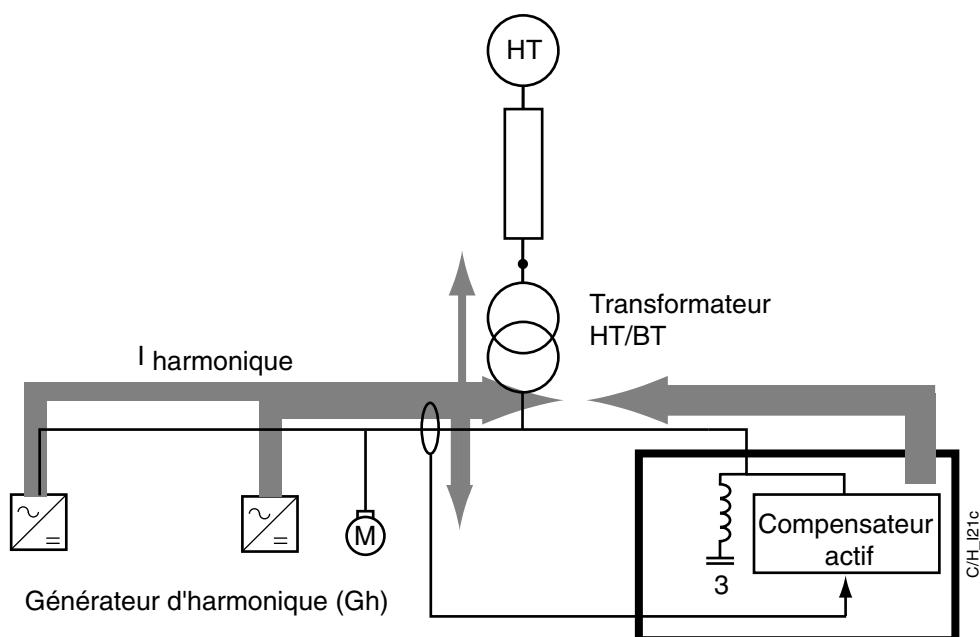
$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} I_n^2}$$

- Nota : les filtres actifs industriels travaillent jusqu'au rang 25 environ.

Filtrage hybride**■ Intérêt de cette méthode.**

□ Parmi les nombreuses variantes dites «hybrides», nous nous intéresserons plus particulièrement au type dit «série/parallèle» associant compensateurs actif(s) et passif(s) qui présente un intérêt certain pour la dépollution au plus près de convertisseurs de grosses puissances.

□ Le passif «tape» sur les rangs faibles de forte amplitudes et évite la saturation de l'actif qui peut se consacrer au rang élevés de plus faible amplitudes.

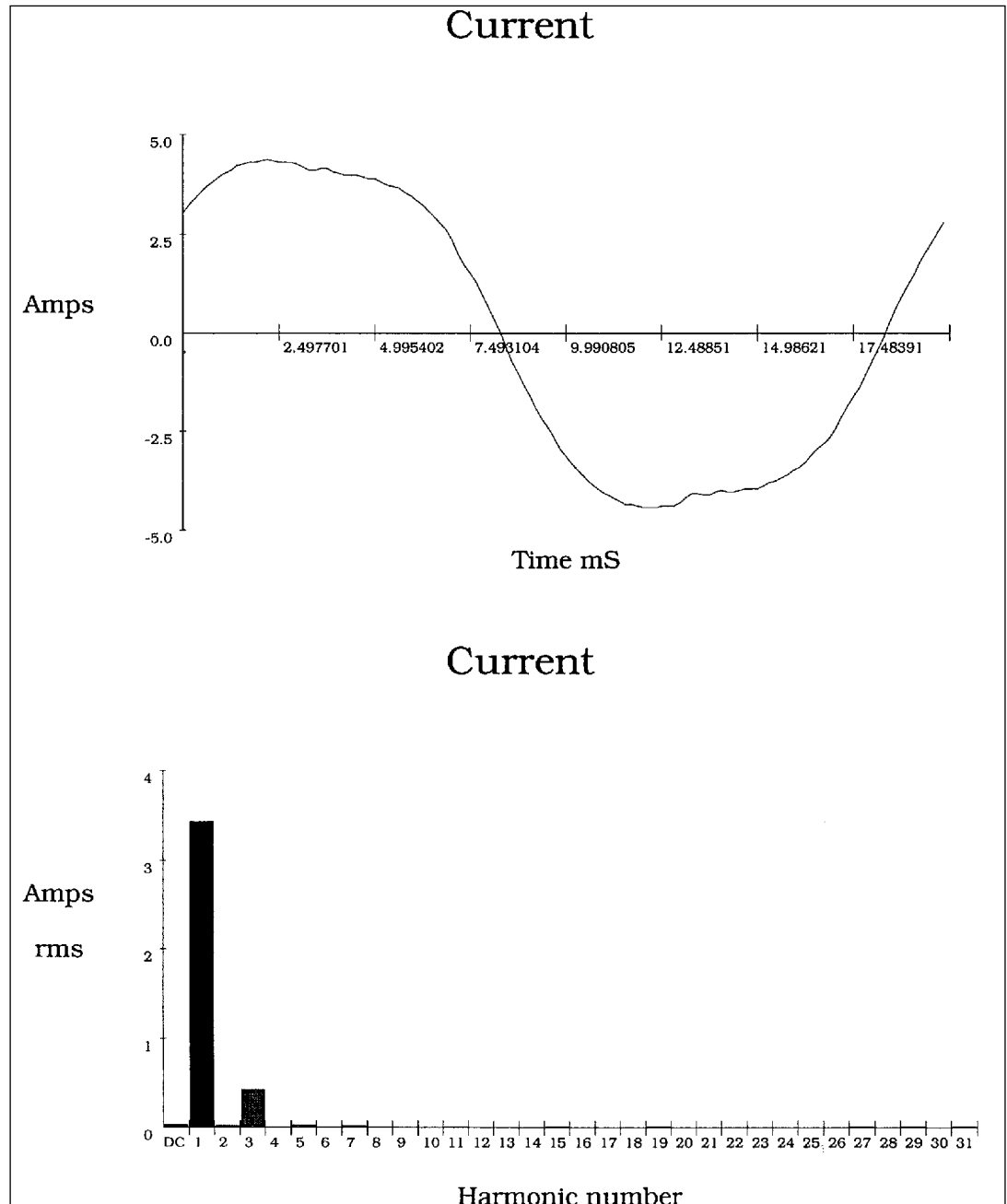


Mesure avec filtre hybride

☐ Mettre en service le filtre passif, la self L1 et le filtre actif paramétré pour balayer le spectre lors du rang 4 à 25.

Note : le rang 3 sera abordé par le filtre passif

☐ Mesurer en toute sécurité, à l'aide d'un analyseur d'harmoniques, les paramètres de l'alimentation en énergie électrique du coffret aux points de mesure U tension ; I réseau et I filtre situé sur le compensateur actif.



■ Montage hybride :

□ Mesure sur réseau

□ VV seul à In

□ Filtre actif programmé des rangs H4 à H25

□ Self de ligne L1 et filtre passif (rang 3) connectés

□ Conclusion : le filtre actif n'étant plus en surcharge (grâce à la contribution du filtre passif), la dépollution est totale

□ Ceci permet de sous-dimensionner le compensateur actif

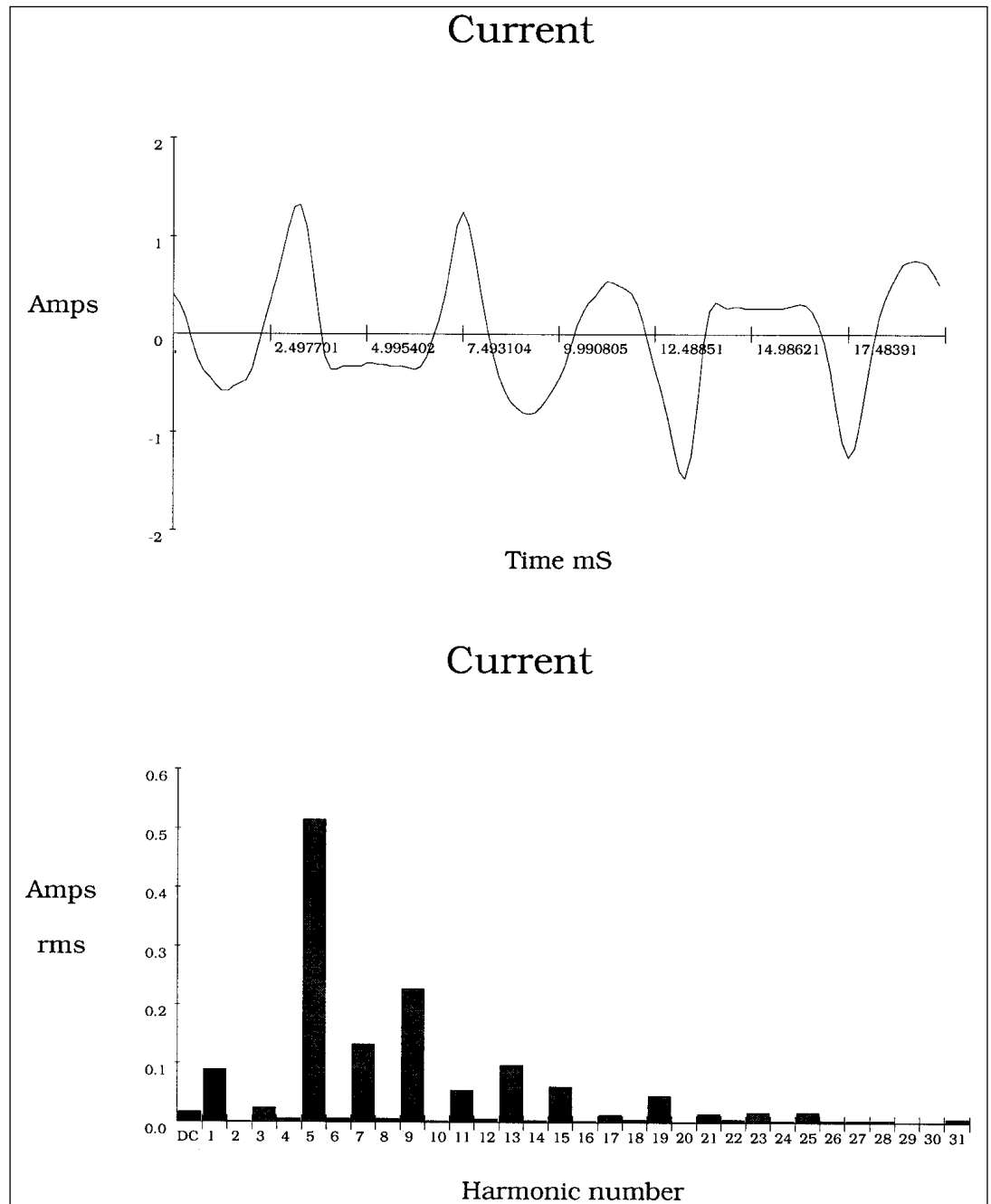
□ Nota : Le résidu de lh3 correspond au facteur de qualité du filtre passif

Summary Information

		Voltage		Current	Record Information			
		RMS	Peak		Max	Average	Min	
Frequency	50,0	232	313	3,47	V RMS			
Power		0	-0,03	4,49	A RMS			
KW	0,67	DC Offset	1,35	1,3	V Peak			
KVA	0,81	Crest	8,4	12,4	A Peak			
KVAR	0,43	THD Rms	8,4	12,5	V THD-R%			
Peak KW	1,30	THD Fund	19	0,43	A THD-R%			
Phase	32° lead	HRMS		1,2	KWatts			
Total PF	0,84	KFactor			KVAR			
DPF	0,84				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,2	0	0,03	0,8	0	0,00
1	50,0	232	99,8	0	3,43	99,9	32	0,67
2	100,1	0	0,2	-124	0,02	0,5	-64	0,00
3	150,1	8	3,5	-25	0,43	12,5	79	0,00
4	200,2	0	0,1	-173	0,00	0,1	105	0,00
5	250,2	15	6,5	-141	0,03	0,8	-152	0,00
6	300,3	0	0,0	134	0,00	0,1	68	0,00
7	350,3	4	1,6	-7	0,02	0,5	-166	0,00
8	400,4	0	0,0	-54	0,01	0,2	-77	0,00
9	450,4	5	2,3	53	0,00	0,1	46	0,00
10	500,5	0	0,0	8	0,00	0,1	97	0,00
11	550,5	3	1,4	-179	0,01	0,3	-58	0,00
12	600,6	0	0,0	82	0,00	0,1	100	0,00
13	650,6	2	1,0	-99	0,00	0,1	-10	0,00
14	700,6	0	0,0	-172	0,00	0,1	-106	0,00
15	750,7	3	1,3	14	0,01	0,3	77	0,00
16	800,7	0	0,0	-59	0,00	0,1	-95	0,00
17	850,8	2	0,7	100	0,00	0,1	103	0,00
18	900,8	0	0,0	61	0,00	0,1	118	0,00
19	950,9	2	0,9	-154	0,01	0,3	-124	0,00
20	1000,9	0	0,0	139	0,00	0,0	-77	0,00
21	1051,0	1	0,6	-50	0,01	0,2	57	0,00
22	1101,0	0	0,0	-146	0,00	0,1	-88	0,00
23	1151,1	2	0,7	37	0,00	0,1	17	0,00
24	1201,1	0	0,0	-86	0,00	0,0	-175	0,00
25	1251,2	1	0,5	148	0,01	0,2	-136	0,00
26	1301,2	0	0,0	0	0,00	0,0	83	0,00
27	1351,2	1	0,5	-127	0,01	0,3	80	0,00
28	1401,3	0	0,0	-43	0,00	0,1	-56	0,00
29	1451,3	1	0,5	-17	0,01	0,3	46	0,00
30	1501,4	0	0,0	-143	0,00	0,0	-35	0,00
31	1551,4	1	0,4	75	0,01	0,3	-169	0,00



■ Montage hybride :

□ Mesure sur de courant absorbé dans le filtre actif

□ Filtre actif programmé des rangs H4 à H25

□ Self de ligne L1 et filtre passif (rang 3) connectés

□ Conclusion : absence de fondamental ; présence du spectre harmonique de lh5 à lh25 dans le filtre (le rang lh3 étant absorbé par le filtre passif)

Summary Information

		Voltage		Current	Record Information			
					Max	Average	Min	
Frequency	50,0	RMS	226	0,61	V RMS			
Power		Peak	308	1,43	A RMS			
Watts	13	DC Offset	0	-0,02	V Peak			
VA	136	Crest	1,36	2,35	A Peak			
Vars	18	THD Rms	3,4	98,9	V THD-R%			
Peak W	432	THD Fund	3,4	658,5	A THD-R%			
Phase	63° lead	HRMS	8	0,60	Watts			
Total PF	0,09	KFactor		**OL**	Volt * Amps			
DPF	0,45				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (W)
DC	0,0	0	0,1	0	0,02	2,9	0	0
1	50,0	226	100,0	0	0,09	15,4	63	9
2	100,1	0	0,1	-15	0,00	0,3	142	0
3	150,1	1	0,4	-101	0,02	4,2	0	0
4	200,2	0	0,1	14	0,01	1,2	-8	0
5	250,2	7	3,3	170	0,51	87,4	154	4
6	300,3	0	0,0	51	0,01	1,3	70	0
7	350,3	2	0,7	-3	0,13	22,6	139	0
8	400,4	0	0,1	138	0,01	1,3	161	0
9	450,4	0	0,1	-106	0,23	38,6	-53	0
10	500,5	0	0,0	99	0,00	0,6	-27	0
11	550,5	1	0,3	61	0,05	9,3	118	0
12	600,6	0	0,0	32	0,01	1,3	-15	0
13	650,6	1	0,3	-8	0,10	16,6	93	0
14	700,6	0	0,0	-110	0,00	0,8	167	0
15	750,7	0	0,1	-115	0,06	10,5	-101	0
16	800,7	0	0,0	-112	0,00	0,6	28	0
17	850,8	0	0,1	44	0,01	2,2	176	0
18	900,8	0	0,0	-15	0,01	1,0	-60	0
19	950,9	0	0,1	-60	0,05	7,7	30	0
20	1000,9	0	0,0	152	0,00	0,3	169	0
21	1051,0	0	0,1	-108	0,01	2,4	-122	0
22	1101,0	0	0,0	-108	0,01	1,0	-7	0
23	1151,1	0	0,1	26	0,02	3,0	152	0
24	1201,1	0	0,0	129	0,00	0,5	-85	0
25	1251,2	0	0,0	-92	0,02	3,0	-6	0
26	1301,2	0	0,0	-172	0,00	0,7	179	0
27	1351,2	0	0,0	-69	0,00	0,7	10	0
28	1401,3	0	0,0	-144	0,00	0,7	-56	0
29	1451,3	0	0,0	32	0,00	0,4	-5	0
30	1501,4	0	0,0	-100	0,00	0,4	-79	0
31	1551,4	0	0,0	-102	0,01	1,2	-82	0

■ Conclusion

Suite à cette étude des remèdes, il convient de faire une synthèse sur le bien fondé de leur application respective. Pour cela nous proposons un argumentaire technico-économique progressif en commençant par la solution de base.

Remèdes	Efficacité de filtrage	Incidence économique sur l'installation	Coût du remède (ordre d'idée varie avec la puissance) *
Inductance de ligne seule.	Affaiblissement de tout spectre car self non accordée, aucune suppression de rang harmonique.	En fonction de leur efficacité les incidences sur l'installation sont les réductions suivantes :	A
Filtre passif, shunt accordé, cellule avec protection.	Accord de la branche série self + condensateur sur un rang riche en harmonique, suppression totale du rang d'accord.	<ul style="list-style-type: none"> - réduction du IRMS dans les câbles et dans l'installation. - réduction des sections de câble ph + neutre, - réduction du calibre des protections et des contacteurs, - réduction du rayonnement magnétique des câbles, - réduction du TDHU - réduction du coût de l'installation. 	B
Compensateur actif dimensionné pour la puissance totale	Suppression de tout un spectre d'harmonique (2 à 23 environ).	- Donc amélioration globale du bon fonctionnement de l'installation (continuité des services).	D
Filtrage hybride, association filtre passif compensateur actif.	Solution très efficace, suppression de tout les spectres : <ul style="list-style-type: none"> - rangs bas = filtrage passif, - rangs élevés = filtrage actif. Le système permet d'optimiser la puissance du filtre actif	<ul style="list-style-type: none"> - Respect des normes (surtout le spectre). - Solution bien adaptée à un filtrage réseau. - Compensation d'énergie réactive. 	C

(*) A : - cher ... D : + cher

2.6 TP 3 : Étude «Harmoniques et compensation d'énergie réactive»

Étude des phénomènes harmoniques

**Lieu
d'activité**

Laboratoire d'essai de
système

Transfert et
complément de
connaissance

**Conditions de
réalisation**

■ Sécurité

L'enseignant doit énoncer de manière explicite les consignes de sécurités.

Pour réduire au maximum les risques d'origine électrique :

- ☐ Tous les points de mesure sont accessibles sur le coté de l'armoire par bornes de sécurité.
- ☐ Le raccordement des appareils de mesure doit être réalisé exclusivement par des cordons de sécurité.

■ Matériels et documents utilisés

- ☐ Le système «Banc d'étude des perturbations des réseaux électriques CEM et Harmoniques»,
- ☐ Le dossier technique du système,
- ☐ Un analyseur d'harmoniques.

■ Pré-requis

- ☐ Sensibilisation du risque électrique.
- ☐ Connaissance des normes et définitions liées à l'études des harmoniques.
- ☐ Connaissance de base de l'électrotechnique.

**Conditions de
mesure**

■ Configuration du système

- ☐ Raccorder les deux armoires par :
 - le câble d'alimentation de la partie opérative.
 - le câble d'alimentation du variateur repéré (raccordé CEM).
- ☐ Utiliser des cordons de sécurité pour raccorder l'analyseur harmonique aux bornes U1, pour réaliser la mesure de la tension réseau,
- ☐ Remplacer les cavaliers IAR et I1 par un cordon de sécurité pour permettre la mise en place de la pince TI de l'analyseur harmonique et réaliser la mesure du courant réseau.
- ☐ Agir sur les boutons poussoirs correspondant aux différents filtres mis en oeuvre.
- ☐ Remplacer un des cavaliers I_M courant de sortie VV par un ampèremètre RMS pour réaliser la mesure du courant de charge réglé par le frein à poudre.
- ☐ Eviter de mettre hors tension le variateur entre les différentes manipulations pour éviter de surcharger la résistance de pré-charge du condensateur d'entrée du variateur. Pour cela utiliser le commutateur à 3 positions pour arrêter et démarrer le moteur.

**Objectif de
l'activité**

■ Mise en évidence et calcul des phénomènes de résonance, mise en oeuvre d'un remède.

■ Mise en évidence de la compensation d'énergie réactive.

- ☐ H0 : Connaître les normes en vigueur BF et HF, le marquage CE, ainsi que leurs champs d'application ;
- ☐ H3 : Identifier sur une installation, les supports de propagation des perturbations (courants forts et faibles) ;
- ☐ H4 : Identifier les différents pollueurs et victimes de l'installation ;
- ☐ H5 : Proposer un protocole d'investigation et de mesures sur site ;
- ☐ H6 : Déterminer, en fonction de critères prédéfinis, la stratégie de protection utilisé sur l'installation et justifier cette dernière.

■ La maquette permet (bien que ce ne soit pas son objectif principal) de visualiser le procédé de compensation d'énergie réactive grâce au condensateur C2 intégré.

□ Méthode de détermination de la compensation :

Formule utilisée : $QC = Pa(tg \varphi_1 - tg \varphi_2)$

Pa : Puissance absorbée par les récepteurs $tg \varphi_2$ à obtenir = 0,4 équivalent à $\cos \varphi = 0,93$.

□ Exemple : un moteur absorbe une puissance de 100 kW avec un $\cos \varphi$ de 0,75 ($tg \varphi = 0,88$).

Pour passer à un $\cos \varphi$ de 0,93 donc $tg \varphi = 0,4$ il faudra installer une batterie de condensateur :

$$QC = 100 (0,88 - 0,4) = 48 \text{ kVAR.}$$

Note : Dans notre maquette, C2 représente une compensation de 2,8 kVAR. Pour plus d'information, consulter le guide BT RECTIPHASE proposé ART 73190.

■ Vérification de l'efficacité de la compensation d'énergie réactive du condensateur C2 :

- Raccorder par exemple une puissance nominal d'environ 1000W de gradateur halogène sur la prise de courant disponible de l'armoire de commande.

- Dégrader le $\cos \varphi$ à 0,8 environ avec le gradateur par décalage de l'angle de phase.

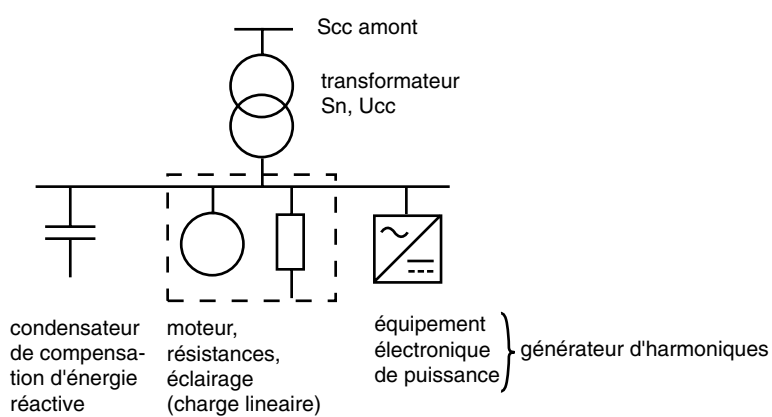
Note : Le variateur de vitesse est inutilisable pour cette manipulation car son $\cos \varphi$ amont est d'environ 1 quelle que soit sa puissance.

- Connecter C2 (L3 déconnectée), vérifier l'amélioration de $\cos \varphi = 0,9$.

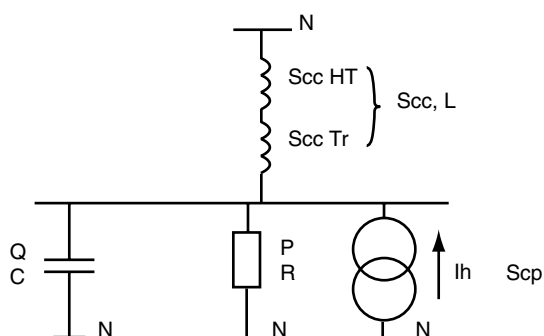
A - Rappel de l'anti-résonance

■ Construction d'un modèle de réseau

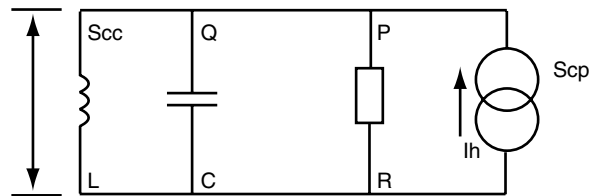
■ Modèle du réseau à 50Hz



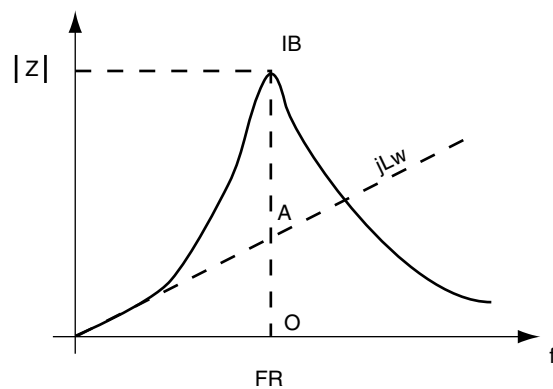
■ Son modèle harmonique



■ En l'absence de courant harmonique pré-existant sur le réseau, le schéma peut se représenter de la manière suivante :



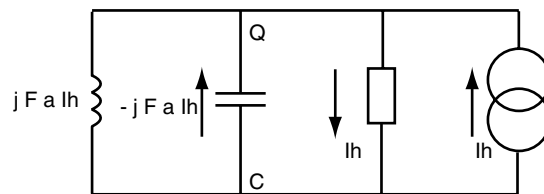
■ Mise en évidence d'un circuit RLC parallèle, dont la réponse de l'impédance en fréquence est représentative de la courbe suivante (maximum d'impédance):



■ Signification du facteur d'amplification F_A

$$F_A = OB / OA$$

■ Que se passe-t-il à la résonance



■ à la résonance on a :

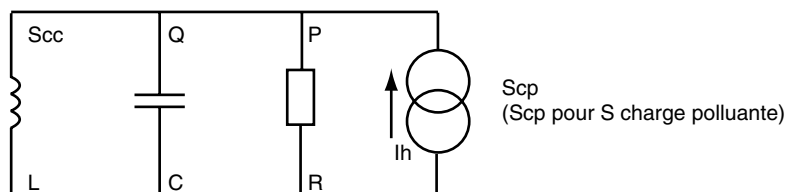
□ I_h dans la charge

□ $F_A \times I_h$ dans les condensateurs

□ $F_A \times I_h$ dans la source et donc dans le transformateur et sur le réseau HTA

■ Conclusion : les courants harmoniques injectés par les pollueurs de l'installation sont amplifiés par le circuit LC

■ Caractéristique du circuit bouchon



□ Pulsation de résonance : $\omega_R = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

□ Facteur d'amplification : $F_A = R \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$

□ Autre formulation : $h_R = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$; $F_A = \frac{\sqrt{S_{cc} \cdot Q}}{P}$

h_R : rang d'anti-résonance

F_A : facteur d'amplification

■ Les applications numériques

■ Calcul du rang de résonnance

$S_{cc} \text{ jdB} = 20 \text{ MVA}$

$Q \text{ jdB} = 400 \text{ kVAR}$

$\text{jdB} = \text{jeu de barre}$

$$h_R = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}} = \sqrt{50} = 7,1$$

■ Calcul du facteur d'amplification

$S_{cc} \text{ jdB} = 20 \text{ MVA}$

$Q \text{ jdB} = 400 \text{ kVAR}$

$P \text{ jdB} = 500 \text{ kW}$

$$F_A = \frac{\sqrt{S_{cc} \cdot Q}}{P} = \frac{\sqrt{20 \cdot 10^6 \cdot 400 \cdot 10^3}}{500 \cdot 10^3} = 5,6$$

Conclusion : ce circuit amplifie le rang 7 d'un facteur de 5,6. Ceci entraîne la surcharge du condensateur en courant.

L'anti résonnance génère également des surtensions sur le circuit.

■ Remède contre les phénomènes d'anti-résonance

■ But : réaliser l'accord du circuit LaH à une fréquence pauvre en harmonique pour supprimer les risques de forts courants harmoniques dans les condensateurs.

■ Moyen : montage en série avec le condensateur d'une self dite anti-harmonique.

■ Fréquence typique d'accord f_R :

□ 135 Hz rang 2,7 si 1er rang significatif est 3.

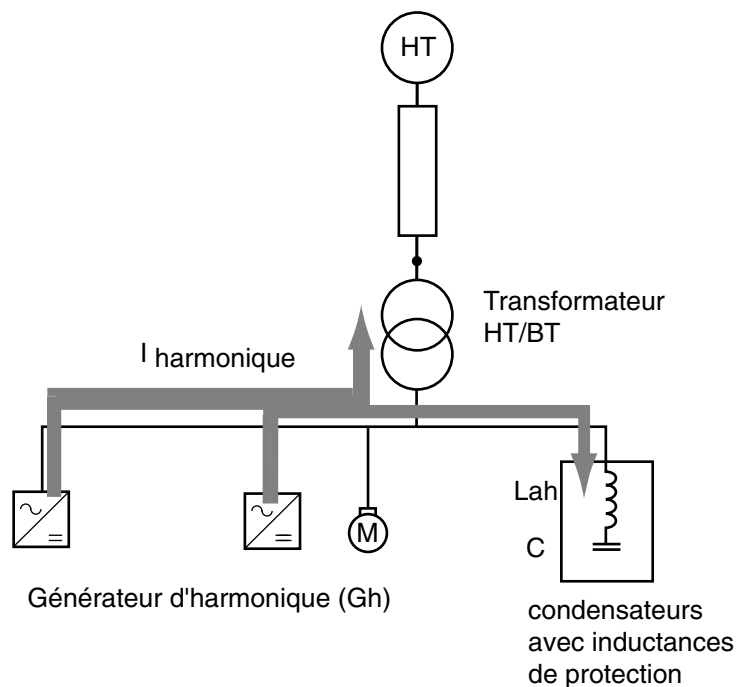
□ 190 Hz rang 3,8 (BT) si 1er rang significatif ≤ 5 en BT.

□ 225 Hz rang 4,5 si 1er rang significatif ≥ 5 en MT.

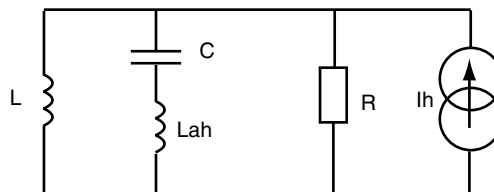
■ La fréquence d'accord du circuit bouchon est appelée fréquence d'anti-résonance (maxi d'impédance équivalente).

■ La fréquence d'accord de la branche self anti-harmonique, condensateur est appelée fréquence de résonance.

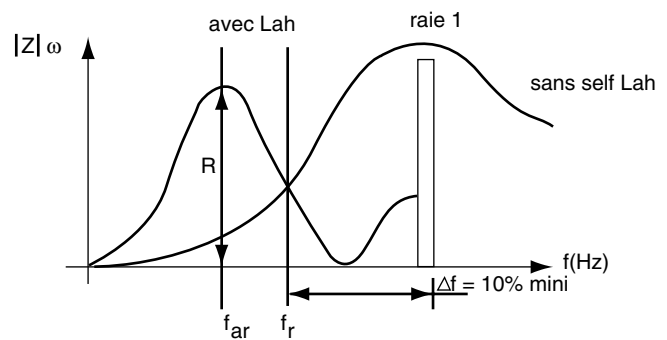
■ Principe



■ Circuit bouchon équivalent



■ $FR = 135 \text{ Hz}$ si raie 1 = I_{h3} et 190 Hz si raie 1 = I_{h5}



C2 représente une capacité de relèvement $\cos \varphi$, nous allons étudier l'influence des courants harmoniques sur le condensateur C2.

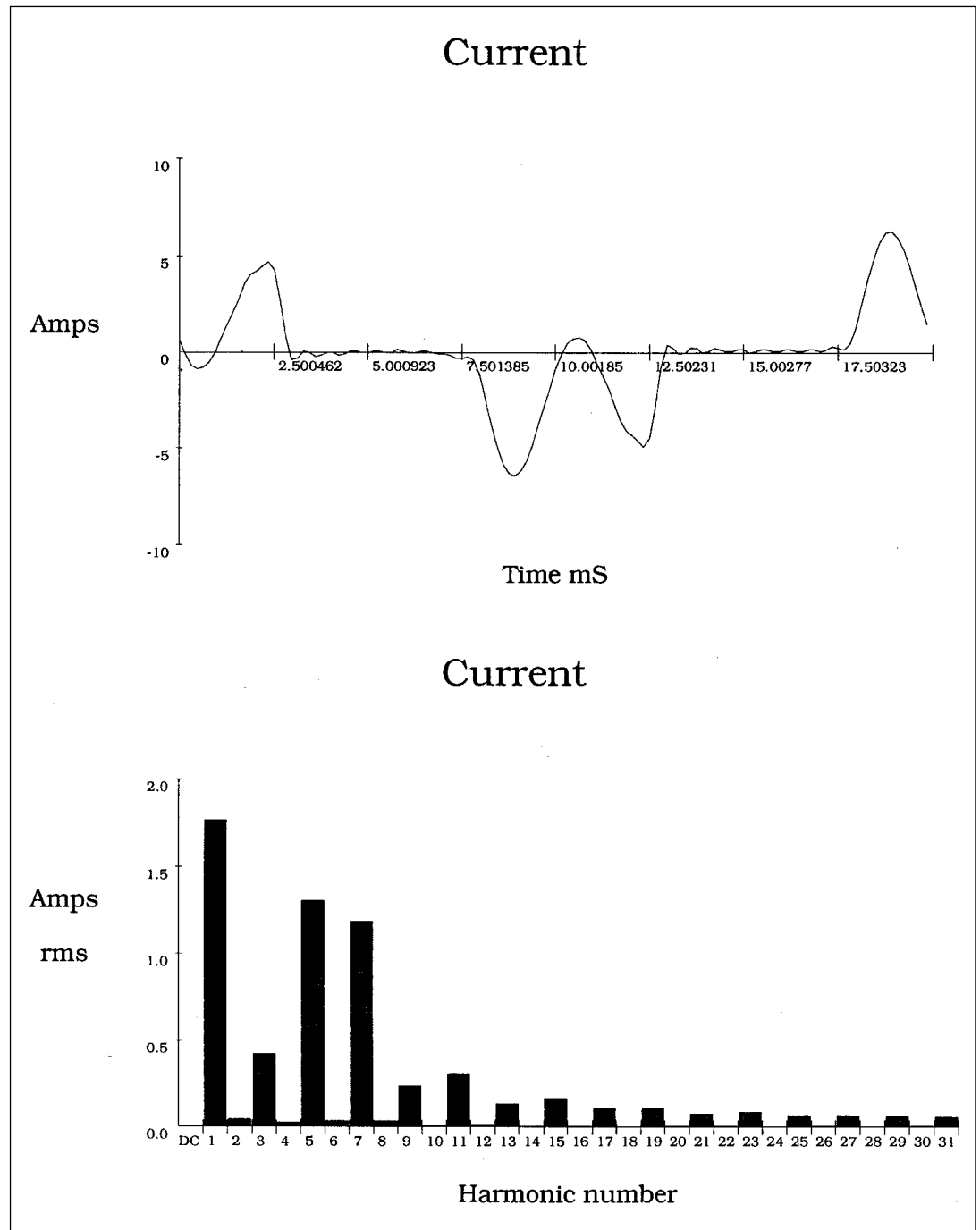
B- Etude de l'anti-résonance

1 - Mise en évidence du phénomène d'antirésonance

Mesurer en toute sécurité, à l'aide d'un analyseur de spectre, le courant dans le condensateur C2 ainsi que la tension et le courant réseau.

Condition de mesure :

- Mettre L1 en service, elle simule la self réseau.
- Connecter C2, pour simuler l'antirésonance.



- ☐ Mesure du courant IAR dans C2 avec VV à In
- ☐ L1 et L2 connectés
- ☐ Conclusion : apparition d'anti-résonance sur les rangs 5 et 7 ; surcharge du condensateur C2.

Étude des
phénomènes
harmoniquesTP 3 : Étude «Harmoniques et com-
pensation d'énergie réactive»

10/14

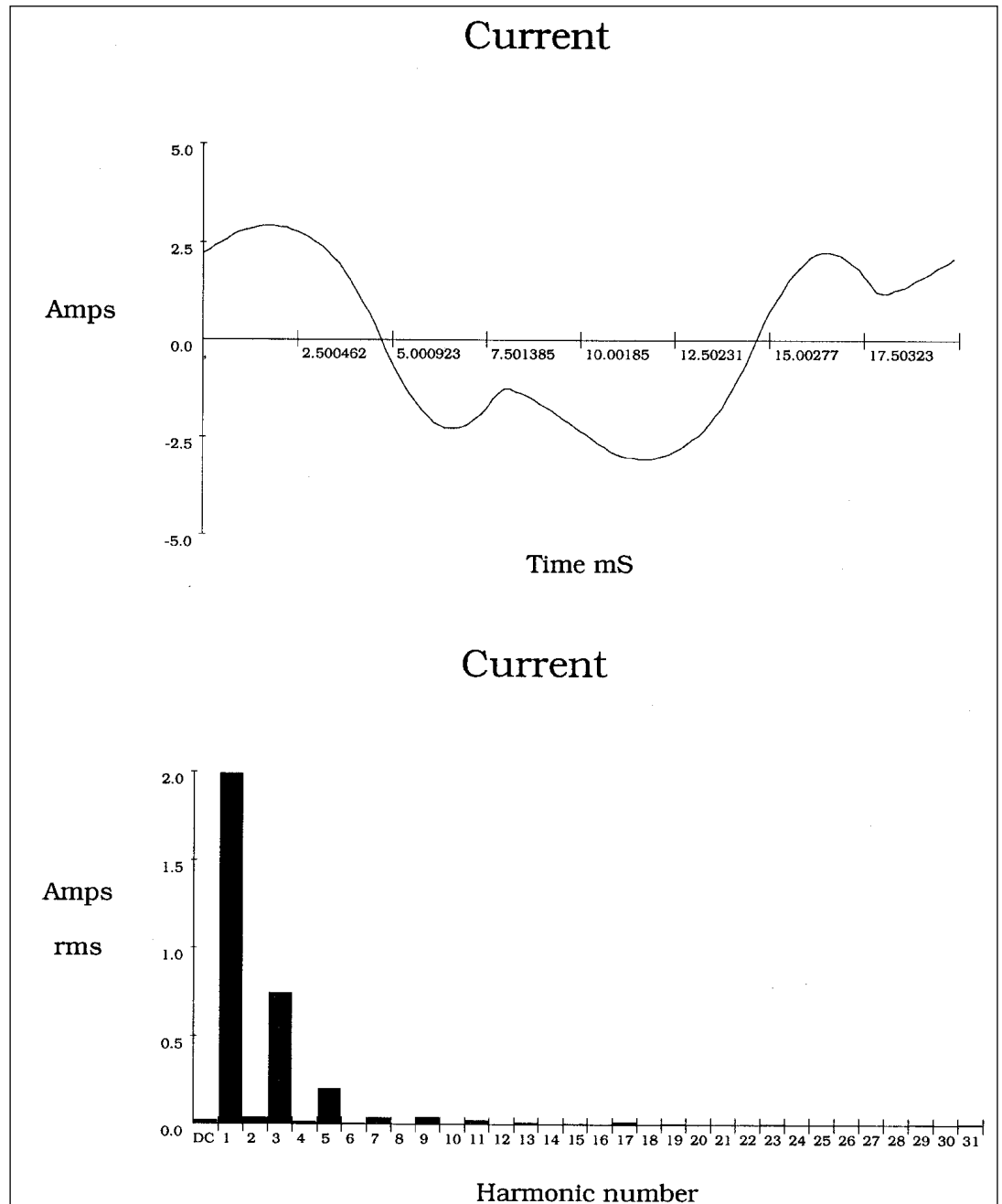
Summary Information

		Voltage		Current	Record Information			
		RMS	Peak		Max	Average	Min	
Frequency	50,0	227	309	2,59	V RMS			
Power		DC Offset	0	0,01	A RMS			
KW	0,00	Crest	1,36	2,51	V Peak			
KVA	0,59	THD Rms	3,1	72,9	A Peak			
KVAR	0,40	THD Fund	3,1	106,5	V THD-R%			
Peak KW	1,10	HRMS	7	1,88	A THD-R%			
Phase	91° lead	KFactor		25,3	KWatts			
Total PF	0,00				KVAR			
DPF	-0,01				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,1	0	0,01	0,2	0	0,00
1	50,0	227	100,0	0	1,77	68,4	91	-0,01
2	100,0	1	0,5	-139	0,05	1,8	-96	0,00
3	150,0	2	0,7	-16	0,42	16,3	140	0,00
4	200,0	0	0,1	137	0,03	1,1	-25	0,00
5	250,0	6	2,7	154	1,30	50,5	-141	0,00
6	299,9	0	0,1	136	0,04	1,5	-63	0,00
7	349,9	3	1,4	37	1,19	46,0	-150	0,00
8	399,9	0	0,1	-58	0,03	1,3	-56	0,00
9	449,9	1	0,3	86	0,23	9,1	-165	0,00
10	499,9	0	0,1	-31	0,01	0,4	-41	0,00
11	549,9	0	0,2	79	0,31	11,9	-7	0,00
12	599,9	0	0,0	111	0,02	0,7	144	0,00
13	649,9	1	0,2	-11	0,14	5,3	-44	0,00
14	699,9	0	0,0	-129	0,01	0,2	142	0,00
15	749,9	0	0,0	-53	0,17	6,5	159	0,00
16	799,9	0	0,0	-38	0,01	0,2	-53	0,00
17	849,8	0	0,1	51	0,11	4,1	106	0,00
18	899,8	0	0,0	153	0,00	0,1	-69	0,00
19	949,8	0	0,0	-60	0,11	4,1	-33	0,00
20	999,8	0	0,0	180	0,01	0,2	151	0,00
21	1049,8	0	0,0	-112	0,07	2,9	-101	0,00
22	1099,8	0	0,0	-53	0,01	0,2	66	0,00
23	1149,8	0	0,0	31	0,09	3,3	131	0,00
24	1199,8	0	0,0	160	0,00	0,1	-37	0,00
25	1249,8	0	0,0	142	0,07	2,7	58	0,00
26	1299,8	0	0,0	-30	0,01	0,3	-108	0,00
27	1349,8	0	0,0	-85	0,07	2,7	-67	0,00
28	1399,7	0	0,0	47	0,00	0,1	94	0,00
29	1449,7	0	0,0	-64	0,06	2,5	-143	0,00
30	1499,7	0	0,0	-159	0,01	0,3	51	0,00
31	1549,7	0	0,0	-174	0,06	2,3	98	0,00

2 - Remède permettant de supprimer l'antirésonance : mise en service de la self Lah L3



□ Mesure du courant IAR dans C2 avec VV à In

□ L1, L3 (Lah), C2 connectés

□ Conclusion :

- décalage de l'anti résonance à 135 Hz (rang pauvre en harmonique) par la self L3 ;
- suppression de l'anti-résonance sur les rangs 5 et 7 ;
- réduction des contraintes en courant et tension dans C2.

Étude des
phénomènes
harmoniquesTP 3 : Étude «Harmoniques et com-
pensation d'énergie réactive»

12/14

Summary Information

		Voltage		Current	Record Information			
					Max	Average	Min	
Frequency	50,0	RMS	227	2,14	V RMS			
Power		Peak	310	3,06	A RMS			
KW	0,01	DC Offset	0	-0,02	V Peak			
KVA	0,49	Crest	1,36	1,43	A Peak			
KVAR	0,45	THD Rms	2,9	36,4	V THD-R%			
Peak KW	0,70	THD Fund	2,9	39,1	A THD-R%			
Phase	89° lead	HRMS	6	0,78	KWatts			
Total PF	0,03	KFactor		2,3	KVAR			
DPF	0,01				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,1	0	0,02	1,1	0	0,00
1	50,0	227	100,1	0	1,99	94,1	89	0,01
2	100,0	1	0,4	-147	0,04	1,7	-98	0,00
3	150,0	2	0,7	-45	0,75	35,3	-44	0,00
4	200,0	0	0,1	-178	0,01	0,7	130	0,00
5	250,0	6	2,5	168	0,20	9,5	83	0,00
6	299,9	0	0,0	-172	0,00	0,2	-126	0,00
7	349,9	2	0,9	-8	0,04	1,7	-179	0,00
8	399,9	0	0,1	-57	0,00	0,1	-79	0,00
9	449,9	1	0,3	-79	0,04	1,8	-131	0,00
10	499,9	0	0,1	-26	0,00	0,1	-7	0,00
11	549,9	1	0,3	36	0,02	1,1	-37	0,00
12	599,9	0	0,0	141	0,00	0,1	124	0,00
13	649,9	1	0,2	-19	0,01	0,5	39	0,00
14	699,9	0	0,0	34	0,00	0,0	116	0,00
15	749,9	0	0,1	-83	0,01	0,4	105	0,00
16	799,9	0	0,0	180	0,00	0,1	-144	0,00
17	849,8	0	0,1	70	0,01	0,6	176	0,00
18	899,8	0	0,0	124	0,00	0,1	-4	0,00
19	949,8	0	0,1	-75	0,01	0,3	-57	0,00
20	999,8	0	0,0	-166	0,00	0,0	98	0,00
21	1049,8	0	0,0	-120	0,00	0,1	-25	0,00
22	1099,8	0	0,0	109	0,00	0,1	103	0,00
23	1149,8	0	0,0	69	0,01	0,3	66	0,00
24	1199,8	0	0,0	-96	0,00	0,0	-109	0,00
25	1249,8	0	0,0	-169	0,00	0,2	163	0,00
26	1299,8	0	0,0	61	0,00	0,0	-17	0,00
27	1349,8	0	0,0	-172	0,00	0,0	-63	0,00
28	1399,7	0	0,0	-20	0,00	0,0	-103	0,00
29	1449,7	0	0,0	-5	0,01	0,3	-81	0,00
30	1499,7	0	0,0	-19	0,00	0,1	43	0,00
31	1549,7	0	0,0	44	0,00	0,2	40	0,00

■ Mise en évidence de la surtension aux bornes du condensateur C2 et donc sur le réseau à l'anti résonance.

□ Condition de mesure :

- Mesure tension et courant dans C2.
- Analyseur en U2 et IAR
- Self L1 connectée pour se découpler du réseau de façon à pouvoir créer une surtension malgré la faible puissance réactive de C2

□ Tableau de mesure :

Mesures U2 (V) et IAR (A)	C2 déconnectée	C2 connecté L3 déconnectée	C2 et L3 connectées
Uh1	218	231	227
Uh5	16	43	18
Uh7	11	25	/
Ueff	220	237	228
TDHu (%)	14	24	11
Ih5	/	1,65	0,25
Ih7	/	1,3	0
Ieff	/	2,9	2,35

■ Vérification par le calcul de cette surtension liée à l'anti résonance sur les rangs 5 et 7 avec C2 connectée et L3 déconnectée

Ih5 dans C2 = 1,65A (cf tableau)

Ih7 dans C2 = 1,3A

C2 = 24,8 μH

□ Calcul de la surtension

$$U_{h5} = \frac{I_{h5}}{C\omega} = \frac{1,65}{24,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 250} = 42V$$

$$U_{h7} = \frac{I_{h7}}{C\omega} = \frac{1,3}{24,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 250} = 24V$$

$$U_{h1} = 231V$$

$$\sqrt{231^2 + 42^2 + 24^2} = 236V$$

□ Calcul du TDHu :

$$TDHu \% = 100 \cdot \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} U_{hn}^2}}{U_{h1}} = \frac{100 \cdot \sqrt{42^2 + 24^2}}{231} = 21 \%$$

Note : Les calculs confirment bien les mesures.

■ Solution : la surtension et le TDHu seront réduits fortement par la self L3 en série avec C2.

■ Conclusion : la mise en service de la self L3 permet de supprimer les rangs d'antirésonance 5 et 7. Il y a donc une réduction importante :

- de la surtension aux bornes de C2 et du réseau en U2,
- des courants I_{h5} et I_{h7} donc du I efficace dans C2 et du facteur d'amplification en courant (FA) lié à l'antirésonance.
- Une règle simple :
 - GH : puissance du générateur d'harmonique.
 - SN : puissance de la source d'alimentation.
 - C : condensateur d'énergie réactive = C2 dans notre application.
 - Lah : self d'antirésonance = L3 dans notre application.

□ Si $\frac{GH}{SN} < 15 \%$ alors C standard

□ Si $15 \% < \frac{GH}{SN} < 25 \%$ alors C de classe H (surclassement en tension et courant)

□ Si $25 \% < \frac{GH}{SN} < 60 \%$ alors Lah en série avec C

□ Si $\frac{GH}{SN} > 60 \%$ alors mise en place d'un filtre antiharmonique accordé

2.7 TP 4 : Influence de l'impédance de source sur le taux de distorsion en tension

Étude des phénomènes harmoniques

Lieu d'activité

Laboratoire d'essai de système

Transfert et complément de connaissance

Conditions de réalisation

■ Sécurité

L'enseignant doit énoncer de manière explicite les consignes de sécurités.

Pour réduire au maximum les risques d'origine électrique :

- ☐ Tous les points de mesure sont accessibles sur le coté de l'armoire par bornes de sécurité.
- ☐ Le raccordement des appareils de mesure doit être réalisé exclusivement par des cordons de sécurité.

■ Matériels et documents utilisés

- ☐ Le système «Banc d'étude des perturbations des réseaux électriques CEM et Harmoniques»,
- ☐ Le dossier technique du système,
- ☐ Un analyseur d'harmoniques.

■ Pré-requis

- ☐ Sensibilisation du risque électrique.

Conditions de mesure

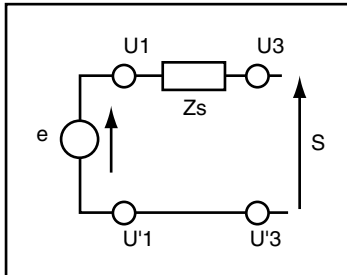
■ Configuration du système

- ☐ Raccorder les deux armoires par :
 - le câble d'alimentation de la partie opérative.
 - le câble d'alimentation du variateur repéré (raccordé CEM).
- ☐ Utiliser des cordons de sécurité pour raccorder l'analyseur harmonique aux bornes U1 et U3 pour réaliser la mesure de la tension réseau,
- ☐ Remplacer un des cavaliers I1 (phase ou neutre) par un cordon de sécurité pour permettre la mise en place de la pince T1 de l'analyseur harmonique et réaliser la mesure du courant réseau.
- ☐ Agir sur les boutons poussoirs correspondant aux différents filtres mis en oeuvre.
- ☐ Remplacer un des cavaliers I_M courant de sortie VV par un ampèremètre RMS pour réaliser la mesure du courant de charge réglé par le frein à poudre.
- ☐ Agir sur le bouton poussoir S1 pour connecter L1.
- ☐ Eviter de mettre hors tension le variateur entre les différentes manipulations pour éviter de surcharger la résistance de pré-charge du condensateur d'entrée du variateur. Pour cela utiliser le commutateur à 3 positions pour arrêter et démarrer le moteur.

Objectif de l'activité

■ Influence de l'impédance de ligne ou source sur le TDHu.

- ☐ H0 : Connaître les normes en vigueur BF et HF, le marquage CE, ainsi que leurs champs d'application ;
- ☐ H2 : Choisir et appliquer une stratégie de protection en fonction des données du constructeur.
- ☐ H5 : Proposer un protocole d'investigation et de mesures sur site ;



A - Introduction

■ Etude du taux de distorsion en tension : influence du ratio puissance récepteur / puissance de la source (réseau)

■ Lien entre distorsion de courant et de tension : l'impédance de source

Pour chaque harmonique de courant I_{Hn} , il apparaît une tension U_{Hn} aux bornes de l'impédance de source Z_{sn} .

$$U_{Hn} = Z_{sn} \cdot I_{Hn}$$

Pour que S soit affecté par cette tension U_{Hn} , il faut que le spectre harmonique soit riche et d'une amplitude en adéquation avec la puissance de la source e .

Dans notre cas, le ratio puissance de source / puissance de la charge est tel que le TDHu mesuré ne dépend que de cette charge mais est l'image du taux de distorsion en tension du réseau d'alimentation de l'établissement.

■ Utilisation du coffret de charges : relevé avec le variateur à I_n , $L1$ connecté

$L1$ simule la self réseau (15mH).

Le ratio puissance récepteur / puissance source ne permet pas de mettre en évidence un TDHu significatif apporté par la circulation de courant harmonique.

Pour mettre en évidence ce phénomène, nous augmentons artificiellement l'impédance du réseau (diminution de la puissance de la source) en introduisant une self de forte valeur $L1 = 15 \text{ mH}$.

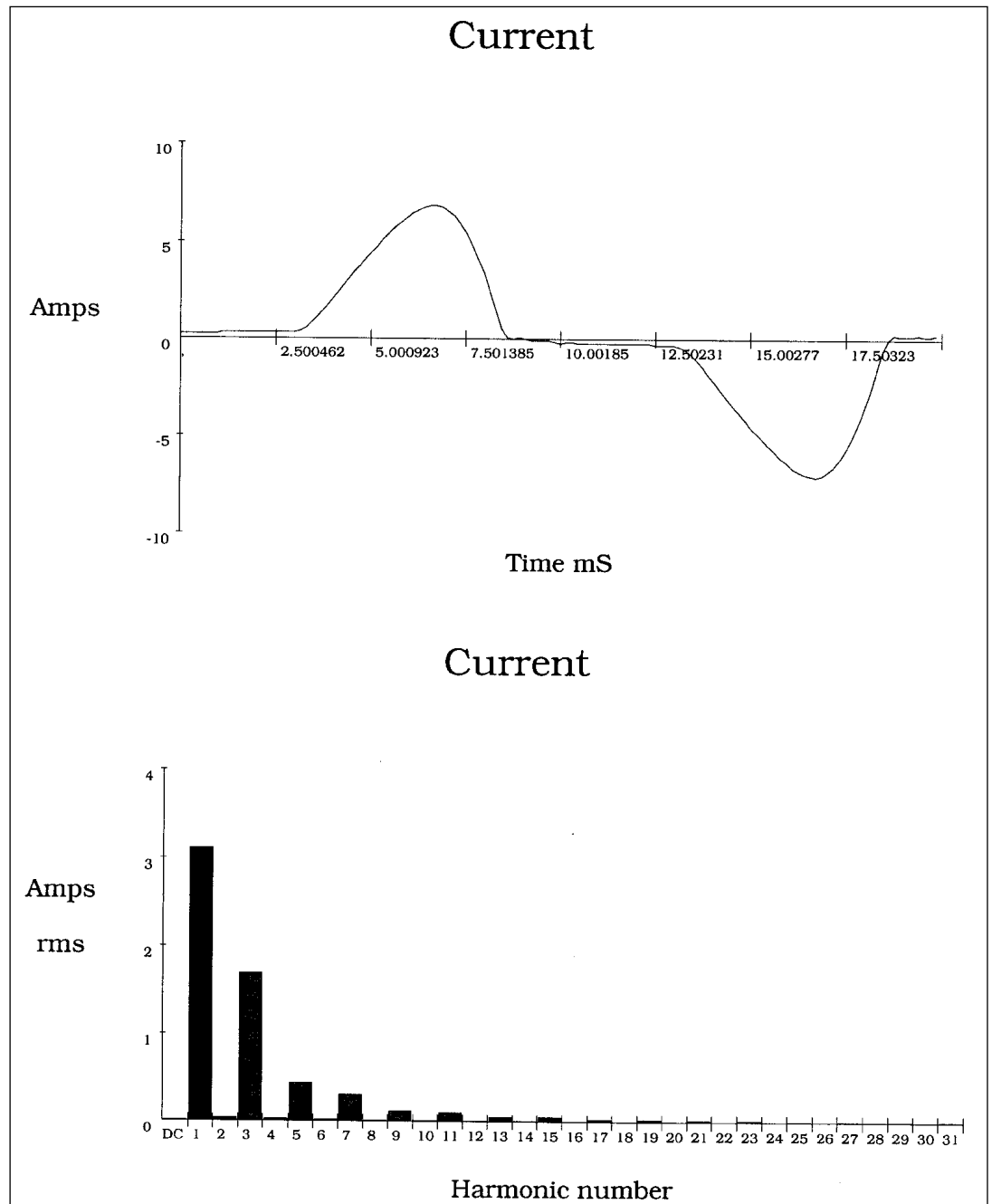
Le réseau simulé se mesure en $U3$.

B - Mesure

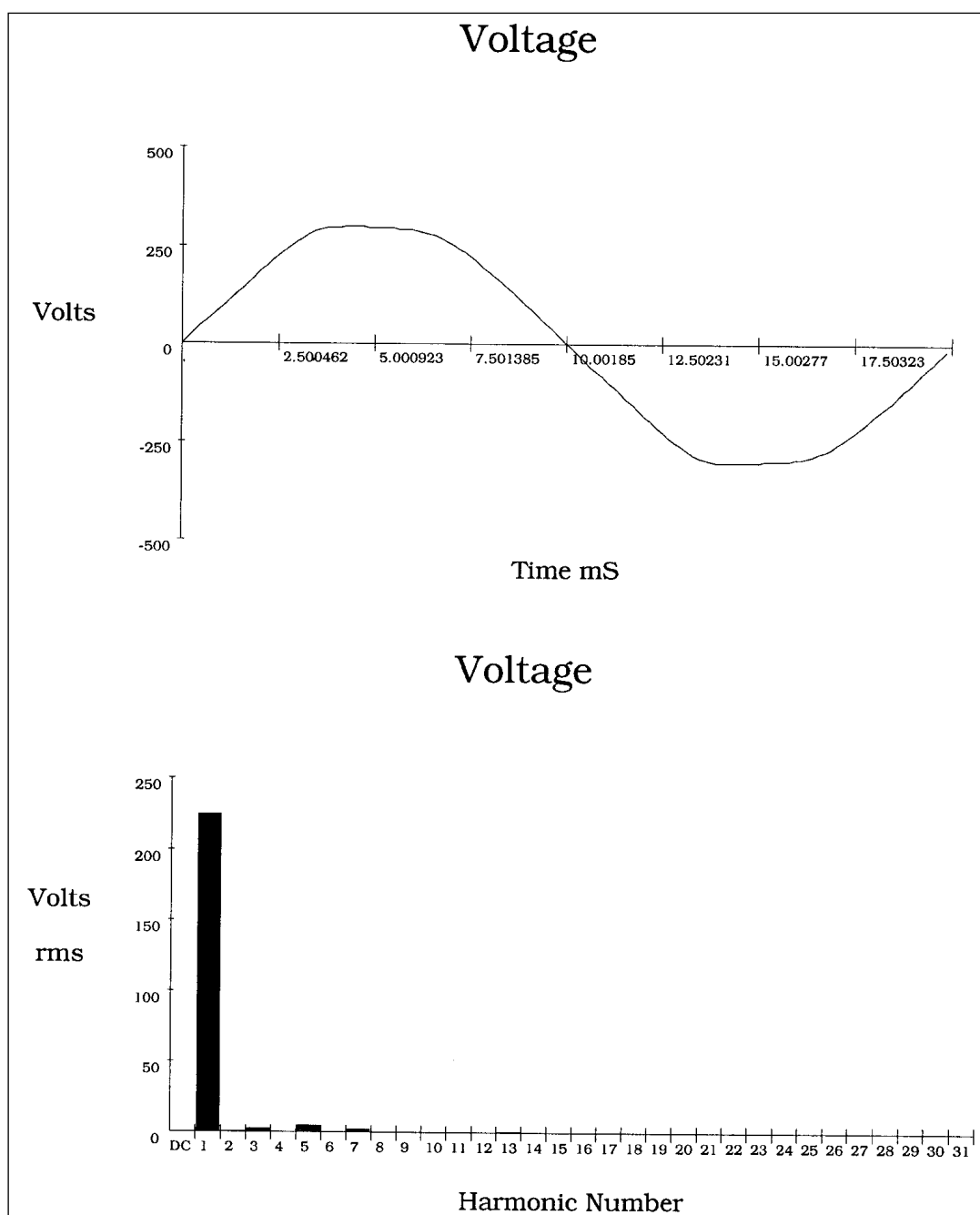
■ Mesurer en toute sécurité, à l'aide d'un analyseur, les paramètres de l'alimentation en énergie électrique du coffret aux points de mesure U1I1 (mesure TDHu en amont de L1), TDH pour le taux de distorsion de tension et de courant par rapport aux fondamental (THD Fund).

■ Mesurer en toute sécurité, à l'aide d'un analyseur, les paramètres de l'alimentation en énergie électrique du coffret aux points de mesure U3I1 (mesure TDHu en aval de L1), TDH pour le taux de distorsion de tension et de courant par rapport aux fondamental (THD Fund).

■ Nota : on considère que 1 mètre de câble rond est équivalent à une self de $1 \mu\text{H/mètre}$, quelque soit sa section et la fréquence des courants le traversant.



- ☐ Mesure sur le réseau en U111 (en amont de L1)
- ☐ VV seul à In
- ☐ Self L1 connectée



- ☐ Mesure sur le réseau en U111
- ☐ VV seul à In
- ☐ Self L1 connectée
- ☐ Pas de TDHu

**Étude des
phénomènes
harmoniques**
**TP 4 : Influence de l'impédance de source
sur le taux de distorsion en tension**

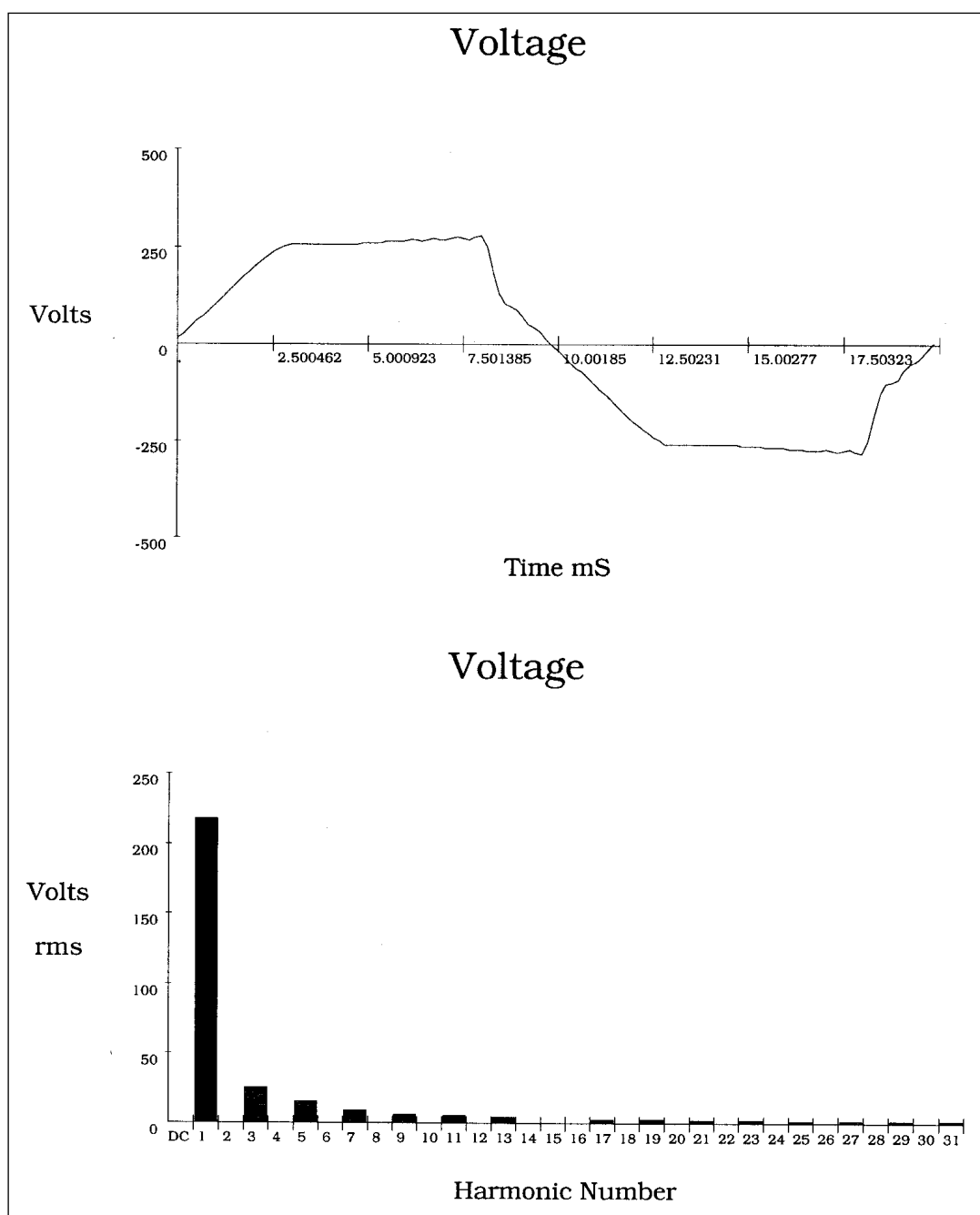
5/8

Summary Information

		Voltage		Current	Record Information			
		RMS	Peak		V RMS	Max	Average	Min
Frequency	50,0	225	307	3,59	A RMS			
Power		DC Offset	0	-0,01	V Peak			
KW	0,66	Crest	1,37	2,0	A Peak			
KVA	0,81	THD Rms	2,9	49,8	V THD-R%			
KVAR	0,23	THD Fund	2,9	57,4	A THD-R%			
Peak KW	2,08	HRMS	7	1,78	KWatts			
Phase	19° lag	KFactor		3,9	KVAR			
Total PF	0,82				TPF			
DPF	0,95				DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,0	0	0,01	0,3	0	0,00
1	50,0	225	100,0	0	3,11	86,9	-19	0,66
2	100,0	1	0,4	38	0,04	1,2	37	0,00
3	150,0	3	1,2	-58	1,69	47,3	110	0,00
4	200,0	0	0,1	-20	0,03	0,9	127	0,00
5	250,0	5	2,3	165	0,44	12,2	-153	0,00
6	299,9	0	0,0	-72	0,02	0,5	-172	0,00
7	349,9	2	1,0	16	0,30	8,5	-103	0,00
8	399,9	0	0,1	110	0,01	0,4	-119	0,00
9	449,9	0	0,1	132	0,12	3,2	-21	0,00
10	499,9	0	0,1	129	0,01	0,3	-94	0,00
11	549,9	0	0,1	82	0,10	2,9	11	0,00
12	599,9	0	0,0	-50	0,01	0,3	-51	0,00
13	649,9	1	0,3	-37	0,05	1,5	73	0,00
14	699,9	0	0,0	37	0,01	0,2	-5	0,00
15	749,9	0	0,1	-80	0,05	1,5	120	0,00
16	799,9	0	0,0	-35	0,00	0,1	65	0,00
17	849,8	0	0,1	49	0,03	0,9	174	0,00
18	899,8	0	0,0	-45	0,01	0,2	109	0,00
19	949,8	0	0,0	-48	0,03	0,9	-124	0,00
20	999,8	0	0,0	-73	0,00	0,1	-173	0,00
21	1049,8	0	0,0	-163	0,02	0,5	-78	0,00
22	1099,8	0	0,0	118	0,00	0,1	-134	0,00
23	1149,8	0	0,0	115	0,02	0,5	-19	0,00
24	1199,8	0	0,0	-72	0,01	0,2	-91	0,00
25	1249,8	0	0,0	-105	0,01	0,4	24	0,00
26	1299,8	0	0,0	10	0,00	0,1	-42	0,00
27	1349,8	0	0,0	-109	0,01	0,4	89	0,00
28	1399,7	0	0,0	-48	0,00	0,1	19	0,00
29	1449,7	0	0,0	-30	0,01	0,3	144	0,00
30	1499,7	0	0,0	26	0,00	0,1	49	0,00
31	1549,7	0	0,0	105	0,01	0,3	-169	0,00



- ☐ Mesure sur le réseau en aval de L1 en U3I1
- ☐ VV seul à IN
- ☐ Self L1 connecté
- ☐ Apparition du TDHu

Summary Information

		Voltage		Current	Record Information		Average	Min
Frequency	50,0	RMS	222	3,57	V RMS	Max		
Power		Peak	290	7,17	A RMS			
KW	0,64	DC Offset	0	-0,02	V Peak			
KVA	0,79	Crest	1,31	2,01	A Peak			
KVAR	0,17	THD Rms	14,4	52,7	V THD-R%			
Peak KW	2,00	THD Fund	14,6	62,1	A THD-R%			
Phase	15° lag	HRMS	32	1,88	KWatts			
Total PF	0,81	KFactor		4,3	KVAR			
DPF	0,97				TPF			
					DPF			
					Frequency			

Harmonic Information

	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0,0	0	0,1	0	0,02	0,5	0	0,00
1	50,0	220	99,0	0	3,03	85,3	-15	0,64
2	100,0	0	0,1	-170	0,02	0,6	-134	0,00
3	150,0	24	10,9	26	1,78	50,0	123	-0,01
4	200,0	0	0,1	-150	0,01	0,2	-47	0,00
5	250,0	15	6,9	155	0,49	13,7	-125	0,00
6	299,9	0	0,1	-98	0,00	0,1	35	0,00
7	349,9	8	3,6	-165	0,31	8,7	-77	0,00
8	399,9	0	0,1	-45	0,00	0,0	30	0,00
9	449,9	7	3,0	-70	0,15	4,1	21	0,00
10	499,9	0	0,0	-2	0,00	0,1	166	0,00
11	549,9	5	2,3	-20	0,12	3,3	57	0,00
12	599,9	0	0,0	91	0,00	0,1	123	0,00
13	649,9	5	2,1	59	0,07	2,1	149	0,00
14	699,9	0	0,1	170	0,00	0,1	-117	0,00
15	749,9	4	1,7	109	0,06	1,6	-164	0,00
16	799,9	0	0,0	-154	0,00	0,0	60	0,00
17	849,8	3	1,4	-169	0,04	1,1	-80	0,00
18	899,8	0	0,0	-69	0,00	0,0	0	0,00
19	949,8	3	1,3	-112	0,03	1,0	-31	0,00
20	999,8	0	0,0	8	0,00	0,0	69	0,00
21	1049,8	2	1,1	-40	0,02	0,7	41	0,00
22	1099,8	0	0,0	70	0,00	0,0	124	0,00
23	1149,8	2	1,1	20	0,02	0,6	103	0,00
24	1199,8	0	0,0	135	0,00	0,0	-144	0,00
25	1249,8	2	0,9	91	0,02	0,5	169	0,00
26	1299,8	0	0,0	-155	0,00	0,0	-27	0,00
27	1349,8	2	0,9	153	0,02	0,4	-130	0,00
28	1399,7	0	0,0	-58	0,00	0,0	86	0,00
29	1449,7	2	0,7	-140	0,01	0,3	-62	0,00
30	1499,7	0	0,0	-63	0,00	0,0	44	0,00
31	1549,7	2	0,8	-76	0,01	0,3	4	0,00

C- Commentaire des relevés :

Chaque rang d'harmonique contribue à une chute de tension
 $U_{hn} = Z_{sn} \cdot I_{hn}$

Donc le TDHu dépendra de :

- la richesse du spectre harmonique
- de l'impédance de source ou ligne

Avec L1

TDHu% en U1 en amont de L1	TDHu% en U3 en aval de L1
2,9	14,6

Ce TDHu de 2,9% en amont mesuré sur le réseau simulé est compatible avec le TDHu de 8% standard fixé par le niveau de compatibilité réseau.

En revanche, le TDHu aval de 14,6% ne doit pas dégrader le couple moteur.

Rappelons que la self L1 de 15 mH dépasse volontairement la valeur proposée en standard de 10 mH de façon mieux mettre en évidence le TDHu.

3

Chapitre

Cours et TP «CEM»

Titre	page
3.1 Cours «CEM»	156
3.2 TP 1 : Mesure du rayonnement d'un câble en sortie variateur	197
3.3 TP 2 : Mesure du rayonnement d'un câble sur un écran cathodique	207
3.4 TP 3 : Mesure de l'efficacité d'une armoire CEM sur le champ rayonné	211
3.5 TP 4 : Mesure d'émission conduite HF réinjectée sur le réseau	213
3.6 TP 5 : Corrélation entre mesure sur site et en laboratoire	223

3.1 Cours «CEM»

1. Généralités

☐ **Objectif :**

Donner les principales définitions.

Fixer les rappels théoriques

2. Les normes, directives et marquages CE

☐ **Objectif :**

Présenter l'état de l'art concernant les principales normes, la directive CEM avec ses enjeux ainsi que le marquage CE.

3. Les couplages

☐ **Objectif :**

définir les modes de transmission des perturbations.

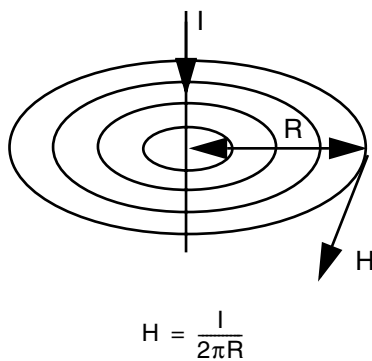
4. Règles de câblage

☐ **Objectif :**

- Connaître et savoir mettre en œuvre les règles pratiques d'installation et de câblage.
- Connaître les schémas de liaison à la Terre sur une installation en milieu perturbé.

A - Rappels

Le champ magnétique



■ Définition

□ Le champ magnétique est l'espace dans lequel un aimant est soumis à des forces.

□ H s'exprime en Ampère par mètre (A/m)

■ Quelques sources de champ magnétique :

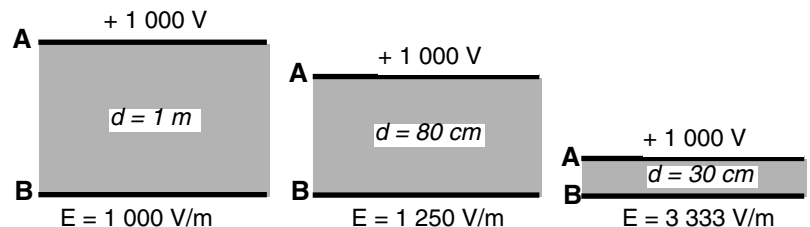
- champ de fuite d'un transformateur,
- courant basse fréquence dans les conducteurs,
- courant de la foudre.

■ Quelques effets perturbateurs du champ magnétique :

- déformation des images des tubes cathodiques (écrans des PC, téléviseurs...),
- tension induite dans les boucles.

Le champ électrique

$$E = \frac{U}{d} = \frac{U_A - U_B}{d} \text{ en V/m - Exemples :}$$



Les formules

■ Inductance

$$Z = L \cdot \omega \quad U = Z \cdot I$$

Z croît avec f

■ Résistance

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad U = R \cdot I$$

R indépendant de f

■ Condensateur

$$i = C \cdot \frac{dv}{dt} \quad i = C \cdot \omega \cdot U \quad Z = \frac{1}{C \cdot \omega} = \frac{1}{C \cdot 2\pi f} \quad \text{Z décroît avec f}$$

■ Induction

$$e = \mu_0 \cdot S \cdot \frac{dH}{dt}$$

■ Longueur d'onde

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \lambda : \text{longueur d'onde (mètres)} \quad c : \text{vitesse de la lumière (300 000 km/s)} \quad f \text{ en Hz}$$

Les décibels ■ Définition

□ C'est un nombre sans dimension, issu de la relation de base :

$$\text{nombre (dB)} = 20 \cdot \text{Log}_{10} (\text{nombre})$$

□ La commodité des Log consiste en la transformation :

- des multiplications en additions,
 - des divisions en soustractions.
- (Simplification des calculs)*

□ Valeurs :

$$0 \text{ dB} = 20 \cdot \text{Log}_{10} (1) \quad \text{Log}_{10} (1) = 0$$

$$20 \text{ dB} = 20 \cdot \text{Log}_{10} (10) \quad \text{Log}_{10} (10) = 1$$

$$40 \text{ dB} = 20 \cdot \text{Log}_{10} (100) \quad \text{Log}_{10} (100) = \text{Log}_{10} (10) + \text{Log}_{10} (10) = 2$$

■ Exemples

□ Gain d'un amplificateur : c'est le rapport des amplitudes exprimé

$$\text{en dB : gain(dB)} = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{U_{\text{sortie}}}{U_{\text{entree}}} \right)$$

□ Tableau des principales valeurs à retenir :

dB	rapport	dB	rapport
0	1	12	4
1	1,12	14	5
2	1,26	20	10
3	1,41	40	100
6	2	60	1 000
10	3,2	80	10 000

■ Exemples de calcul :

□ $1,26 \times 10 \times 2 \times 4 = ?$

en dB : $2 + 20 + 6 + 12 = 40 \text{ dB}$, donc un rapport 100

$$\rightarrow 1,26 \times 10 \times 2 \times 4 = 100$$

□ $\frac{100 \times 4}{4 \times 1,41} = ?$

en dB : $20 + 12 - 12 - 3 = 57 \text{ dB}$

$$57 \text{ dB} = 60 \text{ dB} - 3 \text{ dB}$$

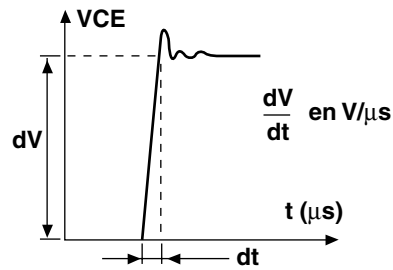
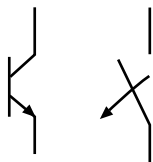
$$\rightarrow \frac{100 \times 4}{4 \times 1,41} = 709$$

B - Les sources de perturbation

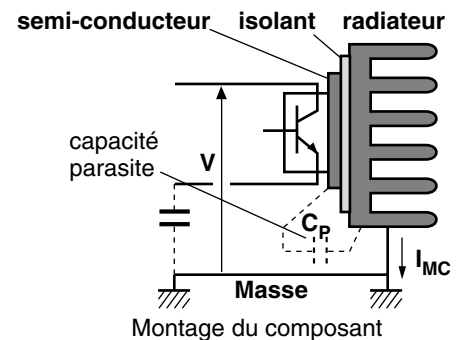
Généralités ■ Origine des perturbations HF en électronique de puissance

□ Origine : $\frac{dV}{dt}$, $\frac{dI}{dt}$, $\frac{dH}{dt}$ élevés

□ Exemple : commutation d'un transistor de puissance



Allure du V_{CE}



Montage du composant

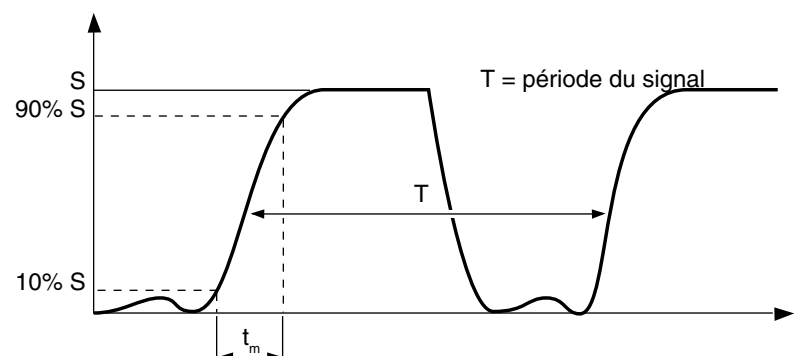
■ Caractéristiques des perturbations : forme d'onde ou temps de montée

□ Conversion du temps de montée en fréquence équivalente :

$$F = \frac{1}{\pi \cdot t_m} = \frac{0,35}{t_m} \text{ (Hz)},$$

où t_m (s) = temps de montée de 10 à 90% de l'amplitude du signal

La fréquence équivalente HF dépend du temps de montée t_m et non de la période T



□ Exemple

- ouverture d'un circuit CMOS : $t_m = 50 \text{ ns}$

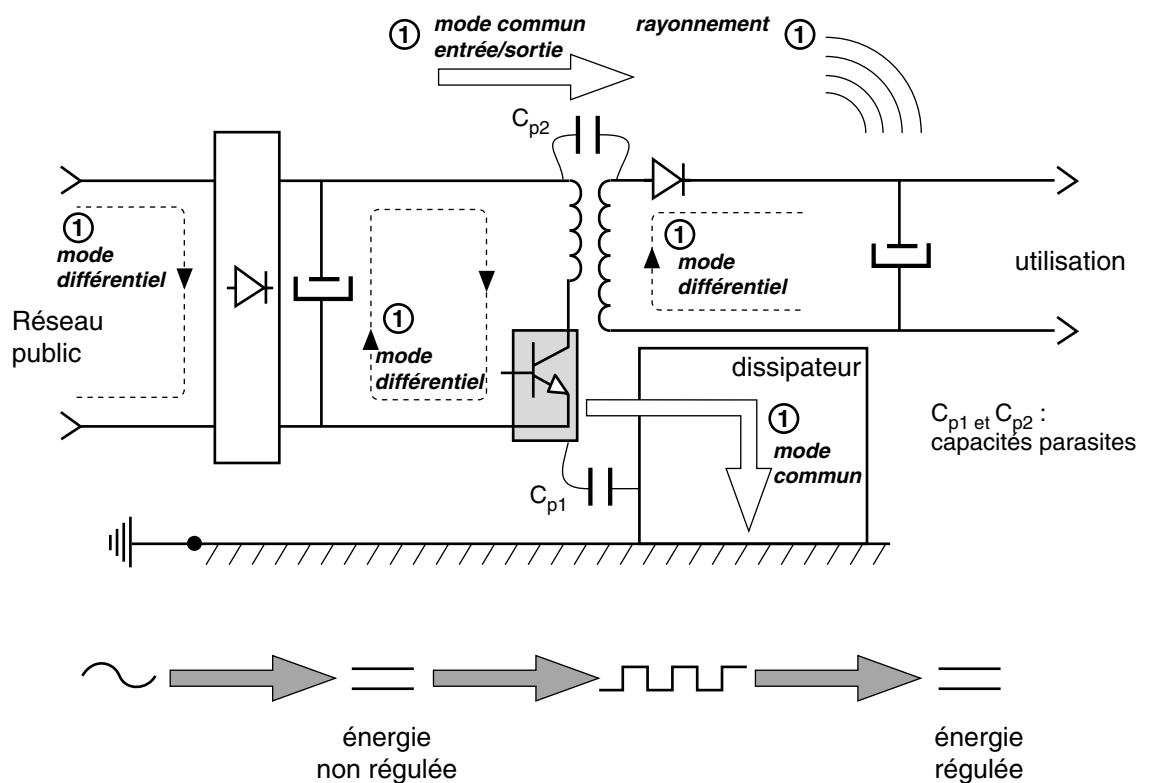
$$F = \frac{0,35}{50 \times 10^{-9}} = 7 \text{ MHz}$$

- coup de foudre : $t_m = 1 \mu\text{s}$

$$F = \frac{0,35}{1 \times 10^{-6}} = 350 \text{ kHz}$$

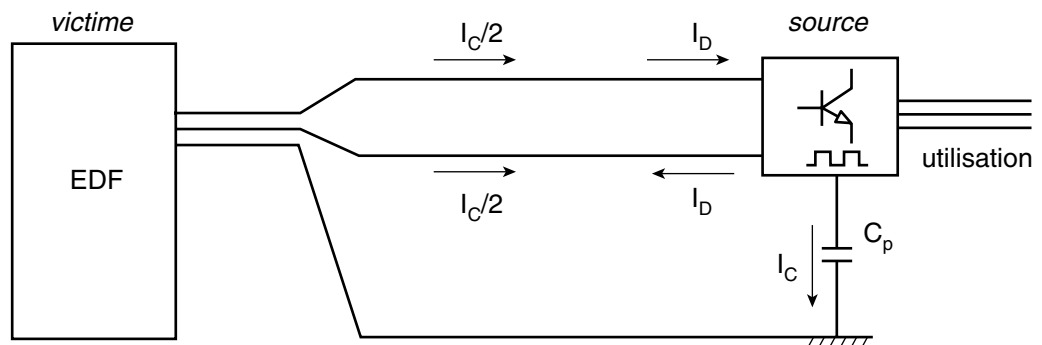
■ Application : l'alimentation à découpage

□ Les 6 types de perturbation différents :



L'émission conduite

■ Émission conduite par une alimentation à découpage sans filtrage



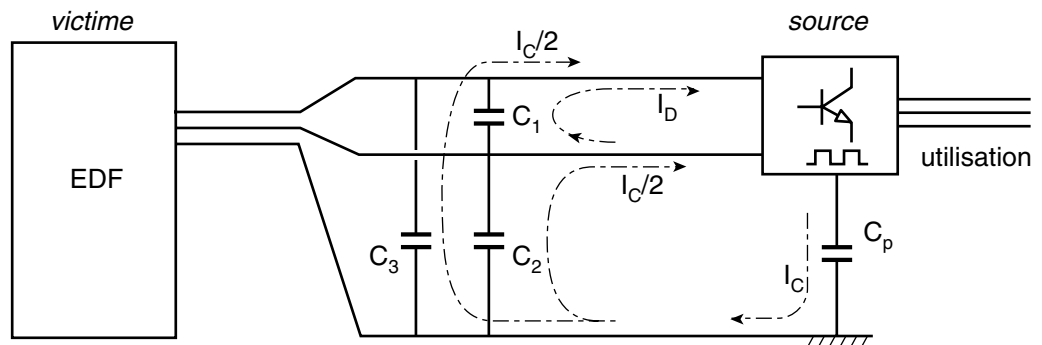
Ce type d'alimentation génère des courants de mode **différentiel** et de mode **commun**.

□ Le courant de mode différentiel (I_D) est généré par les dI/dt issus de la commutation des semi-conducteurs. I_D circule entre les conducteurs actifs.

□ Le courant de mode commun I_C est généré par les dU/dt issus de la commutation des semi-conducteurs. I_C circule sur les masses ou le conducteur PE par l'influence des capacités parasites (C_p) et se reboucle sur les conducteurs actifs.

□ Conclusion : le réseau est pollué.

■ Émission conduite par une alimentation à découpage avec filtrage



□ Remède :

- insertion de C_1 pour reboucler I_D ,
- insertion de C_2 et C_3 pour reboucler I_C .

□ Conclusion : le réseau n'est plus pollué.

■ Les remèdes : filtres amont et aval

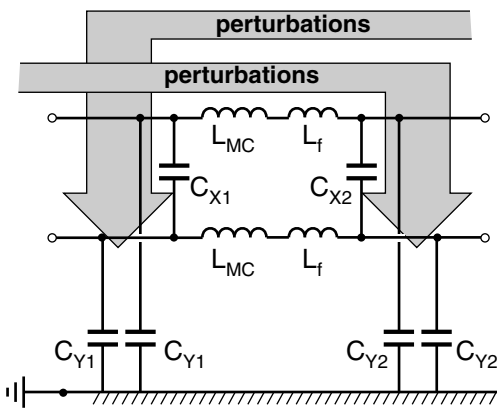
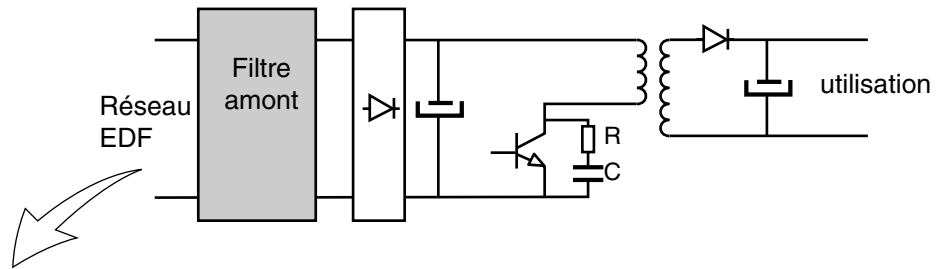


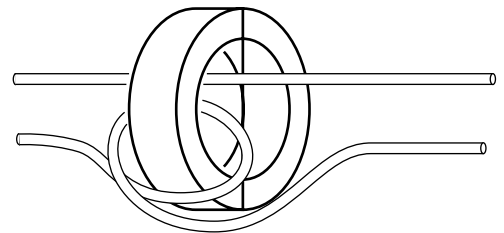
Schéma du filtre HF

- ☐ Filtrage du mode différentiel : L_f et C_X .
- ☐ Filtrage du mode commun : L_{MC} et C_Y .
- ☐ L_f et L_{MC} se différencient par leur sens de bobinage et leur valeur ($L_f < L_{MC}$).
- ☐ Ces filtres sont aujourd'hui de plus en plus intégrés au produit (source) - exemple : variateur ATV 28. Lorsqu'ils ne le sont pas, ils doivent être câblés au plus près du produit.
- ☐ Ces filtres sont bi-directionnels.

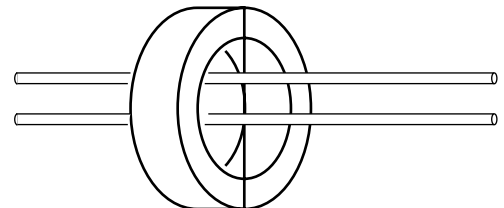
■ La mesure :

Mesure des courants sur site permettant d'adapter le remède pour rendre l'installation conforme ou fonctionnelle :

Mesure en mode différentiel



Mesure en mode commun

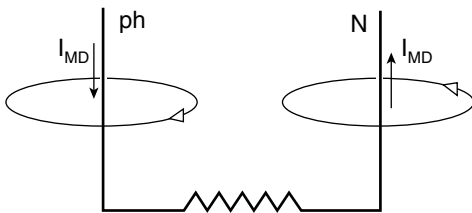


- ☐ Attention à la Bande Passante, la vitesse d'échantillonnage et à l'impédance de transfert Z_t du tore de mesure.
- ☐ Besoin d'un analyseur de spectre.

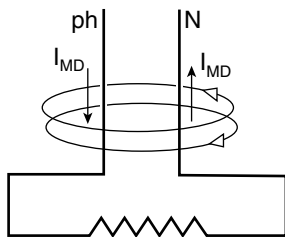
L'émission rayonnée

■ Étude du phénomène de rayonnement d'un câble de puissance

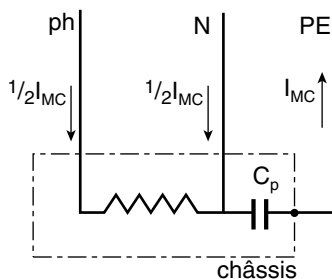
□ En mode différentiel : I_{MD}



Câbles écartés, donc chaque câble rayonne



Câbles rapprochés, donc annulation des champs : le rayonnement global diminue fortement

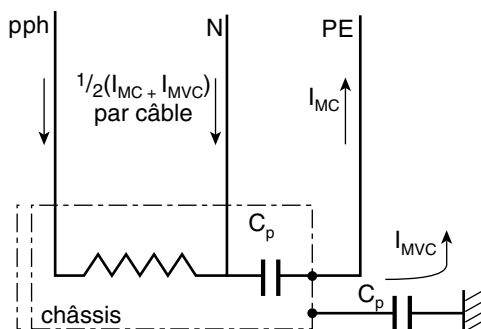


□ En mode commun filaire : I_{MC}

Le phénomène est identique à condition de serrer tous les câbles, y compris le câble de protection PE.

Ainsi le câble ne rayonnera pas, y compris sur courant de défaut.

Remède : utilisation de câble multipolaire ou de câbles unipolaires rapprochés



□ Le VRAI mode commun : I_{VMC}

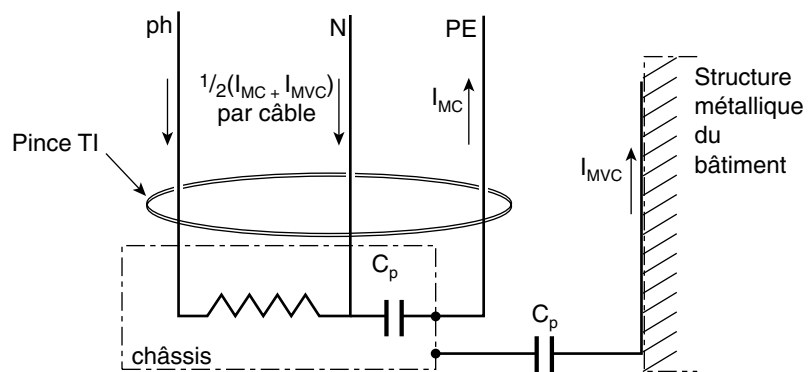
En réalité, du fait de l'impédance relative du PE en haute fréquence, il y aura toujours un courant appelé de «VRAI mode commun» (I_{MVC}) qui échappera au câble pour se reboucler par les structures métalliques (chemin de câble) via les condensateurs parasites (C_p).

Le câble redevient alors rayonnant.

Le remède consiste à utiliser un *câble blindé* : le blindage étant peu impédant, le câble global ne rayonnera pas

■ Le blindage des câbles

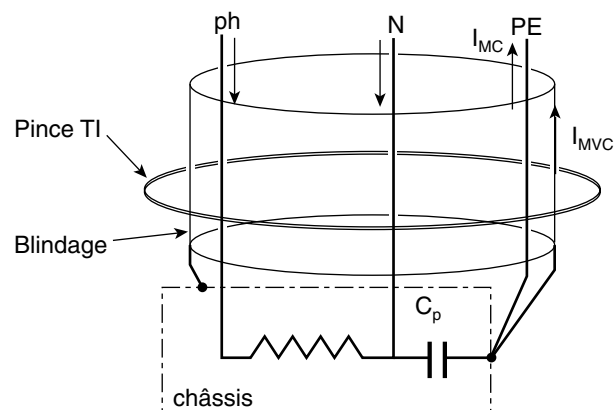
□ Câble non blindé :

□ Mesure
(par pince TI) :

$$I \neq 0$$

donc **câble rayonnant**

□ Câble blindé raccordé des deux côtés :

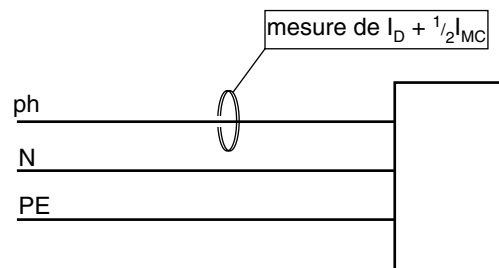
□ Mesure
(par pince TI) :

$$I = 0$$

donc **câble non rayonnant**

Conclusion ■ En laboratoire :

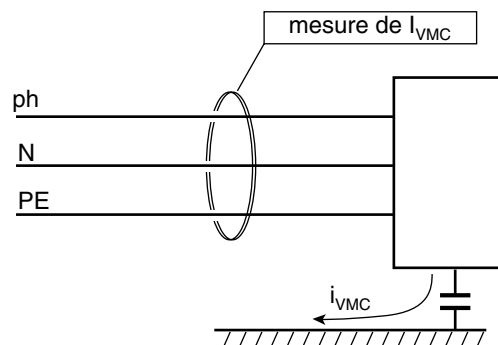
mesure du courant de mode commun filaire et de mode différentiel



❑ Objectif : empêcher les appareils de réinjecter du courant HF sur le réseau ainsi que dans les autres équipements.

■ Sur site :

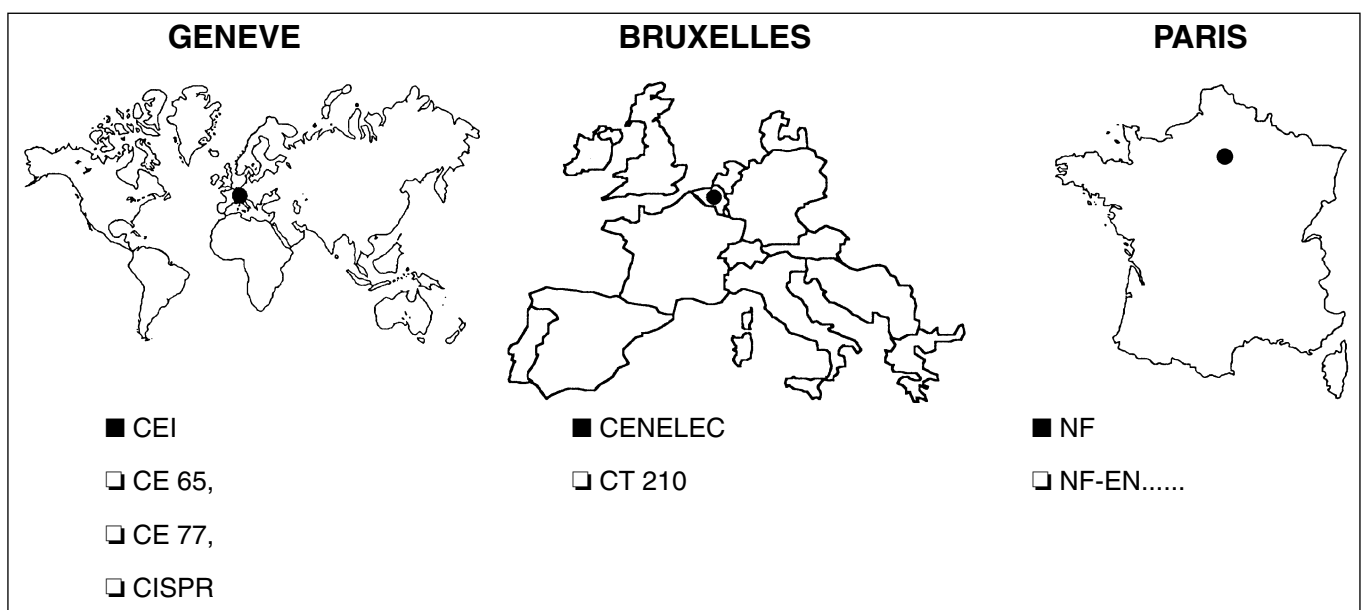
mesure du vrai mode commun i_{VMC}



❑ Objectif : empêcher les câbles de rayonner dans l'installation, entraînant des perturbations rayonnées sur les récepteurs sensibles situés au voisinage des câbles.

A - Généralités

Les instances de normalisation



Définitions ■ Les courants forts, les courants faibles

□ **Courants forts** : ce qui s'applique aux installations de distribution de l'énergie électrique.

□ **Courants faibles** : ce qui s'applique aux transmissions d'informations ou de signaux entre dispositif électroniques.

La compatibilité électromagnétique est l'art de les faire coexister.

L'environnement ■ L'électronique dans un environnement perturbé

□ Principales sources d'origine naturelle :

□ Atmosphérique (foudre), galactique, solaire, bruit thermique terrestre.

□ Principales sources d'origine artificielle :

□ Émetteurs intentionnels : radioélectriques, talkie-walkie,...

□ Émetteurs non intentionnels : la traction, les moteurs, l'appareillage, les ordinateurs, les tubes fluorescents,...

□ ... et dans le même temps :

□ Prolifération de l'électronique numérique.

□ Sensibilité croissante des composants.

■ Les différents niveaux de perturbations

□ Niveau de susceptibilité :

Niveau de perturbation à partir duquel il y a dysfonctionnement d'un matériel ou d'un système.

□ Niveau d'immunité :

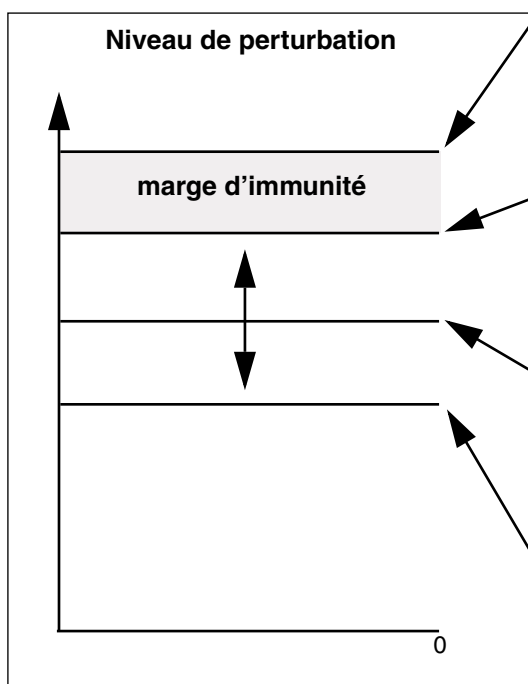
Niveau normalisé d'une perturbation supporté par un matériel ou un système.

□ Niveau de compatibilité électromagnétique :

Niveau maximal spécifié de perturbation auquel on peut s'attendre dans un environnement donné.

□ Limite d'émission :

Niveau normalisé d'émission que ne doit pas dépasser un matériel.



Mesures en laboratoire : ■ Objectifs

- ☐ la validation des équipements pour l'obtention d'un bon fonctionnement sur site de l'installation complète,
- ☐ le respect de la directive CEM 89/336 CEE pour l'obtention du marquage CE au titre de la CEM

■ Les 5 familles de mesure en laboratoire

Pour cela, 5 familles de mesure sont réalisées :

■ Immunité rayonnée

Respect CEI 6100-4-3.

Essai en cage de Faraday, avec génération de champ de 3 V/m en domestique, et 10 V/m en industriel, avec antenne à 3 m.

■ Décharge électrostatique

Respect CEI 6100-4-2.
Décharge de 8 à 15 kV, durée 1 ns

■ Immunité conduite

Respect CEI 6100-4-4.

Injection de perturbations brèves de 500 V à 4 kV.

■ Émission rayonnée

Respect EN 55022 et 55011

☐ Appareil en milieu industriel : classe A

☐ Appareil en milieu résidentiel : classe B

30 MHz - 1 GHz

unité dB μ V/m

avec antenne et analyseur de spectre.

Essai en cage de Faraday

■ Émission conduite

Respect EN 55022 et 55011

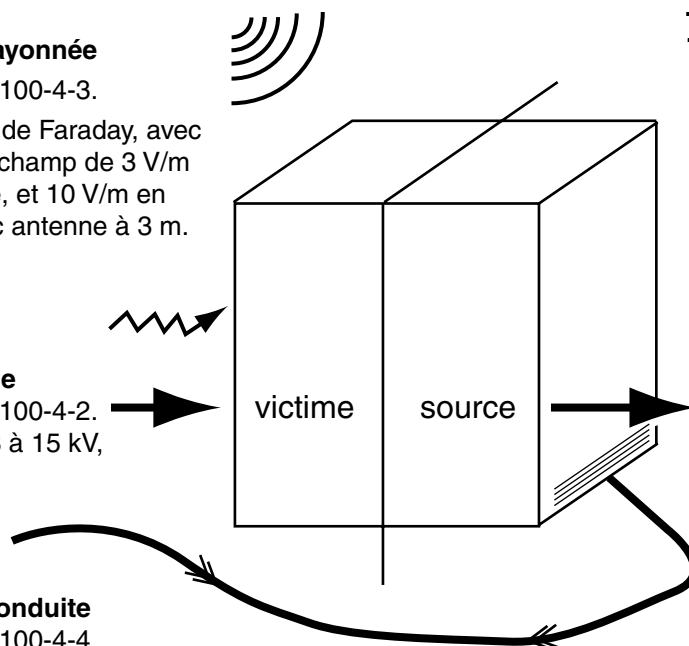
☐ Appareil en milieu industriel : classe A

☐ Appareil en milieu résidentiel : classe B

150 KHz - 30 MHz

unité dB μ V

avec RSIL et analyseur de spectre



Ces normes sont prises en compte à la conception des produits par les fabricants, et apparaissent sur leur documentation.

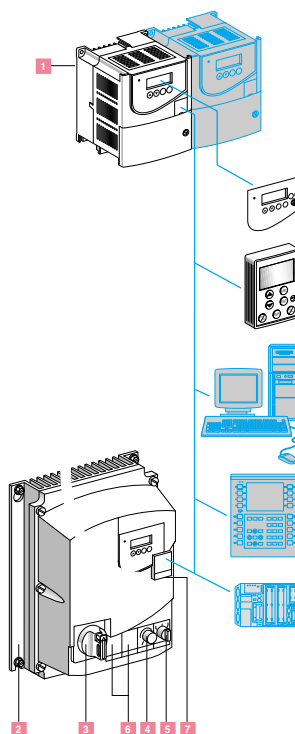
Voir les exemples en pages suivantes.

□ Extraits de document constructeur (catalogue "Automatismes industriels Telemecanique" P A472).

A472 Variateurs de vitesse et démarreurs

Altivar 28

Présentation, fonctions, caractéristiques



Présentation

Convertisseur de fréquence pour moteurs asynchrones triphasés à cage, l'Altivar 28 intègre les derniers progrès technologiques. L'Altivar 28 est robuste, peu encombrant et conforme aux normes internationales. Né de notre expérience sur plusieurs générations de variateurs, il comporte les fonctions répondant aux applications les plus courantes, notamment ventilation/climatisation, pompes et compresseurs, manutention horizontale, emballage/conditionnement. Les performances élevées de ses algorithmes ont été mises au service de la robustesse, de la sécurité et de la facilité de mise en œuvre.

Préréglage usine et extension des fonctions

Le variateur est livré prêt à l'emploi pour la majorité des applications. Ses algorithmes de contrôle vectoriel de flux et son système d'autoréglage autorisent un fonctionnement optimal sur tous les moteurs standards du monde. Il comporte un terminal de réglage intégré (afficheur à 4 caractères "7 segments", et 4 boutons) qui permet la personnalisation à votre application par modification des réglages si nécessaire et extension des fonctionnalités. Le retour au préréglage usine est toujours facilement accessible.

Fonctions

Les principales fonctions sont :

- démarrage et régulation de vitesse, freinage de ralentissement et freinage d'arrêt
- économie d'énergie
- fonctionnement sur baisse de tension réseau de 40 %
- régulateur PI (débit, pression...)
- protection moteur et variateur
- vitesses présélectionnées, marche pas-à-pas (JOG), commande 2 fils/3 fils
- commutation de rampes, commutation de références
- rattrapage automatique avec recherche de vitesse (reprise à la volée)
- limitation automatique du temps de marche à petite vitesse
- liaison Modbus intégrée
- affichage vitesse en unité client, etc.

Variantes de construction

- Variateur 1, ATV 28H : pour ambiance normale, mise en coffret. Ce variateur est très compact, et il est possible d'en monter plusieurs côte à côte sans espace, ce qui entraîne un gain de place important.
- Variateur équipé 2, ATV 28E : coffret étanche IP 55 est équipé d'un variateur ATV-28, d'un interrupteur-sectionneur Vario à commande extérieure cadenassable 3, d'un potentiomètre 4 permettant de régler la vitesse, d'un commutateur de sens de marche 5 à 3 positions (Arrêt et 2 sens de marche), de deux emplacements disponibles 6 pour adjonction éventuelle d'unités de commande ou de signalisation, et d'un bouchon 7 d'accès à la liaison RS 485. La partie basse du coffret est à équiper de presse-étoupes pour le passage des câbles. L'afficheur et les boutons pour réglage et configuration situés en face avant du coffret, sont directement accessibles. Ce coffret câblé et prêt à l'emploi peut être installé au plus près du moteur.

Options

Options communes aux variateurs ATV 28H ou équipés ATV 28E

- Atelier logiciel départ-moteur et kit d'interconnexion PC :
- préparation au bureau d'étude sans obligation de connecter l'Altivar
- sauvegarde sur disquette ou disque dur
- téléchargement sur variateur
- édition sur support papier.
- Kit connexion RS 485 facilitant le raccordement du variateur avec des automates et des terminaux de dialogue en liaison série multipoint RS 485.
- Option terminal déporté.
- Résistances de freinage et inductances de ligne.
- Filtrage d'entrée atténuateurs de radioperturbations pour câbles de grande longueur.

Options spécifiques aux variateurs ATV-28H

- Additif de commande locale, avec son potentiomètre et ses 2 boutons permet de commander le moteur à partir du variateur.
- Kit pour montage IP 43 en armoire ou en coffret.
- Platine pour montage sur profilé "L".
- Kit pour conformité UL NEMA type 1.

Compatibilité électromagnétique CEM

Les filtres sont intégrés au variateur. L'incorporation des filtres dans les variateurs facilite l'installation et la mise en conformité des machines pour le marquage CE, de façon très économique. Ils sont dimensionnés pour la conformité aux normes suivantes : EN 61800-3/IEC 1800-3, environnement domestique et industriel.

Schneider Electric - Catalogue automatismes industriels 2001

Compatibilité électromagnétique CEM

Les filtres sont intégrés au variateur. L'incorporation des filtres dans les variateurs facilite l'installation et la mise en conformité des machines pour le marquage CE, de façon très économique. Ils sont dimensionnés pour la conformité aux normes suivantes : EN 61800-3/IEC 1800-3, environnement domestique et industriel.

□ Extraits de document constructeur (catalogue "Automatismes industriels Telemecanique" P A473).

Environnement	
conformité aux normes	les variateurs Altivar 28 ont été développés en correspondance avec les niveaux les plus sévères des normes nationales et internationales et avec les recommandations relatives aux équipements électriques de contrôle industriel (IEC, EN, NFC, VDE), et notamment : ■ basse tension EN 50178 ■ CEM Immunité : □ IEC 1000-4-2/EN 61000-4-2 niveau 3 □ IEC 1000-4-3/EN 61000-4-3 niveau 3 □ IEC 1000-4-4/EN 61000-4-4 niveau 4 □ IEC 1000-4-5/EN 61000-4-5 niveau 3 □ IEC 1800-3/EN 61800-3, environnements 1 et 2 ■ CEM, émission conduite et rayonnée : □ IEC 1800-3/EN 61800-3, environnements 1 réseau public et 2 réseau industriel en distribution restreinte □ EN 55011 classe A (filtres atténuateurs de radioperturbations incorporés) □ EN 55022 classe B, avec filtres additionnels les variateurs ont été développés pour respecter les directives européennes basse tension (73/23/CEE et 93/68/CEE) et CEM (89/336/CEE). A ce titre, les variateurs Altivar 28 sont marqués du sigle de la communauté européenne
marquage	UL et CSA
certifications de produits	
degré de protection	varianteurs ATV 28H : ■ IP 21 et IP 41 sur la partie supérieure ■ IP 20 sans l'obturateur de la partie supérieure du capot varianteurs ATV 28E (équipés) : ■ IP 65
humidité relative maximale	93 %, sans condensation ni ruissellement
température de l'air ambiant au voisinage de l'appareil selon EN 50178	
pour stockage	°C variateurs ATV 28H et ATV 28E (équipés) : -25...+65
pour fonctionnement	°C ■ 10...+40 sans déclassement avec l'obturateur ■ 10...+50 sans déclassement sans l'obturateur ■ 10...+60 avec déclassement sans l'obturateur (voir précautions de montage et d'installation) varianteurs ATV 28E (équipés) : ■ 10...+40
altitude maximale d'utilisation	1000 sans déclassement. Au-delà de 1000 m, déclassement le courant de 1 % par 100 m supplémentaires
position de fonctionnement	verticale
Caractéristiques d'entraînement	
gamme de fréquence	0,5...400
courant transitoire max	150 % du courant nominal variateur, pendant 60 secondes (valeur typique)
surcouple transitoire	150...170 % du couple nominal moteur (valeur typique)
couple de freinage	30 % du couple nominal moteur sans résistances de freinage (valeur typique). Jusqu'à 150 % avec résistances de freinage en option
fréquence de découpage	réglable en fonctionnement, de 2 à 16 kHz modulation de fréquence aléatoire pour un meilleur confort auditif
Caractéristiques de couple (courbes typiques)	
<p>Les courbes ci-dessous définissent le couple permanent et le surcouple transitoire disponibles, soit sur un moteur autoventilé, soit sur un moteur motoventilé. La différence réside uniquement dans l'aptitude du moteur à fournir un couple permanent important en dessous de la moitié de la vitesse nominale.</p> <p>1 Moteur autoventilé : couple utile permanent (1) 2 Moteur motoventilé : couple utile permanent 3 Surcouple transitoire 1,5 à 1,7 Cn 4 Couple en surcharge à puissance constante (2)</p>	

Schneider Electric - Catalogue automatismes industriels 2001

conformité aux normes

les variateurs Altivar 28 ont été développés en correspondance avec les niveaux les plus sévères des normes nationales et internationales et avec les recommandations relatives aux équipements électriques de contrôle industriel (IEC, EN, NFC, VDE), et notamment :

- basse tension EN 50178
- CEM Immunité :
 - IEC 1000-4-2/EN 61000-4-2 niveau 3
 - IEC 1000-4-3/EN 61000-4-3 niveau 3
 - IEC 1000-4-4/EN 61000-4-4 niveau 4
 - IEC 1000-4-5/EN 61000-4-5 niveau 3
 - IEC 1800-3/EN 61800-3, environnements 1 et 2
- CEM, émission conduite et rayonnée :
 - IEC 1800-3/EN 61800-3, environnements 1 réseau public et 2 réseau industriel en distribution restreinte
 - EN 55011 classe A (filtres atténuateurs de radioperturbations incorporés)
 - EN 55022 classe B, avec filtres additionnels

marquage (C)

les variateurs ont été développés pour respecter les directives européennes basse tension (73/23/CEE et 93/68/CEE) et CEM (89/336/CEE). A ce titre, les variateurs Altivar 28 sont marqués du sigle de la communauté européenne

certifications de produits

UL et CSA

B - Les normes d'émission

Différents niveaux de normes d'émission

■ Les normes d'émission «familles de produits»

- ☐ EN 55011 : appareils industriels, scientifiques et médicaux
- ☐ EN 55022 : appareils de traitement de l'information
- ☐ EN 55014 : appareils électrodomestiques
- ☐ EN 55015 : luminaires

■ Les normes d'émission «produits»

Exemple : variateurs de vitesse - CEI 61800-3

■ Les normes génériques

- ☐ EN 50081-1 (résidentiel)
- ☐ EN 50081-2 (industriel)

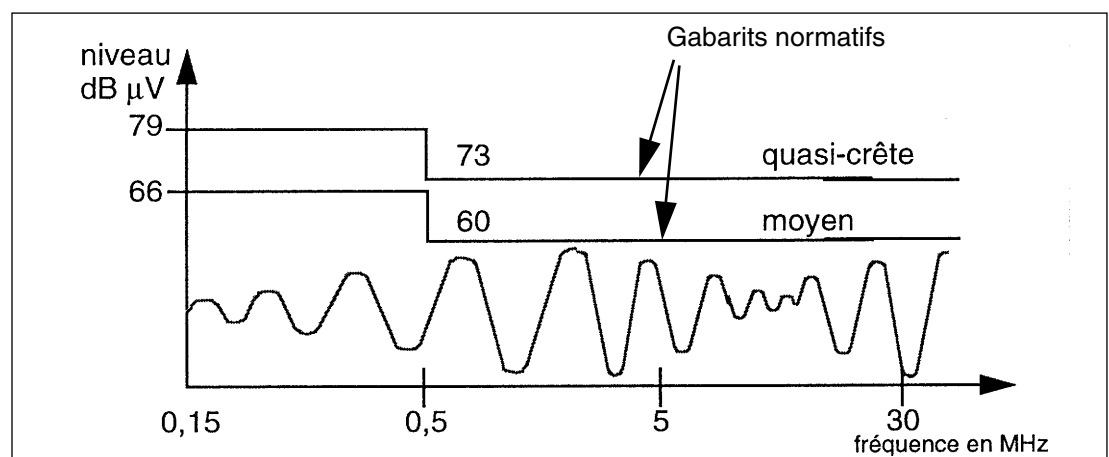
Application par défaut de normes «familles de produits» ou de normes «produits».

Exemples : systèmes, machines,...

Les normes familles de produit EN 55011 et EN 55022

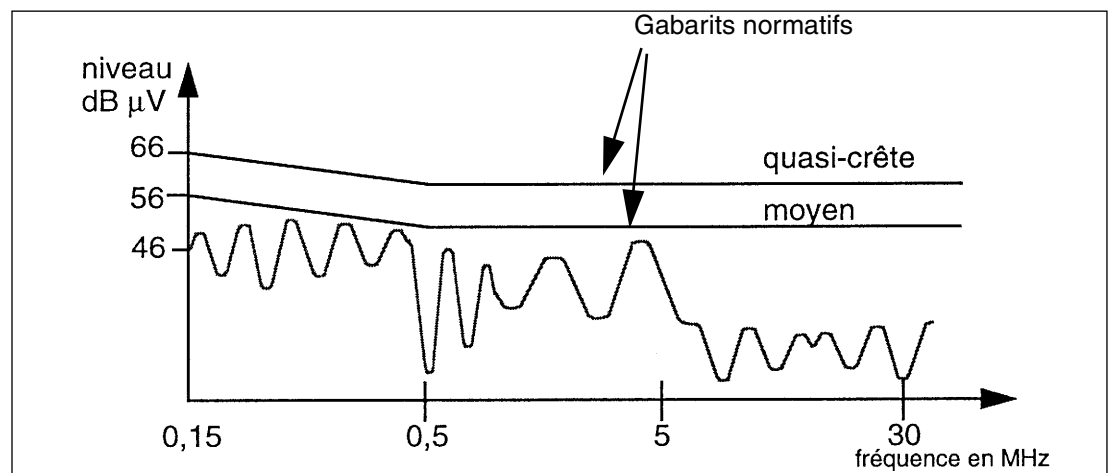
■ Environnement industriel

Niveau d'émission conduite en environnement industriel EN 50081-2 (génériques) niveau EN 55011 classe A (distribution restreinte).



■ Environnement domestique

Émission conduite en environnement domestique EN 50081-1 (génériques) niveau EN 55022 classe B (distribution non restreinte).



Note : en émission conduite, la norme impose 2 gabarits (quasi-crête et valeur moyenne) provenant de 2 protocoles de mesure différents.

Pour mémoire, 60 dB représente un facteur 1000 :
 $60 \text{ dB}\mu\text{V} = 1000 \mu\text{V}$, soit 1 mV

**Particularité concernant les PDS
(Power Drive Systems)**

Exemple : variateur de vitesse.

Existence d'une norme produit CEI 61800-3 :

■ Domaine d'application : PDS (POWER DRIVE SYSTEM).

■ Définition de niveaux de perturbations conduites et rayonnées dépendant de :

☐ La puissance du PDS.

☐ De l'environnement :

- Premier Environnement : Mesure et respect du niveau de perturbations au niveau du produit.

- Deuxième Environnement : Mesure et respect du niveau de perturbations au niveau du plaignant.

☐ Du domaine de distribution restreinte ou non restreinte.

Cours «CEM»**■ 2. Les normes, directives et marquages CE**

8/10

**La norme produit CEI 61800-3 :
niveaux d'émission****■ PDS en premier Environnement :**

PDS alimenté par un transformateur public qui alimente aussi des bâtiments à usages domestiques.

□ Perturbations Conduites

	PDS	non restreinte	restreinte
Mesure en laboratoire Filtre RFI classe A ou B	I < 25A	EN 55022 classe B	EN 55011 classe A
	I > 25A		EN 55011 classe A

Note : La classe B est plus contraignante que la classe A car elle touche le domaine domestique (grande diffusion des produits).

□ Perturbations Rayonnées

	PDS	non restreinte	restreinte
Mesure en laboratoire avec antenne de mesure	I < 25A	EN 55022 classe B	EN 55011 classe A
	I > 25A		EN 55011 classe A

■ PDS en deuxième Environnement :

PDS alimenté par un transformateur public ou privé qui n'alimente pas des bâtiments à usages domestiques.

Installation extérieure en
premier Environnement :

perturbations conduites :
EN 55022 classe B

mesure au niveau du plaignant

Installation extérieure en
deuxième Environnement :

perturbations conduites :
EN 55011 classe A

mesure au niveau du plaignant
Filtre RFI classe A

perturbation rayonnées :
EN 55011 classe A

Antenne de mesure à 30
mètres du mur d'enceinte

C - Les normes d'immunité

Les principales normes d'immunité

■ CEI

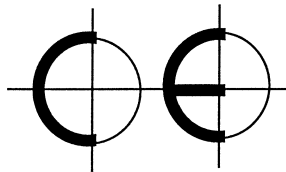
□ 61000-4-2	: décharges électrostatiques
□ 61000-4-3	: champs rayonnés (immunité rayonnée)
□ 61000-4-4	: transitoires rapides (immunité conduite)
□ 61000-4-5	: ondes de choc
□ 61000-4-6	: tension HF induites
□ 61000-4-8	: champ magnétique 50/60Hz
□ 61000-4-9	: champ magnétique impulsionnel
□ 61000-4-10	: champs magnétique oscillatoire amorti
□ 61000-4-11	: creux de tension et interruption brèves
□ 61000-4-12	: ondes oscillatoires

D - le marquage CE

La directive 89 / 336 / CEE

Le marquage CE au titre de la CEM est rendu obligatoire depuis le 1er janvier 1996 : il s'agit de la directive 89/336 CEE

Note : n'oublions pas le marquage CE au titre des directives «machine» et «basse tension».



■ Le domaine d'application

- ☐ Les appareils électriques et électroniques perturbateurs.
- ☐ Les appareils électriques et électroniques susceptibles.

■ Les exigences essentielles (CEM)

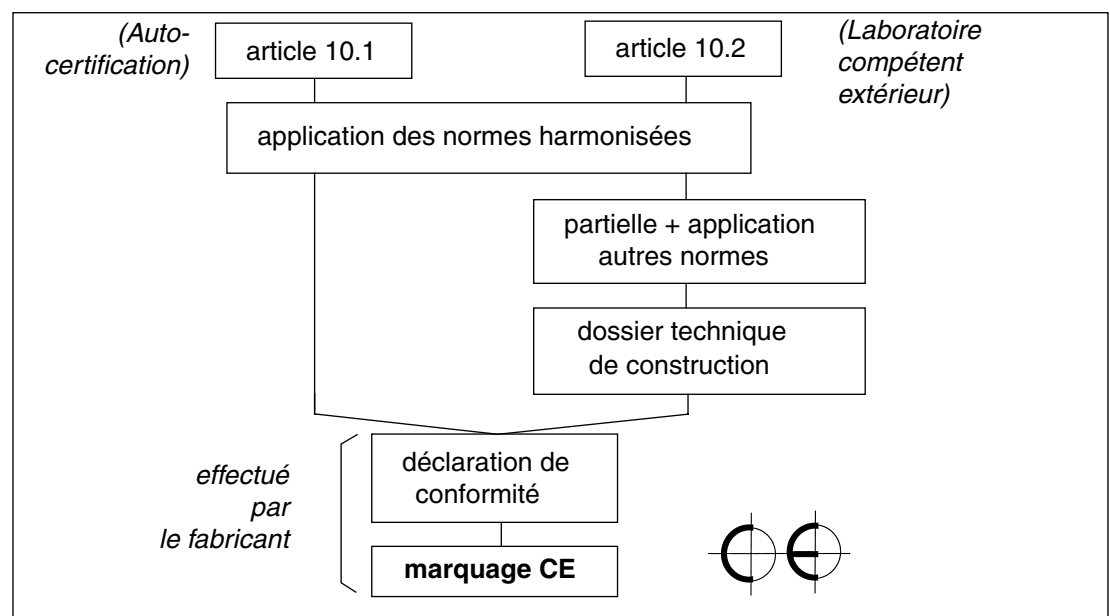
- ☐ Perturbations limitées.
- ☐ Niveau adéquat d'immunité.

Elles sont respectées si les appareils sont conformes aux normes nationales les concernant.

■ Le marquage CE (01/96)

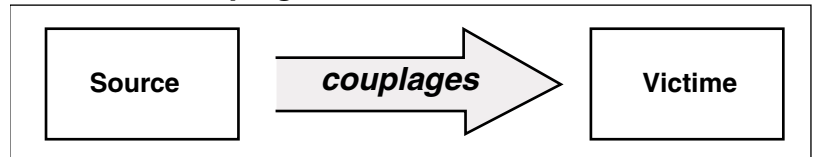
- ☐ Ce n'est pas un label de qualité, mais de conformité à toutes les directives applicables au produit.
- ☐ Il concerne la CEM, mais aussi les directives BT, machines, produit de construction.
- ☐ Le marquage est possible après attestation de conformité à disposition du Ministère des finances, s'il la demande.
- ☐ Le dossier technique s'impose par déontologie professionnelle,... et en cas de contrôle.

■ Les 2 voies d'attestation



Compatibilité électro- magnétique	Cours «CEM» ■ 3. Les couplages	1/4
---	---	-----

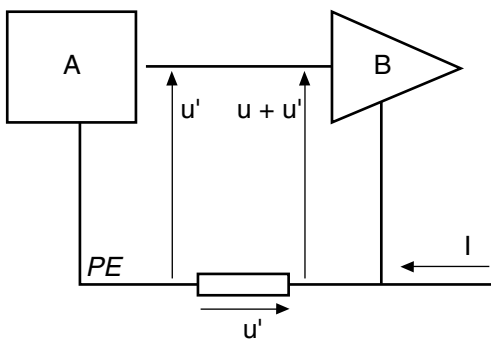
Étude des couplages



☐ Les couplages dépendent de l'installation.

- Principaux couplages**
- A - Couplage par impédance commune
 - B - Couplage inductif
 - C - Couplage capacitif
 - D - Couplage champ à câble
 - E - Couplage champ à boucle

A - Couplage par impédance commune



■ Le courant I va créer une chute de tension u' , entraînant une ddp perturbatrice entre A et B.

$$u' = Z \cdot I = L \omega I$$

□ L représente la self due à la longueur du câble PE

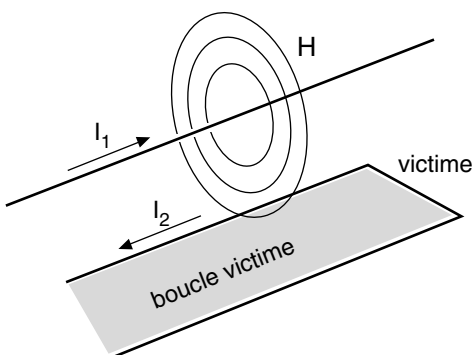
□ Inductance linéique : $1 \mu\text{H}$ pour 1 m de câble

■ Remèdes

□ filtrage du courant,

□ réduction de l'impédance commune par maillage des masses.

B - Couplage inductif



■ Le champ magnétique H généré par I_1 va générer un courant I_2 sur le fil victime. Une tension est insérée dans la boucle victime :

$$u = 2\pi \cdot f \cdot M \cdot I_1 \quad \text{si } I_1 \text{ sinusoïdal, et } u = M \cdot \frac{dI_1}{dt} \quad \text{si } I_1 \text{ impulsionnel}$$

M = mutuelle inductance, dépend de :

□ la distance entre les deux câbles,

□ la surface de la boucle du câble victime.

■ Remèdes

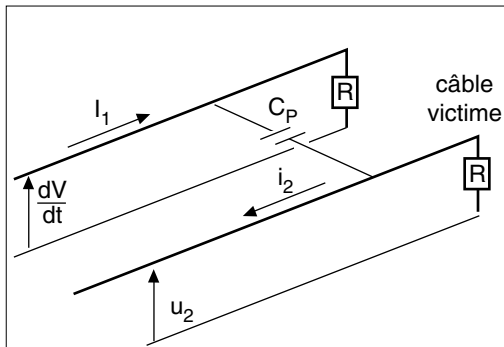
□ éloignement des 2 câbles,

□ réduction de la surface de boucle victime par torsadage,

□ blindage,

□ chemin de câble métallique.

C - Couplage capacitif



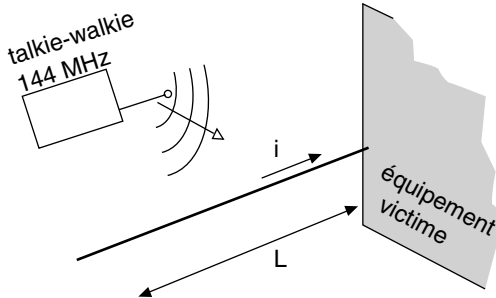
■ On recueille un courant i_2 et une tension u_2 sur le câble victime par couplage capacitif dû au condensateur parasite C_p .

$$i_2 = C_p \cdot \frac{dv}{dt}, \text{ donc } u_2 = R \cdot i_2$$

■ Remèdes

- ☐ éloignement des 2 câbles,
- ☐ blindage,
- ☐ chemin de câble métallique.

D - Couplage champ à câble



■ Un champ électrique E , généré par exemple par un *talkie walkie*, va introduire un courant i sur le câble victime, entraînant une perturbation sur l'équipement.

Si $L \geq \frac{\lambda}{4}$:

$$i = \frac{E \cdot \lambda}{240}, \text{ où } \lambda \text{ longueur d'onde du talkie walkie (en m), } E \text{ (V/m)}$$

■ Exemple :

☐ Calcul de λ du talkie walkie :

$$\lambda = \frac{c}{f}, \text{ où } c : \text{ vitesse de la lumière } = 300\,000 \text{ km/s, } f = 144 \text{ MHz}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{144 \times 10^6} = 2,08 \text{ m}$$

■ Calcul du courant i pour un talkie walkie générant un champ électrique $E = 10 \text{ V/m}$, placé à $L = 1 \text{ m}$ de la victime.

$$i = \frac{E \cdot \lambda}{240} = \frac{10 \cdot 2,08}{240} = 83 \text{ mA}$$

■ Remèdes

- ☐ éloignement,
- ☐ blindage,
- ☐ chemin de câble métallique.
- ☐ filtrage

E - Couplage champ à boucle

■ Le courant I_1 va créer un champ magnétique H induisant une tension u dans la boucle de câblage victime :

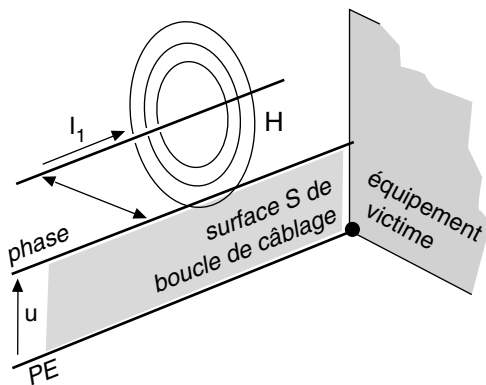
$$u = \mu_0 \cdot S \cdot \frac{dH}{dt} \text{ en régime impulsionnel}$$

$$u = \mu_0 \cdot S \cdot 2\pi \cdot f \cdot H \text{ en régime sinusoïdal}$$

$$\mu_0 = \text{perméabilité relative de l'air} = 4\pi \times 10^{-7}$$

■ Remèdes

- ☐ réduction de la surface de boucle par torsadage ou maillage,
- ☐ éloignement,
- ☐ chemin de câble métallique.



$$H = \frac{I_1}{2\pi \cdot R}$$

A - Introduction

La documentation fabricant

☐ Le marquage **CE** engage le fabricant sur le respect des niveaux normatifs concernant le produit.

☐ Sur site en revanche, l'objectif final consiste à assurer le bon fonctionnement final de toute l'installation.

Cet objectif sera atteint à condition de respecter les **Règles de câblage CEM** préconisées par le (les) fabricant(s) concernés.

Méthode de résolution des problèmes : état des lieux de l'installation

■ Quel est le type d'environnement ?

☐ urbain, rural, zone industrielle.

■ Perturbateurs voisins :

☐ émetteurs,

☐ industries,

☐ réseaux de distribution...

■ Mener l'enquête auprès des utilisateurs pour déterminer :

☐ les problèmes rencontrés

- quels matériels ? nature des défauts,

- lieu, moment,

- fréquence de répétition ;

☐ les régimes de neutre,

☐ la réalisation de la Terre,

☐ les liaisons électriques, informatiques, etc..., entre bâtiments :

- mise à la Terre des canalisations électriques et mécaniques (par fil, tresse, section, longueur, etc...),

- descente de paratonnerre (nombre, longueur, section, raccordement à la Terre, etc...) ;

☐ la mise à la masse des charpentes métalliques, chemins de câble, goulottes, équipement, parasurtenseurs, filtres,

☐ l'existence d'un maillage ou plan de sol, dimension des mailles, raccordement,

☐ la qualité des reprises de blindage (connecteurs, brides, colliers,...),

☐ les passages des câbles (murs, plafond, plancher) :

- nature des signaux véhiculés,

- type de câble ;

☐ les équipements :

- arrivée, raccordement,

- type de câbles, reprises des blindages,

- protection filaire et mise en œuvre,

- câblage interne de l'équipement.

□ Exemple de règles de câblage préconisées par un fabricant

Extraits de document
(catalogue "Automatismes
industriels Telemecanique"
P A482)

A482 Variateurs de vitesse et démarreurs

Altivar 28

Compatibilité électromagnétique,
installation

Principe

- Equipotentialité "haute fréquence" des masses entre le variateur, le moteur et les blindages des câbles.
- Utilisation de câbles blindés avec blindages reliés à la masse sur 360° aux deux extrémités pour le câble moteur, le câble de la résistance de freinage éventuelle et les câbles contrôle-commande. Ce blindage peut être réalisé sur une partie du parcours par tubes ou goulottes métalliques à condition qu'il n'y ait pas de discontinuité.
- Séparer le plus possible le câble d'alimentation (réseau) du câble moteur.

Plan d'installation

- 1 Platine en tôle fournie avec le variateur, à monter sur celui-ci (plan de masse).
 - 2 Altivar 28.
 - 3 Fils ou câble d'alimentation non blindés.
 - 4 Fils non blindés pour la sortie des contacts du relais de sécurité.
 - 5 Fixation et mise à la masse des blindages des câbles 6, 7 et 8 au plus près du variateur :
- mettre les blindages à nu
 - utiliser des colliers de dimensions appropriées, sur les parties dénudées des blindages, pour la fixation sur la tôle 1.
- Les blindages doivent être suffisamment serrés sur la tôle pour que les contacts soient bons
- types de colliers : métalliques inoxydables.
 - 6 Câble blindé pour raccordement du moteur.
 - 7 Câble blindé pour raccordement du contrôle/commande.
 - 8 Câble blindé pour raccordement de la résistance de freinage éventuelle.

Notas :

- 1 Le raccordement équipotentiel HF des masses entre variateur, moteur et blindages des câbles ne dispense pas de raccorder les conducteurs de protection PE (vert-jaune) aux bornes prévues à cet effet sur chacun des appareils.
- 2 En cas d'utilisation d'un filtre additionnel d'entrée, celui-ci est monté sous le variateur et directement raccordé au réseau par câble non blindé. Le raccordement 3 est alors constitué par le câble du filtre.
- 3 Le blindage des câbles doit être raccordé à la masse aux 2 extrémités pour une bonne efficacité.

Précautions de montage des variateurs ATV 28H

Installer l'appareil verticalement, à $\pm 10^\circ$.

- Éviter de le placer à proximité d'éléments chauffants.
- Respecter un espace libre suffisant pour assurer la circulation de l'air nécessaire au refroidissement, qui se fait par ventilation du bas vers le haut.

De -10°C à $+40^\circ\text{C}$

- $d \geq 50\text{ mm}$: pas de précaution particulière
- $d = 0\text{ mm}$ (varianteurs accolés) : ôter l'obturateur de protection collé au-dessus du variateur, comme indiqué ci-contre (le degré de protection devient IP 20).

De $+40^\circ\text{C}$ à $+50^\circ\text{C}$

- $d \geq 50\text{ mm}$: ôter l'obturateur de protection collé au-dessus du variateur, comme indiqué ci-dessous (le degré de protection devient IP 20). En laissant l'obturateur, déclasser le courant nominal du variateur de 2,2 % par $^\circ\text{C}$ au-dessus de 40°C .
- $d = 0\text{ mm}$: ôter l'obturateur de protection collé au-dessus du variateur, comme indiqué ci-dessous (le degré de protection devient IP 20) et déclasser le courant nominal du variateur de 2,2 % par $^\circ\text{C}$ au-dessus de 40°C .

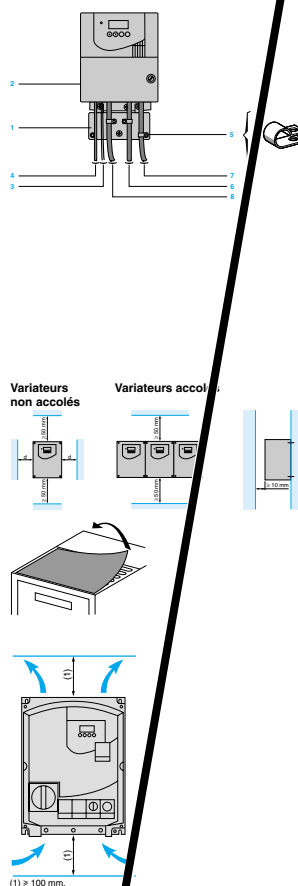
De $+50^\circ\text{C}$ à $+60^\circ\text{C}$

- $d \geq 50\text{ mm}$: ôter l'obturateur de protection collé au-dessus du variateur, comme indiqué ci-dessous (le degré de protection devient IP 20) et déclasser le courant nominal du variateur de 3 % par $^\circ\text{C}$ au-dessus de 50°C .

Précautions de montage des variateurs équipés ATV 28E

Installer l'appareil verticalement, à $\pm 10^\circ$.

- Éviter de le placer à proximité d'éléments chauffants.
- Respecter un espace libre suffisant pour assurer la circulation de l'air nécessaire au refroidissement, qui se fait par ventilation du bas vers le haut.

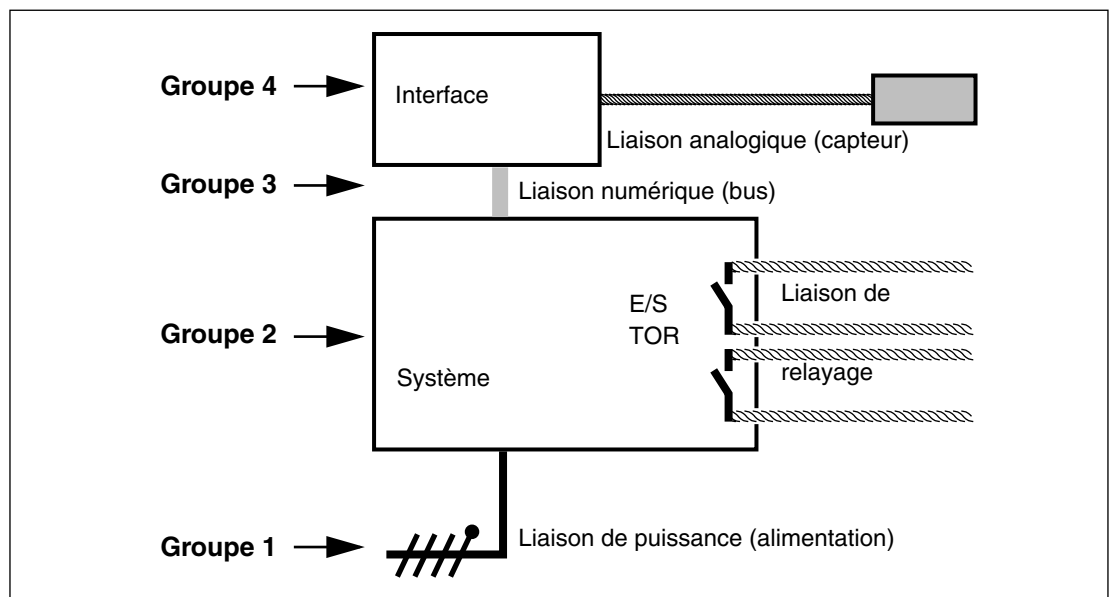


Principe

- Equipotentialité "haute fréquence" des masses entre le variateur, le moteur et les blindages des câbles.
- Utilisation de câbles blindés avec blindages reliés à la masse sur 360° aux deux extrémités pour le câble moteur, le câble de la résistance de freinage éventuelle et les câbles contrôle-commande. Ce blindage peut être réalisé sur une partie du parcours par tubes ou goulottes métalliques à condition qu'il n'y ait pas de discontinuité.
- Séparer le plus possible le câble d'alimentation (réseau) du câble moteur.

**Classification des signaux
électriques****■ 4 Groupes distincts**

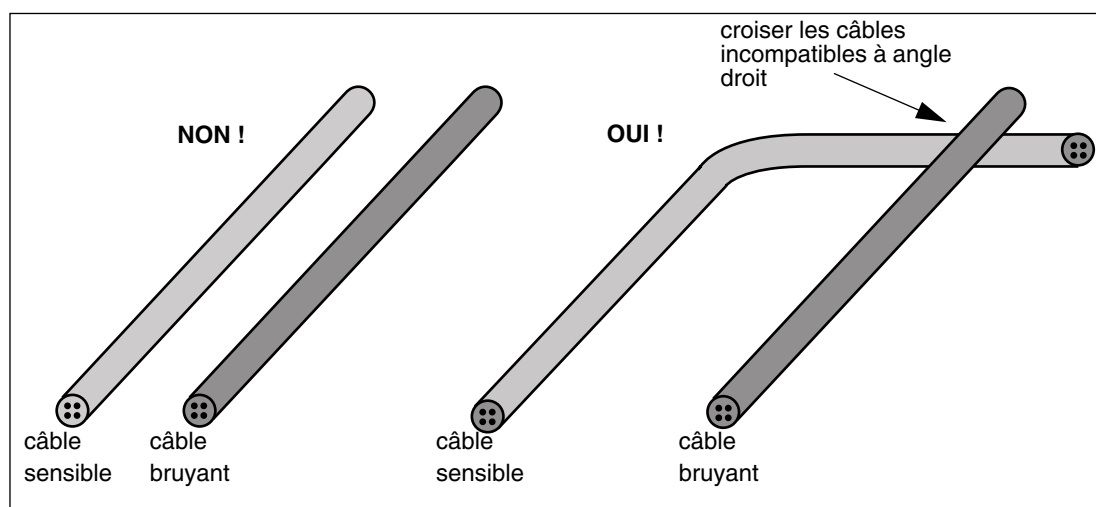
- ☐ Groupe 4 :
Très sensible.
- ☐ Groupe 3 :
Sensible aux impulsions, perturbe le groupe précédent.
- ☐ Groupe 2 :
Peu sensible mais perturbe les groupes précédents
- ☐ Groupe 1 :
Peu sensible mais perturbe le groupes précédents



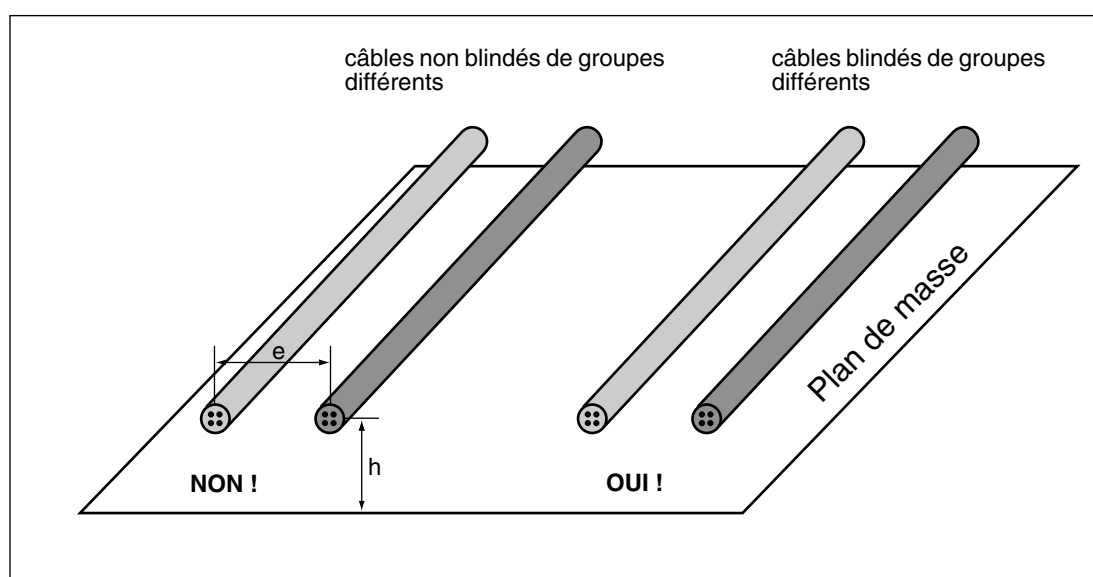
Note : Il apparaît des couplages entre ces différents types de couplage

B - Les règles de câblage

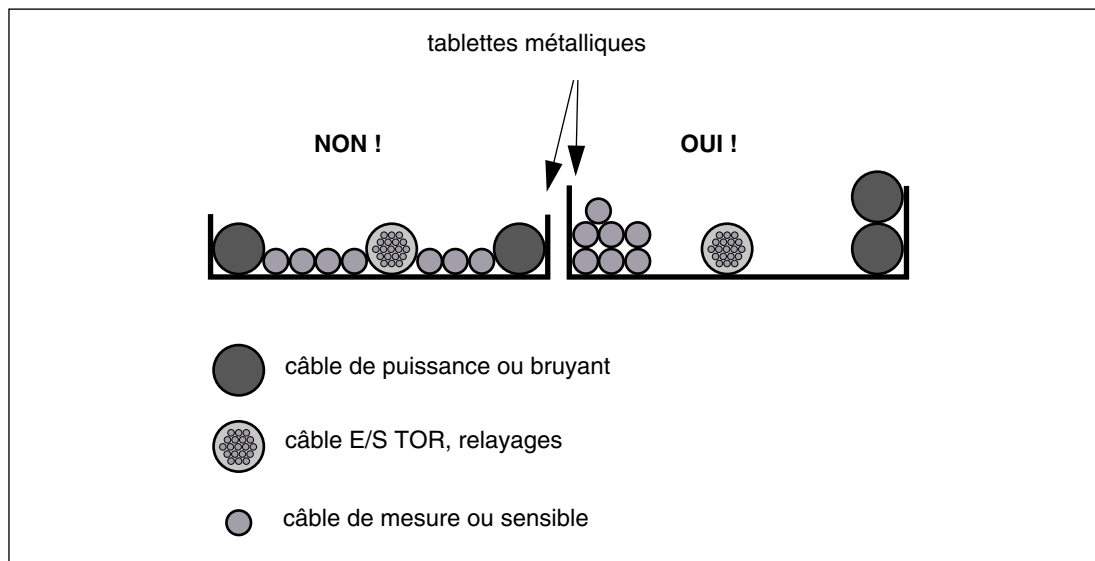
Règles de base ■ Éloigner les câbles incompatibles.



■ Risque de diaphonie en mode commun si $e < 3h$, si câbles non blindés

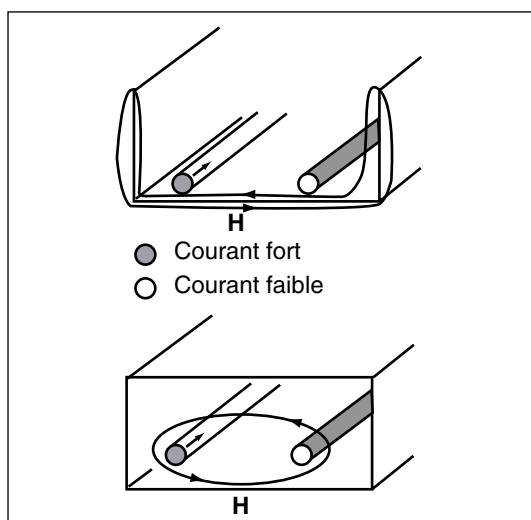


■ Répartition des câbles dans une tablette



Note Penser à la ségrégation des câbles

Chemins de câbles métalliques ■ Généralités

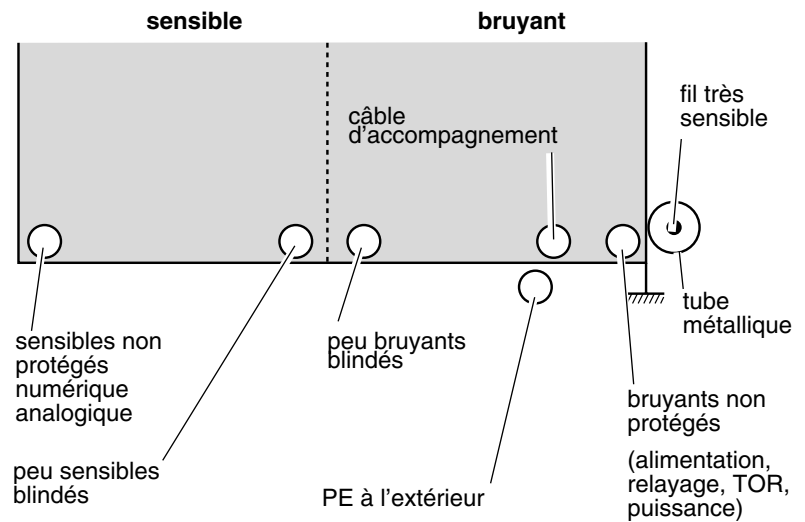
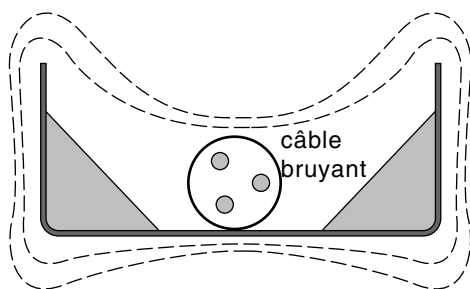


☐ La mise à la masse des chemins de câbles doit être parfaite de bout en bout.

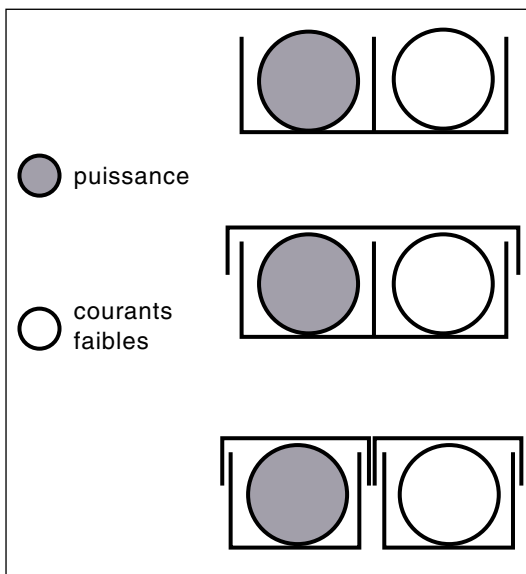
☐ Attention à la diaphonie :

ligne de champ courte = champ H fort.

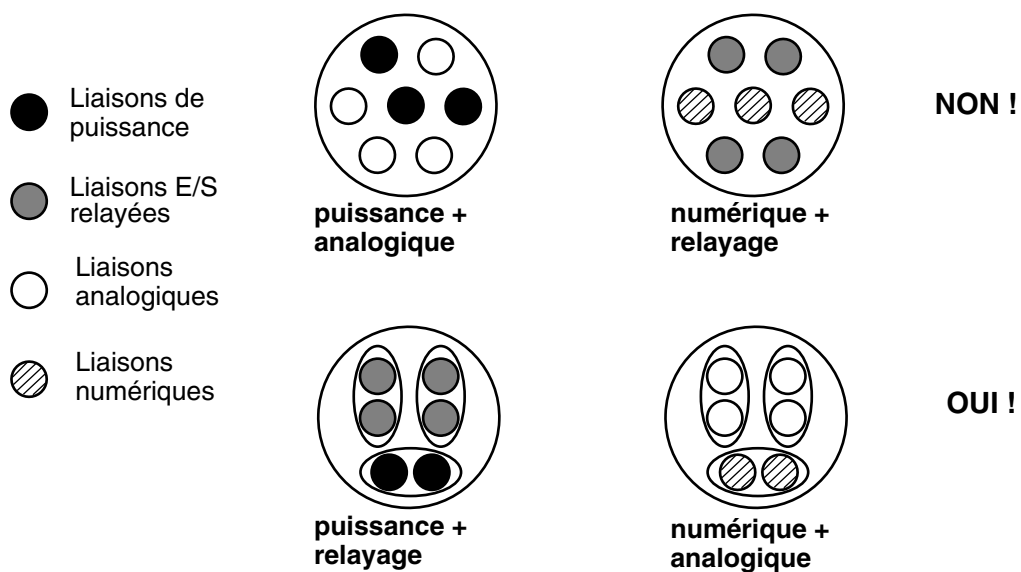
■ Répartition des câbles



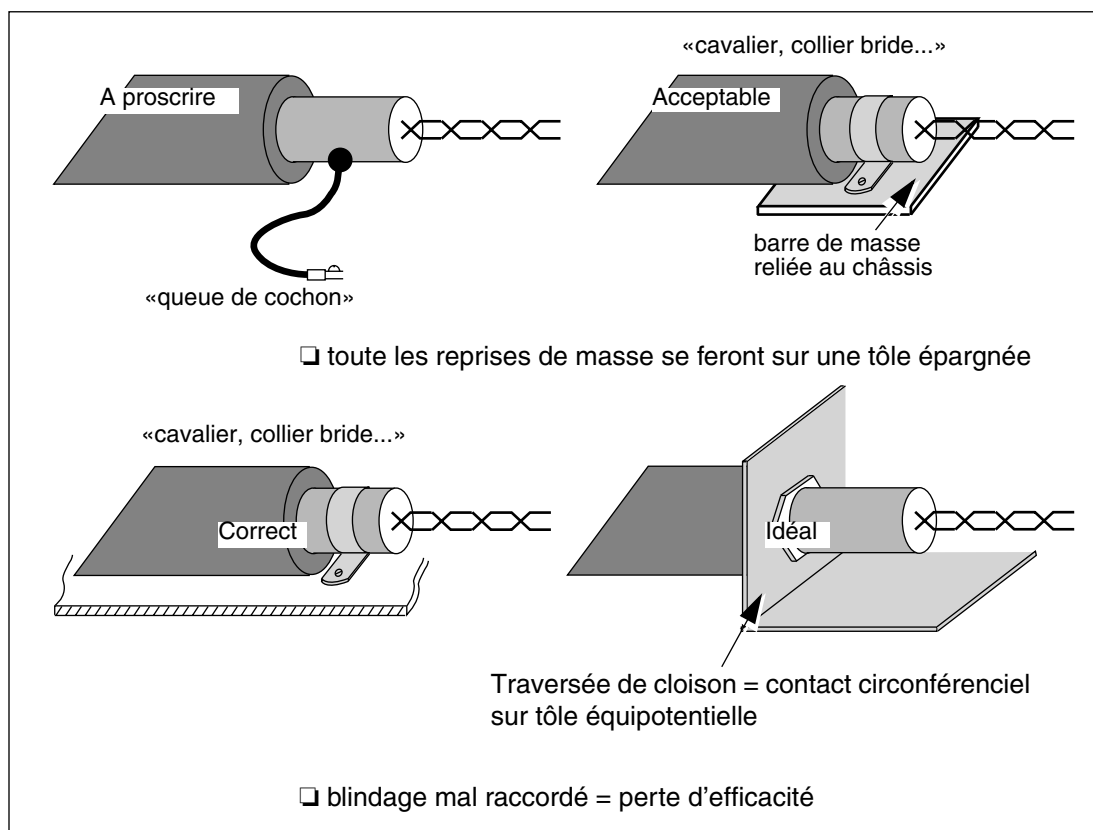
■ Les goulottes

☐ Cloisonnement : **résultat moyen**
☐ Cloisonnement capoté : **résultat bon**
☐ Goulottes séparées et capotées : **résultat excellent**


Câblage et raccordements ■ Signaux incompatibles → câbles et torons différents

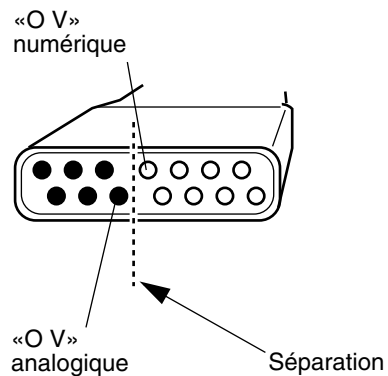


■ Le raccordement des blindages



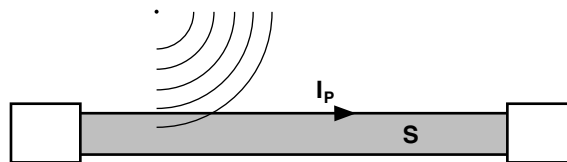
■ La connectique

- Séparer les conducteurs selon la nature des signaux véhiculés



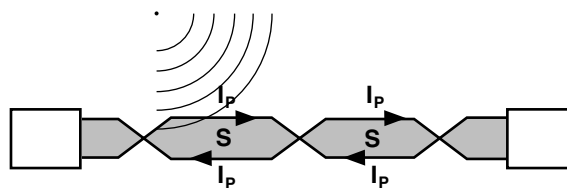
● Broches de signaux analogiques

○ Broches de signaux numériques

■ Le torsadage des fils

Limitation de I_P :

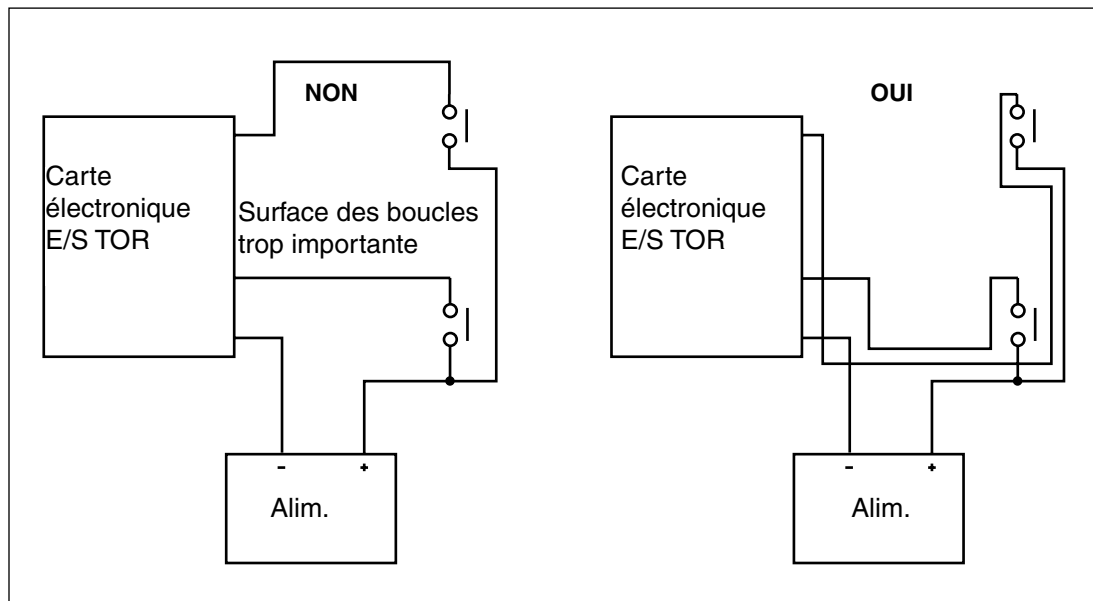
torsadage des fils



Réduction des perturbations induites par l'utilisation de fils torsadés :

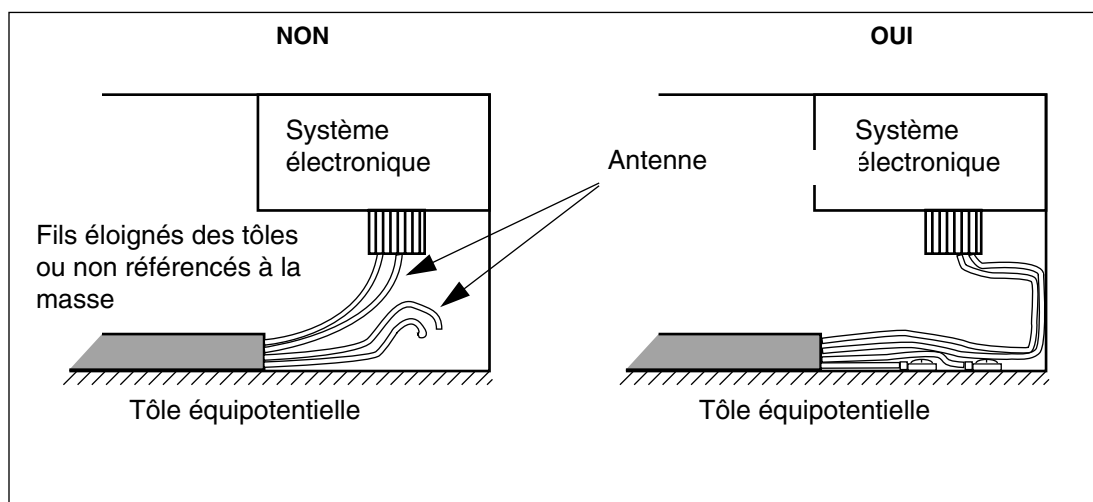
Type de conducteur	Rapport de réduction dB	
Fils parallèles	1/1	0
Paire torsadée, pas de 10 cm	1/14	23
Paire torsadée, pas de 5 cm	1/112	41
Paire torsadée, pas de 2,5 cm	1/141	43

Le cheminement des câbles et torons ■ Le cheminement des liaisons ALLER / RETOUR



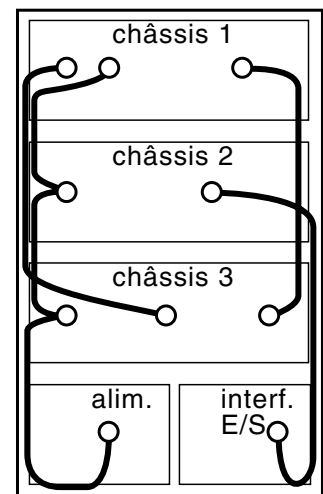
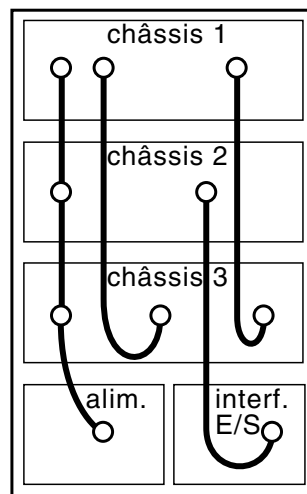
Note Fil aller et fil retour doivent toujours rester voisins pour supprimer les surfaces de boucles.

■ Les réserves de câblage



Note Raccorder les fil libres à la masse (sauf câbles très bas niveau BF)

■ Le cheminement : cas pratique



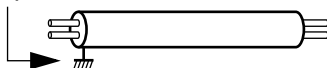
Toutes les parties métalliques (châssis, structures, enveloppes...) sont équipotentielles.

Plaquer les liaisons filaires de bout en bout contre la masse

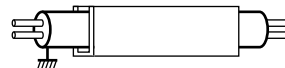
Une statistique intéressante :
taux d'erreur d'une liaison rapide
dans différentes configurations

■ Liaison paire blindée à 2 Mbits/s - test CEI 61004-4
Mesure effectuée en laboratoire

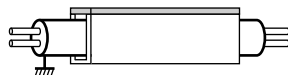
Reprises de blindage :
queues de cochon 7,5 cm



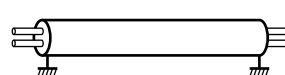
■ 9590 erreurs



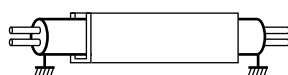
■ 11840 erreurs



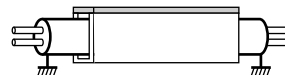
■ 12010 erreurs



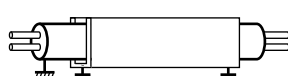
■ 4010 erreurs



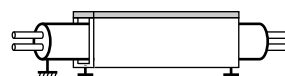
■ 4460 erreurs



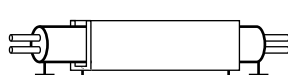
■ 4580 erreurs



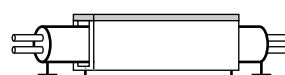
■ 0 erreur



■ 0 erreur



■ 0 erreur



■ 0 erreur



Chemin de câble
sans couvercle



Chemin de câble
avec couvercle

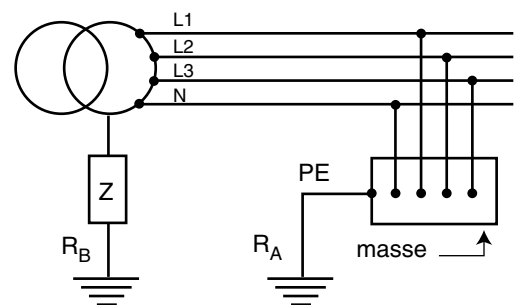
Origine : N.T. 723 CNET

C - Les terres et les masses

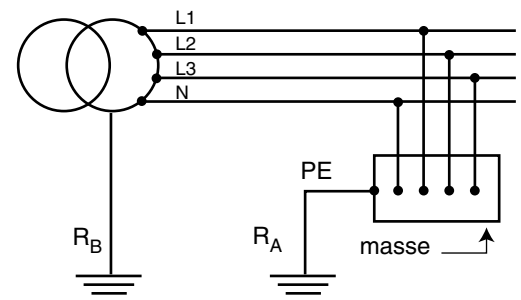
Particularités vis à vis
des différents types de
Schéma de Liaison à la Terre

■ Rappel des définitions

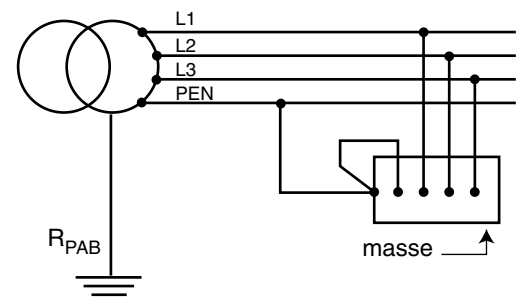
□ Neutre à la Terre TT



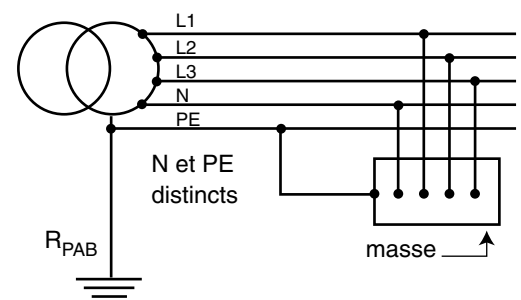
□ Neutre isolé IT

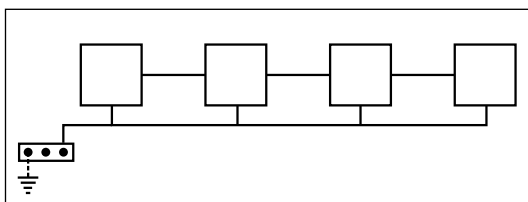


□ Mise au neutre TN-C



□ Mise au neutre TN-S





■ Le raccordement au PE

Raccordement au conducteur de protection le plus proche.

- ☐ Surface des boucles de masse plus faibles,
- ☐ impédance commune moins élevée,
- ☐ économique,
- ☐ faible tension de contact,
- ☐ attention à la mauvaise évacuation des courant HF.

■ Comparatif des SLT en milieu perturbé

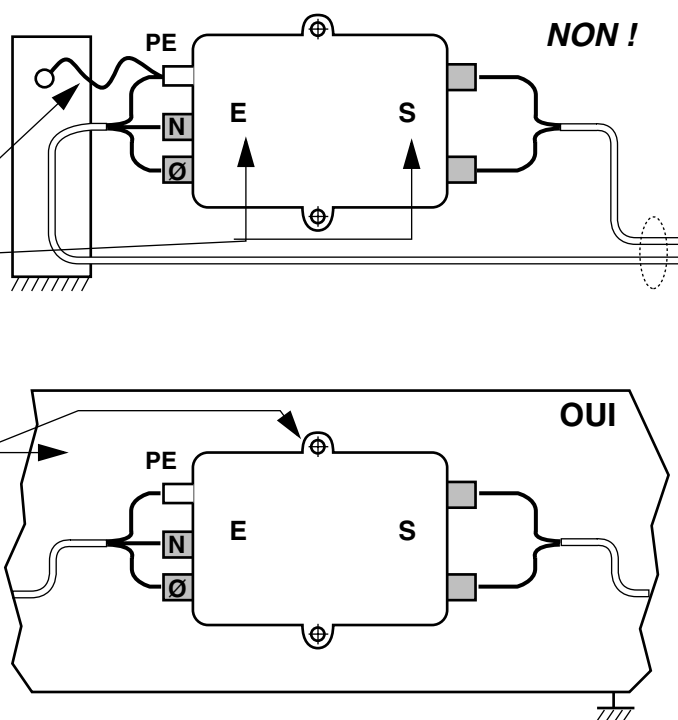
	TT	TN-C	TN-S	IT
Sécurité des personnes	Bien Disjoncteur différentiel obligatoire	Bien Être vigilants et assurer la continuité du conducteur PE lors d'extensions d'installation	Bien	Bien
Sécurité des biens	Bien	Mauvais Courants très élevés dans le conducteur PEN (> 1kA) Interdit dans les locaux à risque	Mauvais Protection différentielle 500 mA	Bien Recommandé en sécurité intrinsèque car pas d'arc électrique
Disponibilité de l'énergie	Bien	Bien	Bien	Très bien
Comportement en «CEM» et harmoniques	Bien Le PE n'est plus une référence de potentiel unique pour l'installation. <input type="checkbox"/> Parafoudres à prévoir (distribution aérienne) <input type="checkbox"/> Nécessite la gestion des équipements à courants de fuite élevés situés en aval des protections différentielles	Mauvais <input type="checkbox"/> Circulation de courants perturbateurs dans les masses <input type="checkbox"/> Rayonnement de perturbations «CEM» par le PE <input type="checkbox"/> À déconseiller si générateur d'harmoniques dans l'installation	Très bien <input type="checkbox"/> Nécessite la gestion des équipements à courants de fuite élevés situés en aval des protections différentielles <input type="checkbox"/> Courants de défaut importants dans le PE (perturbations induites) <input type="checkbox"/> Une seule Terre	Bien <input type="checkbox"/> Prendre des précautions sur l'installation de filtre HF de Mode Commun <input type="checkbox"/> Il peut être nécessaire de fragmenter l'installation pour réduire la longueur des câbles et limiter les courants de fuite <input type="checkbox"/> Schéma TN au 2ème défaut.
La foudre	Bien Avec parafoudre MC + MD	Bien Avec parafoudre MC + MD	Bien Avec parafoudre MC + MD	Bien Avec parafoudre MC

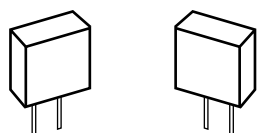
D - Les composants réducteurs

■ La mise en oeuvre des filtres

■ Filtre secteur :

- ☐ ne pas utiliser de fil vert-jaune pour relier le filtre à la masse,
- ☐ attention au sens du filtre !
- ☐ éviter le couplage entre fils d'entrée/sortie,
- ☐ référencer le filtre par rapport à un plan de masse,
- ☐ séparer les fils d'entrée et de sortie,
- ☐ plaquer les câbles contre le plan de masse

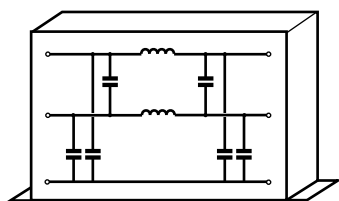


■ Les remèdes de première urgence : «valise de remèdes à utiliser sur site»

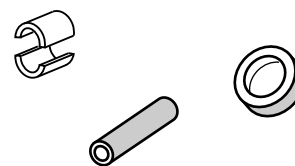
☐ les condensateurs
de classe X ou Y



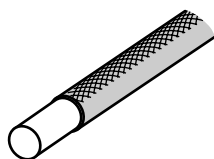
☐ Les inductances
de Terre



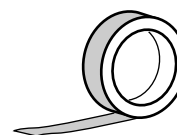
☐ Le filtre modulaire



☐ Les ferrites



☐ Le «joint de porte» HF

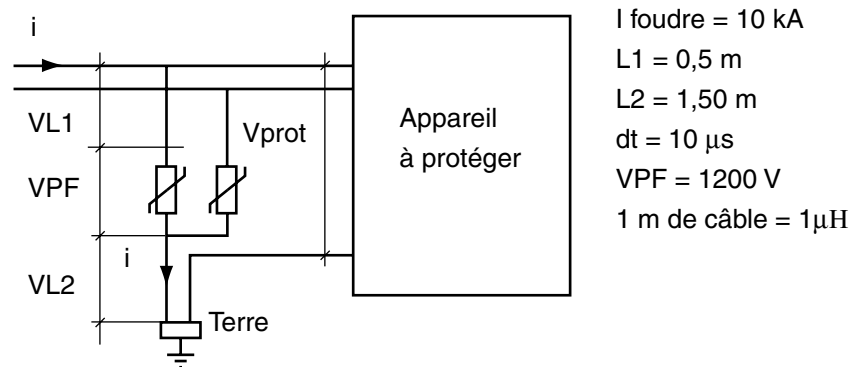


☐ le ruban de cuivre
adhésif

■ Les parasurtenseurs

□ Exemple : calcul de la surtension lors d'un coup de foudre

La foudre est assimilée à un phénomène haute fréquence



$I_{\text{foudre}} = 10 \text{ kA}$
 $L1 = 0,5 \text{ m}$
 $L2 = 1,50 \text{ m}$
 $dt = 10 \mu\text{s}$
 $V_{PF} = 1200 \text{ V}$
 $1 \text{ m de câble} = 1 \mu\text{H}$

$$V_{prot} = VL1 + VL2 + V_{PF}$$

avec

$$VL1 = L1 \frac{di}{dt} = 0,5 \mu\text{H} \times 10 \text{ kA} / 10 \mu\text{s} = 500 \text{ V}$$

$$VL2 = L2 \frac{di}{dt} = 1,5 \mu\text{H} \times 10 \text{ kA} / 10 \mu\text{s} = 1500 \text{ V}$$

$$V_{prot} = 500 + 1500 + 1200 = \mathbf{3200 \text{ V}}$$

Le niveau de tenue aux chocs de l'appareil étant de 2 kV, il y a risque de destruction de celui-ci du fait des grandes longueurs des câbles L1 et L2 entraînant des surtensions.

Règle de câblage : Il faut raccorder l'appareil à protéger aux bornes du parafoudre.

E - Les conclusions

- Anticiper
- Respecter les règles de câblage
- Rester homogène
- Se méfier des «recettes de cuisine»

Important ■ Pour la cohabitation courants forts / courants faibles, pensez au câblage

Compatibilité électro- magnétique	Évaluation «CEM» ■ QCM	1/1
---	---	-----

1 - Solution de réduction des courants haute fréquence :

- ☐ un filtre anti-harmoniques
- ☐ un câble blindé
- ☐ un filtre haute fréquence

2 - Solution de réduction du rayonnement d'un câble

- ☐ un câble blindé non raccordé
- ☐ un filtre haute fréquence
- ☐ un câble blindé raccordé à 360°

3 - Moyen de mesure d'un courant haute fréquence :

- ☐ sonde de Moebius
- ☐ pince TI RMS
- ☐ pince haute fréquence
- ☐ antenne de mesure HF

4 - Incidence du couplage inductif dans une surface de boucle de masse de câblage

- ☐ diaphonie capacitive
- ☐ génération d'une tension perturbatrice
- ☐ génération de champ électrique

3.2 TP 1 : Mesure du rayonnement d'un câble en sortie variateur

CEM - Compatibilité électromagnétique

Lieu d'activité

Laboratoire d'essai de système

Transfert et complément de connaissance

Conditions de réalisation

■ Sécurité

L'enseignant doit énoncer de manière explicite les consignes de sécurités.

Pour réduire au minimum les risques d'origine électrique : le raccordement des appareils de mesure doit être réalisé exclusivement par des cordons de sécurité.

■ Matériels et documents utilisés

- ☐ Le système «Banc d'étude des perturbations des réseaux électriques CEM et Harmoniques»,
- ☐ Le dossier technique du système,
- ☐ Un analyseur de spectre HF ou un oscilloscope + adaptateur 50 Ω
- ☐ Une boucle de Moebius, une paire informatique torsadée, 3 câbles VV.

■ Pré-requis

- ☐ Sensibilisation du risque électrique
- ☐ Cours CEM.

Conditions de mesure

■ Configuration du système

- ☐ Raccorder les deux armoires par :
 - le câble d'alimentation de l'armoire PO,
 - les trois types de câble VV en fonction des questions.
- ☐ Utiliser la pince HF pour mesurer le rayonnement du câble.
- ☐ Connecter le filtre FVV d'entrée.
- ☐ Variateur à I_n , aucune solution de filtrage harmoniques connectée.

Objectif de l'activité

Mis en évidence de l'efficacité d'un câble blindé.

- ☐ H1 : **Connaître** et savoir **mettre en œuvre** les règles de câblage et d'installation pour assurer la coexistence des différents courants (forts et faibles)
- ☐ H2 : **Choisir et appliquer** une stratégie de protection en fonction des données constructeur (montage et remèdes)
- ☐ H4 : **Identifier** les différents pollueurs et victimes de l'installation.
- ☐ H5 : **Proposer** un protocole d'investigation et de mesures sur site, face à un problème de dysfonctionnement de l'installation

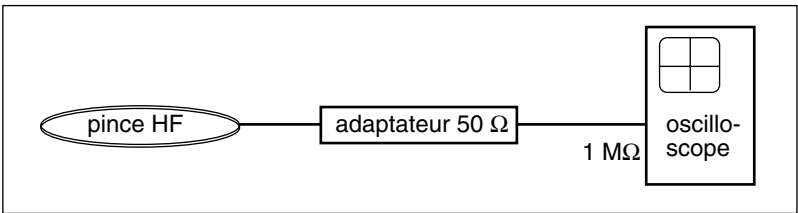
Compatibilité électro-magnétique	TP 1 : Mesure du rayonnement d'un câble en sortie variateur	1/8
----------------------------------	---	-----

A - Mesure du rayonnement d'un câble

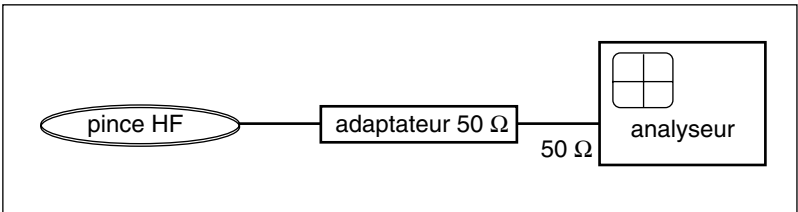
Configurations de mesure Variateur à In - Filtre RFI amont en service

Configuration	Oscilloscope 0,2 V/div - 0,1 ms/ div		Analyseur de spectre HAMEG HM 5005	
	3 phases sans PE	3 phases avec PE	3 phases sans PE	3 phases avec PE
Câble : Blindage non rac-cordé	> 2 Vcc	1,5 Vcc	70 dBμV	60 dBμV
Câble : Blindage raccordé avec «queue de cochon»		0,3 Vcc		50 dBμV
Câble : blindage raccordé «CEM» (I _{VMC})		0 Vcc		20 à 30 dBμV

Notes : ☐ Toutes les mesures effectuées à l'oscilloscope avec la pince HF (50 Ω) utilisent l'adaptateur 50 Ω.

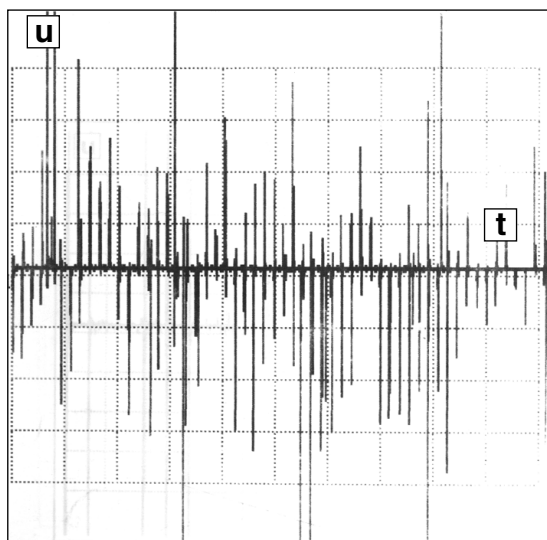
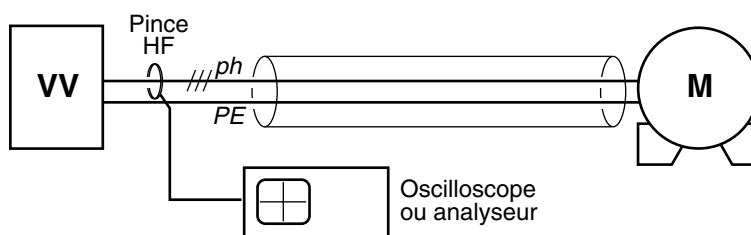


☐ Toutes les mesures à l'analyseur de spectre s'effectuent par entrée directe sans adaptateur.

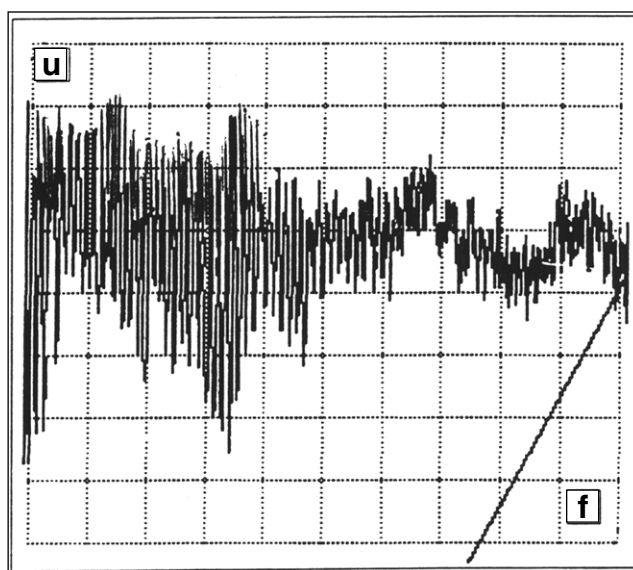


Câble non raccordé :
mesure sur
les 3 phases

Mesure de I_{MC} sur les trois phases sans le conducteur PE



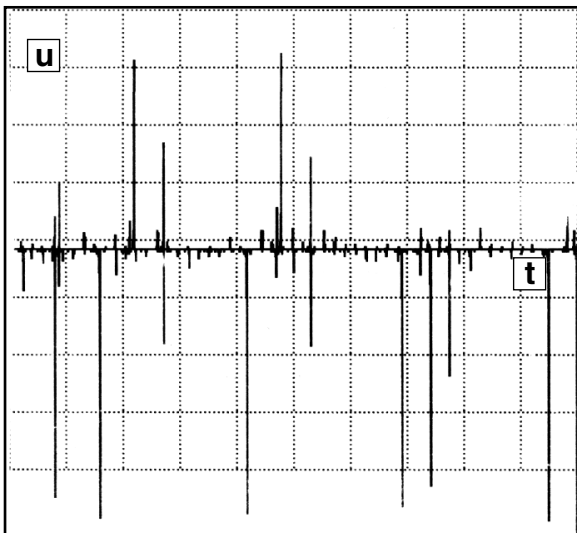
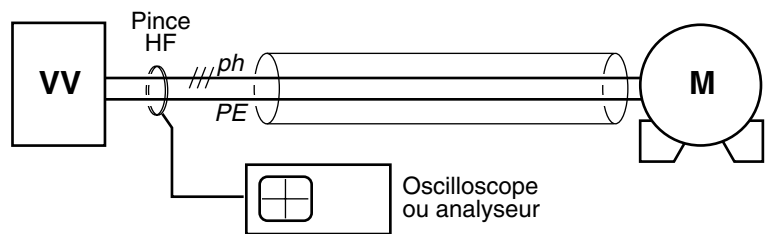
Oscilloscope
0,2 V/div - 0,1 ms



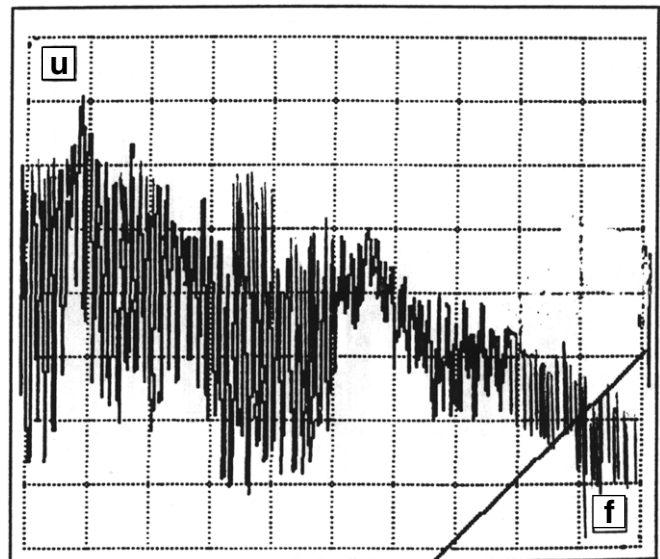
Analyseur
10 dBμV/div
2 MHz/div

Câble non raccordé :
mesure sur
les 3 phases + PE

Mesure de I_{VMC} sur les trois phases + le conducteur PE



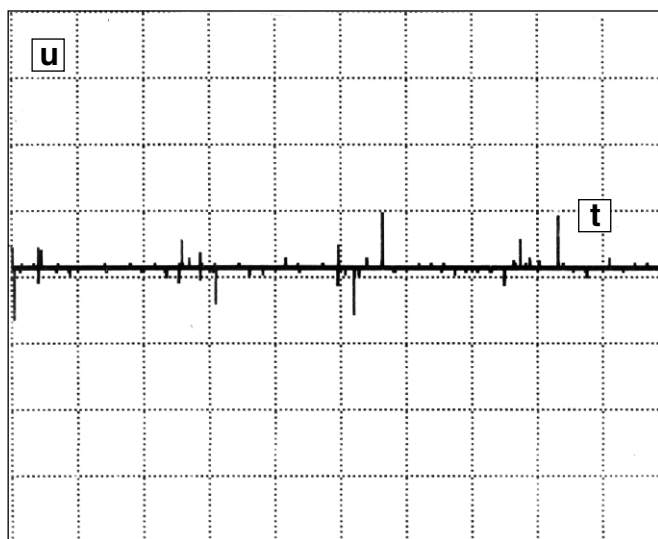
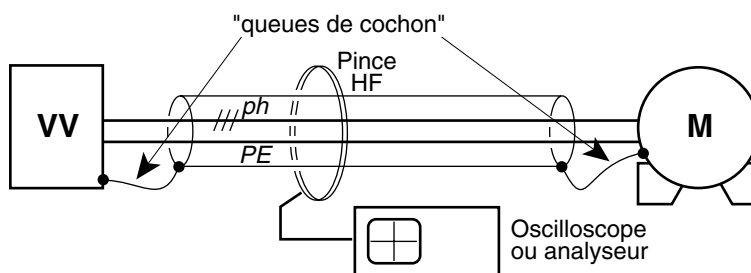
Oscilloscope
0,2 V/div - 0,1 ms



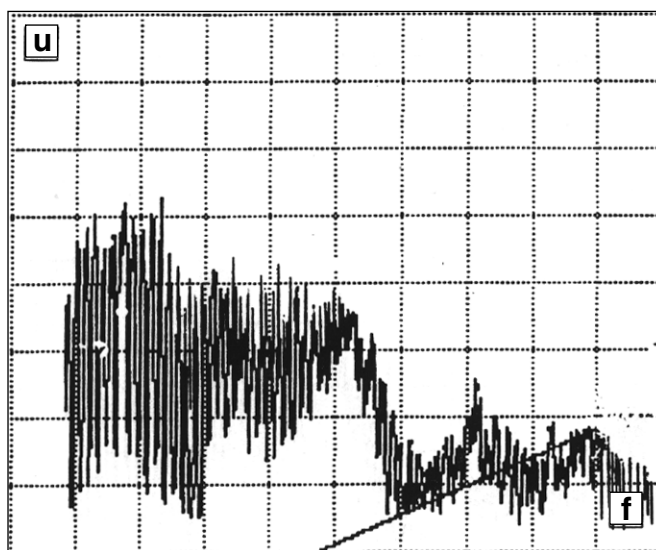
Analyseur
10 dB μ V/div
2 MHz/div

Blindage raccordé
avec «queue de cochon»

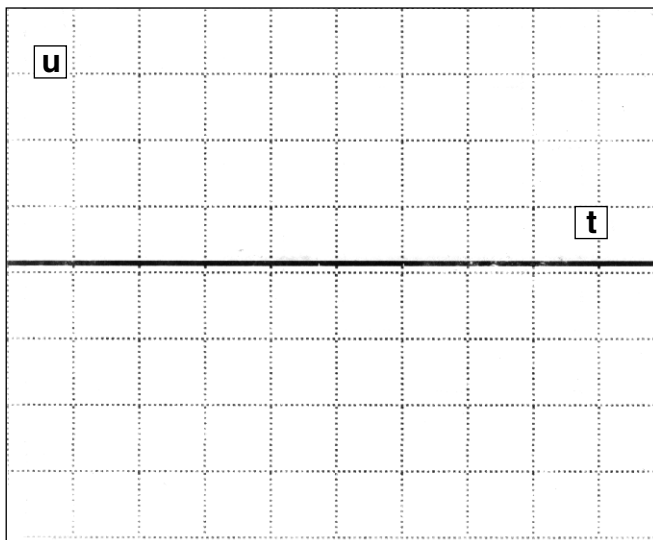
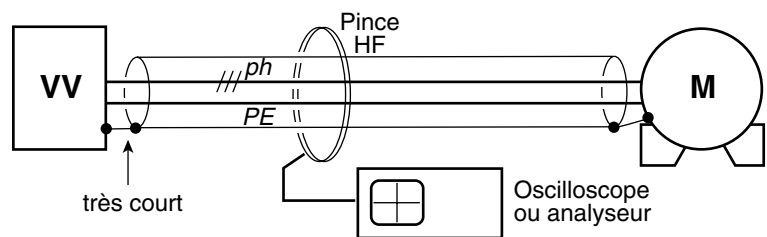
Mesure de I_{VMC}



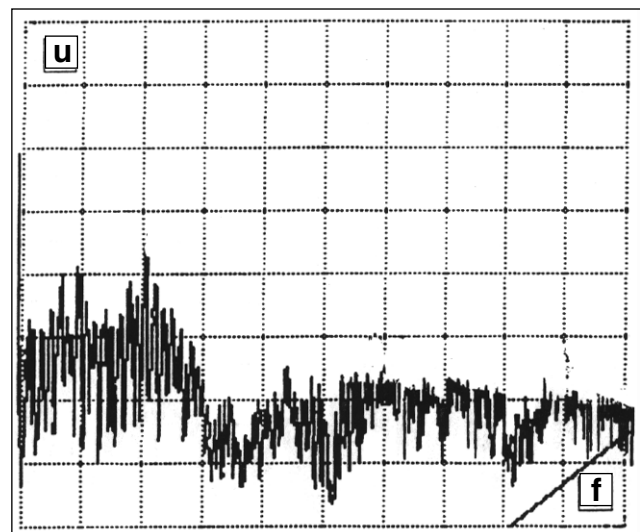
Oscilloscope
0,2 V/div - 0,1 ms



Analyseur
10 dBμV/div
2 MHz/div

Blindage raccordé «CEM» Mesure de I_{VMC} 

Oscilloscope
0,2 V/div - 0,1 ms



Analyseur
10 dB μ V/div
2 MHz/div

Conclusion ■ Installation rendue conforme :

- ☐ en sortie grâce au câble blindé raccordé des deux côtés à 360°,
- ☐ en entrée grâce à l'efficacité du filtre RFI intégré au variateur.

■ Par mesure concernant les trois câbles de puissance, il est mis en évidence que le câble blindé bien raccordé est celui qui donne les meilleurs résultats, car tout le courant est rebouclé par le PE + le blindage.

$$I_{\text{VRAI MODE COMMUN}} = 0$$

le câble ne rayonne pas

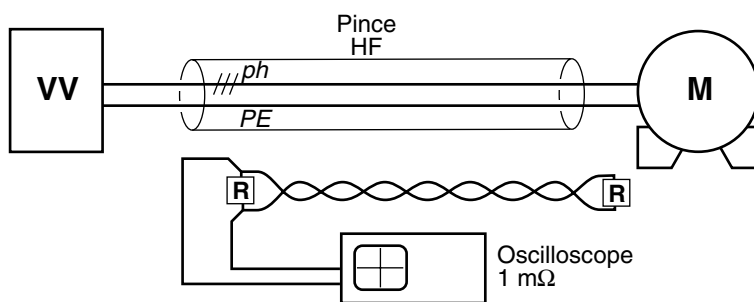
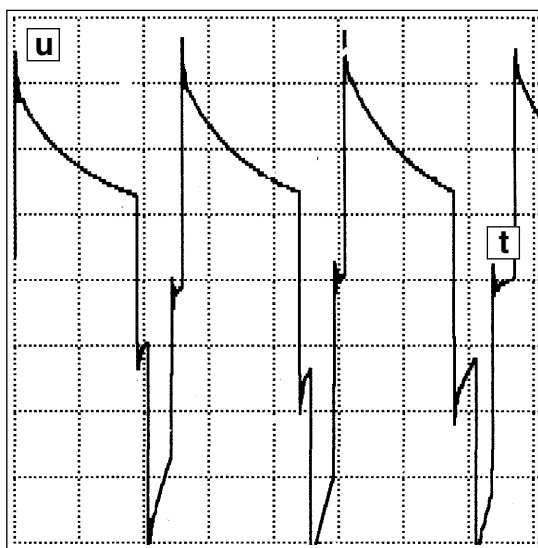
De plus, ce blindage permet d'obtenir des mesures répétitives, dès lors que les 4 câbles sont mécaniquement forcés à être plaqués ensemble, supprimant de ce fait les surfaces de boucle de câblage.

■ En revanche, dans la 2ème série de mesures (3 phases + PE), le résultat est variable, car il dépend :

- ☐ de l'impédance du PE par rapport aux structures métalliques du bâtiment,
- ☐ d'une proximité de chemin de câble, modifiant la valeur des condensateurs parasites,
- ☐ de l'écartement des 4 câbles entre eux.

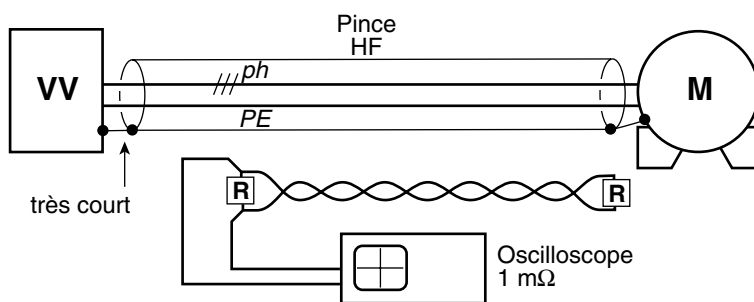
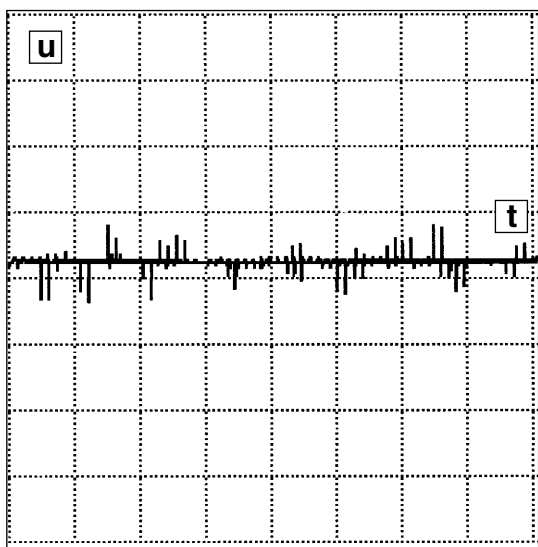
B - Influence du rayonnement d'un câble sur
une liaison informatique

Câble non raccordé

Oscilloscope
0,2 V/div - 0,1 ms

16 Vcc

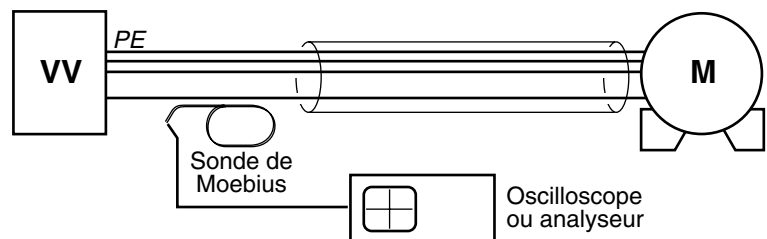
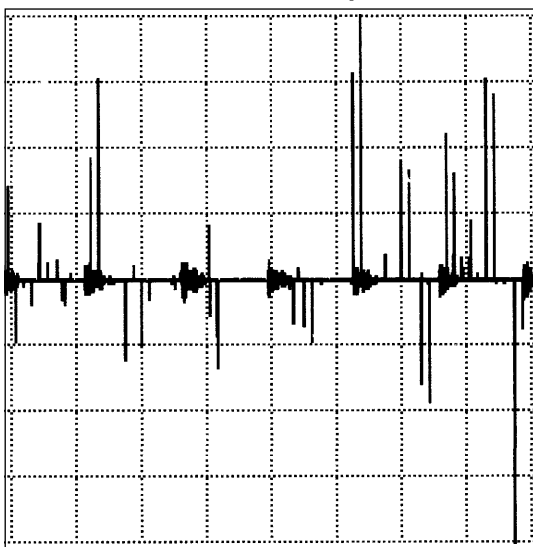
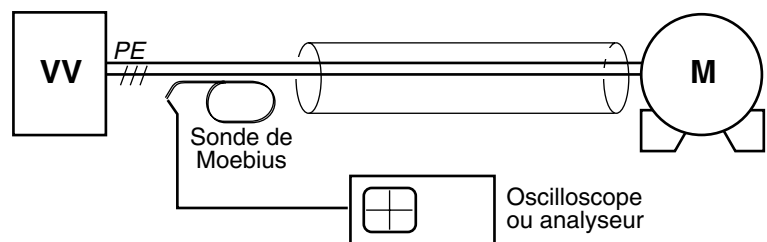
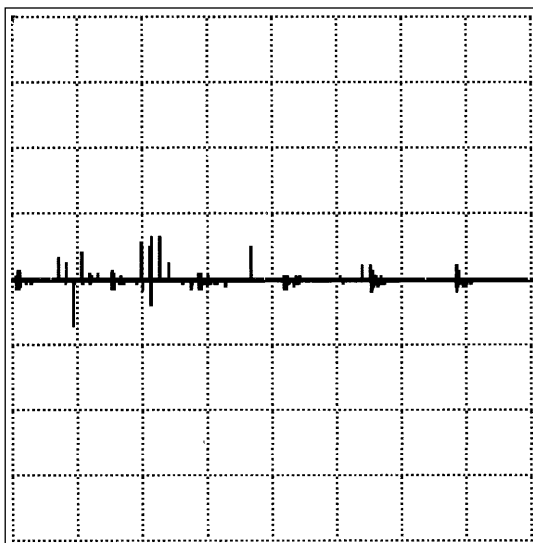
Câble raccordé CEM

Oscilloscope
0,2 V/div - 0,1 ms

2 Vcc

Conclusion

- ☐ Le câble raccordé «CEM» est celui qui génère le moins de pollution.
- ☐ Il est préconisé par le fabricant.

C - Mesure du rayonnement d'un câble dû à
l'écartement des conducteursCâble non blindé
phase écartéeOscilloscope
0,5 V/div - 0,2 msCâble non blindé
3 phases + PE regroupéesOscilloscope
0,5 V/div - 0,2 ms**Conclusion**

Le regroupement des câbles annule le rayonnement, par l'annulation des champs magnétiques.

3.3 TP 2 : Mesure du rayonnement d'un câble sur un écran cathodique

CEM - Compatibilité électromagnétique

Lieu
d'activité

Laboratoire d'essai de système

Transfert et complément de connaissance

Conditions de
réalisation

■ Sécurité

L'enseignant doit énoncer de manière explicite les consignes de sécurités.

Pour réduire au minimum les risques d'origine électrique : le raccordement des appareils de mesure doit être réalisé exclusivement par des cordons de sécurité.

■ Matériels et documents utilisés

- ☐ Le système «Banc d'étude des perturbations des réseaux électriques CEM et Harmoniques»,
- ☐ Le dossier technique du système,
- ☐ Un écran cathodique,
- ☐ Une rallonge d'alimentation (Ph + N + PE) dénudée.

■ Pré-requis

- ☐ Sensibilisation du risque électrique
- ☐ Cours CEM.

Conditions de
mesure

■ Configuration du système

- ☐ Raccorder les deux armoires par :
 - le câble d'alimentation de l'armoire PO,
 - le câble VV raccordé «CEM».
- ☐ Mettre en série avec le cordon d'alimentation du banc la rallonge dénudée.
- ☐ Plaquer le câble de phase contre l'écran cathodique.
- ☐ Variateur à I_n , aucune solution de filtrage harmoniques connectée.

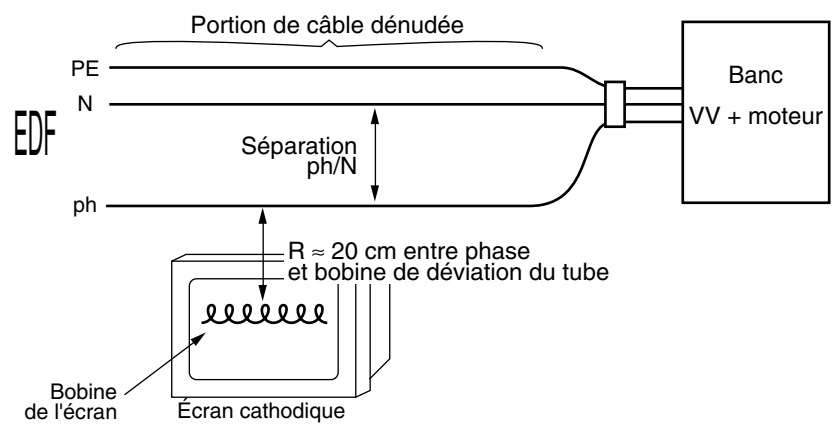
Objectif de
l'activité

Mis en évidence de l'efficacité d'un câble blindé.

- ☐ H1 : **Connaître** et savoir **mettre en œuvre** les règles de câblage et d'installation pour assurer la coexistence des différents courants (forts et faibles)
- ☐ H2 : **Choisir et appliquer** une stratégie de protection en fonction des données constructeur (montage et remèdes)
- ☐ H5 : **Proposer** un protocole d'investigation et de mesures sur site, face à un problème de dysfonctionnement de l'installation

A - Configuration

Influence du champ magnétique généré par le rayonnement d'un câble sur un écran cathodique d'ordinateur.



B - Descriptif

- 1 - Raccorder le banc avec un câble unipolaire trois conducteurs ph, N, PE séparés le plus possible (câble dénudé fourni).
- 2 - Plaquer le câble de phase sur la face avant de l'écran cathodique, l'ordinateur étant sous tension.
- 3 - Mettre le banc en fonctionnement, variateur à $I_N = 2,1$ A en sortie.

Note : ne mettre aucun filtre harmonique en service.

- 4 - Mesure du I_{efficace} amont : 4,6 A_{eff}.

- 5 - On constate une déformation à 150 Hz de l'image de l'écran. Pourquoi ?

☐ La phase étant séparée du Neutre, ce câble va rayonner un champ magnétique $H = \frac{I}{2\pi \cdot R}$

$R = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$ = distance séparant le câble des bobines de déviation du tube cathodique.

$$H = \frac{4,6}{2\pi \cdot 0,2} = 3,7 \text{ A/m}$$

☐ Le niveau d'immunité d'un écran cathodique est d'environ 1 A/m.

Note : Les écrans à cristaux liquides (ordinateurs portables) ne sont pas perturbés.

C - Solutions

Éloignement du câble

On peut réduire le champ magnétique en éloignant le câble de l'écran.

■ Calcul de cette distance R pour une réduction de 1 A/m :

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot R}$$

$$\Rightarrow R = \frac{I}{2\pi \cdot H} = \frac{4,6}{2\pi \cdot H} = 0,7 \text{ m}$$

■ Vérifier en pratique le phénomène.

Rapprochement phase et Neutre

■ On peut réduire le champ magnétique, donc le rayonnement du câble, en rapprochant les deux câbles phase et Neutre.

Les deux champs s'annulant en mode différentiel, le câble ne rayonne plus.

■ On peut constater l'avantage d'un câble multipolaire.

Interposition d'un filtre anti-harmoniques

■ on peut mettre en œuvre les différents filtres anti-harmoniques du banc :

☐ self L_1 ,

☐ filtre passif de rang 3.

Le rayonnement demeure cependant sur le courant fondamental 50 Hz (écran perturbé à 50 Hz).

D - Conclusion

Un câble multipolaire regroupant naturellement les câbles sera moins pollueur que des câbles unipolaires séparés.
(annulation des champs magnétiques)

C'est la solution préférentielle.

3.4 TP 3 : Mesure de l'efficacité d'une armoire CEM sur le champ rayonné

CEM - Compatibilité électromagnétique

Lieu d'activité

Laboratoire d'essai de système

Transfert et complément de connaissance

Conditions de réalisation

■ Sécurité

L'enseignant doit énoncer de manière explicite les consignes de sécurités.

Pour réduire au minimum les risques d'origine électrique : le raccordement des appareils de mesure doit être réalisé exclusivement par des cordons de sécurité.

■ Matériels et documents utilisés

- ☐ Le système «Banc d'étude des perturbations des réseaux électriques CEM et Harmoniques»,
- ☐ Le dossier technique du système,
- ☐ Un analyseur de spectre HF,
- ☐ Une boucle de Moebius.

■ Pré-requis

- ☐ Sensibilisation du risque électrique
- ☐ Cours CEM.

Conditions de mesure

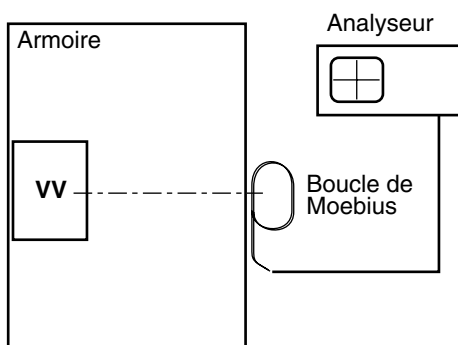
■ Configuration du système

- ☐ Raccorder les deux armoires par :
 - le câble d'alimentation de l'armoire PO,
 - le câble VV raccordé «CEM».
- ☐ Régler le courant variateur à I_n
- ☐ Placer la boucle de Moebius devant l'armoire
- ☐ Manœuvrer la porte suivant les consignes du professeur, et utiliser le bouton SA0 pour travailler porte ouverte.

Objectif de l'activité

Mis en évidence de l'efficacité d'une armoire CEM.

- ☐ H2 : **Choisir** et **appliquer** une stratégie de protection en fonction des données constructeur (montage et remèdes)
- ☐ H5 : **Proposer** un protocole d'investigation et de mesures sur site, face à un problème de dysfonctionnement de l'installation

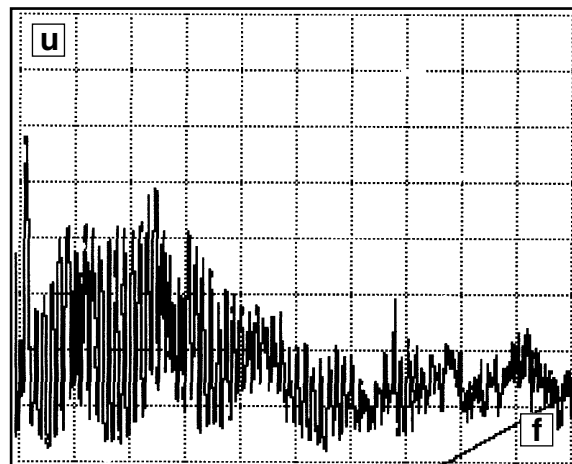
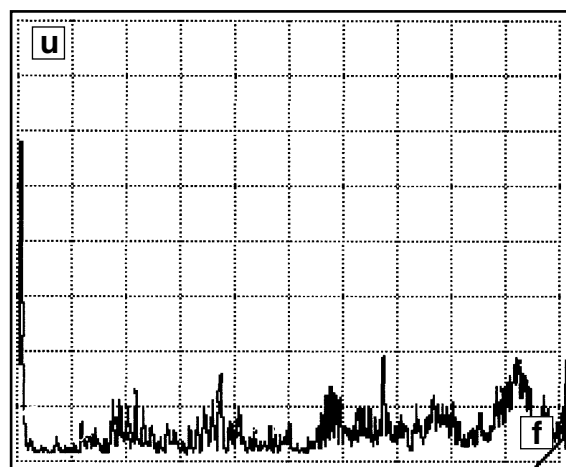
**Armoire porte ouverte**

A - Configuration

Les mesures sont effectuées à la boucle de Moebius reliée à l'analyseur de spectre.

Le filtre HF (FVV) est connecté
le variateur est à pleine charge

B - Descriptif

Analyseur
2 MHz/div**Armoire porte fermée**Analyseur
2 MHz/div

C - Conclusion

Le rayonnement est réduit lorsque la porte est fermée

3.5 TP 4 : Mesure d'émission conduite HF réinjectée sur le réseau

CEM - Compatibilité électromagnétique

Lieu d'activité

Laboratoire d'essai de système

Transfert et complément de connaissance

Conditions de réalisation

■ Sécurité

L'enseignant doit énoncer de manière explicite les consignes de sécurités.

Pour réduire au minimum les risques d'origine électrique : le raccordement des appareils de mesure doit être réalisé exclusivement par des cordons de sécurité.

■ Matériels et documents utilisés

- ☐ Le système «Banc d'étude des perturbations des réseaux électriques CEM et Harmoniques»,
- ☐ Le dossier technique du système,
- ☐ Une pince HF,
- ☐ Un analyseur de spectre HF ou un oscilloscope + adaptateur 50 Ω

■ Pré-requis

- ☐ Sensibilisation du risque électrique
- ☐ Cours CEM.

Conditions de mesure

■ Configuration du système

- ☐ Raccorder les deux armoires par :
 - le câble d'alimentation de l'armoire PO,
 - le câble VV raccordé «CEM».
- ☐ Remplacer les cavaliers I1 (phase et neutre) par 2 cordons de sécurité pour permettre la mesure des courants conduits.
- ☐ Agir sur le bouton poussoir S5 pour mettre en œuvre ou enlever le filtre FVV (intégré dans le variateur).
- ☐ Variateur à vide, sans aucune solution de filtrage harmoniques connectée.

Objectif de l'activité

Mis en évidence de l'intérêt d'un filtre CEM.

- ☐ H0 : **Connaître** les normes en vigueur BF et HF, le marquage CE, ainsi que leurs champs d'application.
- ☐ H1 : **Connaître** et savoir **mettre en œuvre** les règles de câblage et d'installation pour assurer la coexistence des différents courants (forts et faibles)
- ☐ H4 : **Identifier** les différents pollueurs et victimes de l'installation.
- ☐ H5 : **Proposer** un protocole d'investigation et de mesures sur site, face à un problème de dysfonctionnement de l'installation.

A - Configuration

Mesure de l'émission conduite HF réinjectée sur le réseau en entrée du banc.

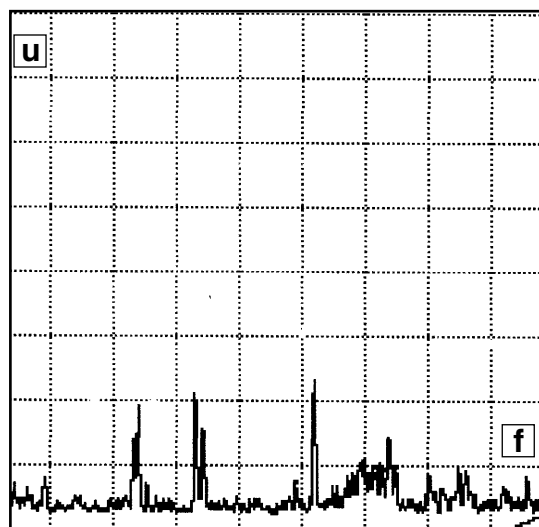
- ☐ Outil de mesure : pince HF.
- ☐ Lieu de mesure : sur les deux cavalier I1

B - Descriptif

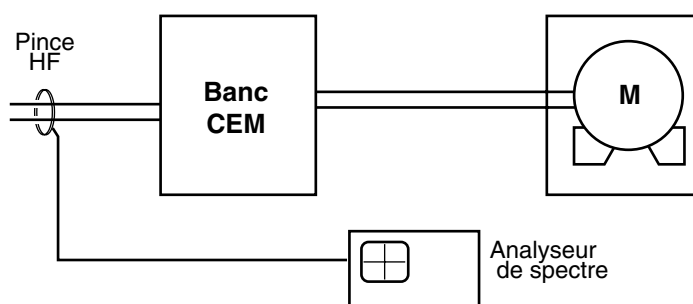
- 1** - Mesure du courant HF à l'oscilloscope et à l'analyseur de spectre, en connectant et déconnectant le filtra (FV) intégré au variateur par action sur le poussoir S5.
- 2** - Calcul du courant mesuré à la pince HF.
- 3** - Corrélation (à des fins pédagogiques) entre le courant mesuré à la pince et la mesure normative (tension) effectuée en laboratoire.

- Notes :**
- ☐ les mesures effectuées à l'oscilloscope se feront avec l'adaptateur 50 Ω ,
 - ☐ Entrée directe (sans adaptateur) sur l'analyseur).

Mesures d'émission HF en entrée
du bruit de fond
à l'analyseur de spectre



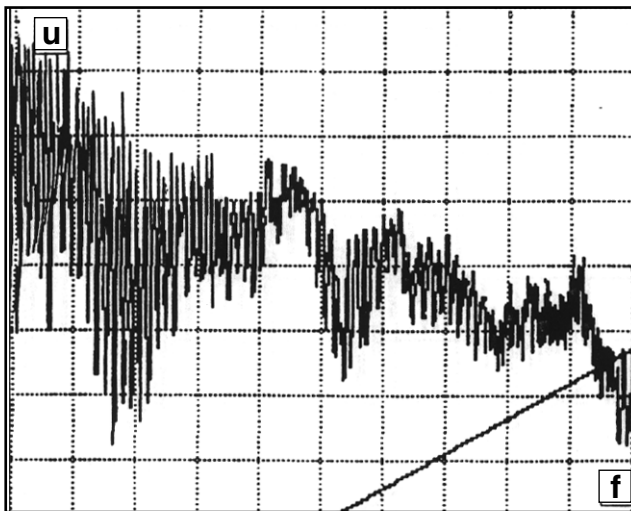
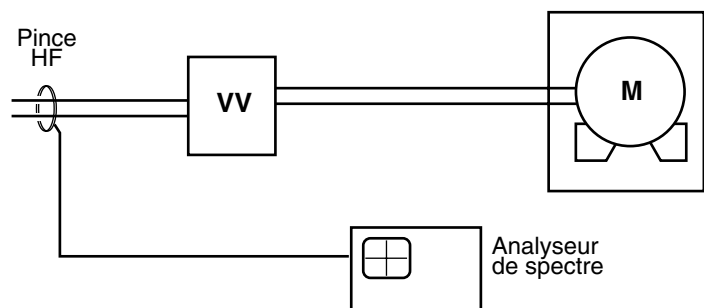
Banc hors tension



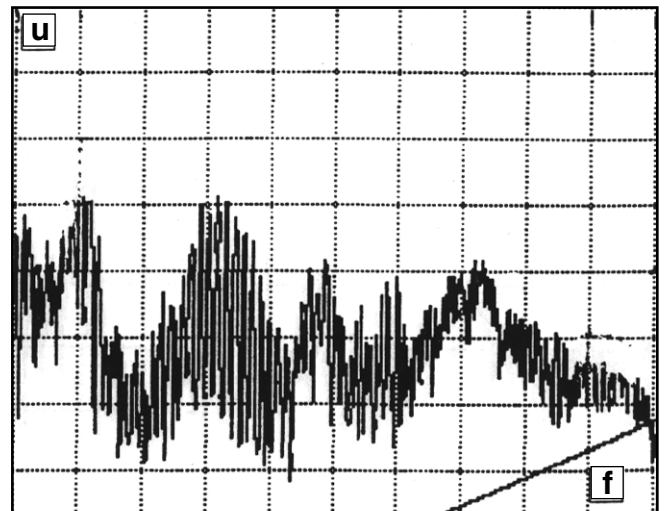
Le niveau de bruit de fond se situe en moyenne à 10 dB μ V

Analyseur
10 dB μ V/div
2 MHz/div

**Mesures d'émission HF en entrée
à l'analyseur de spectre
en mode commun**



Variateur seul sans filtre

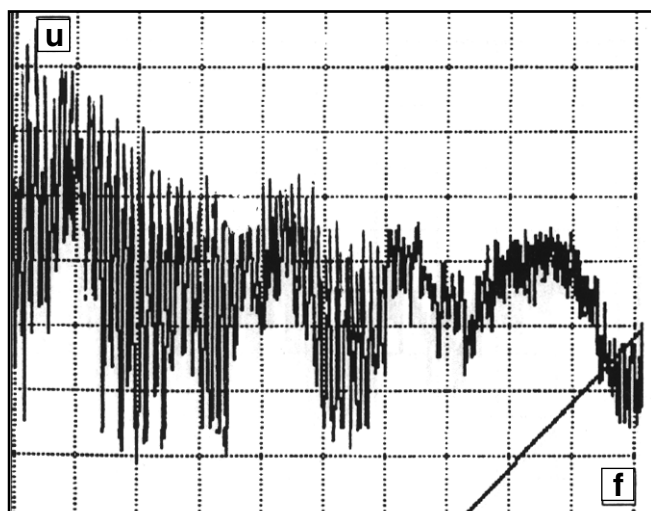
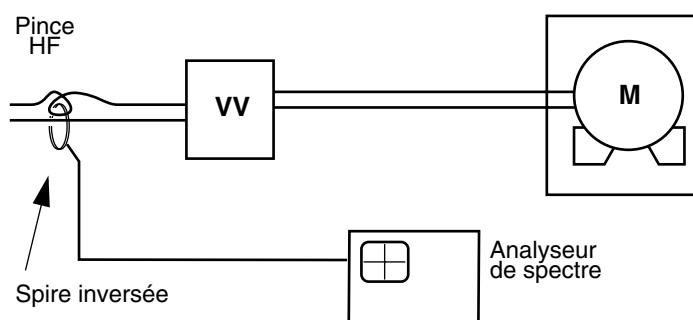


Variateur seul avec filtre

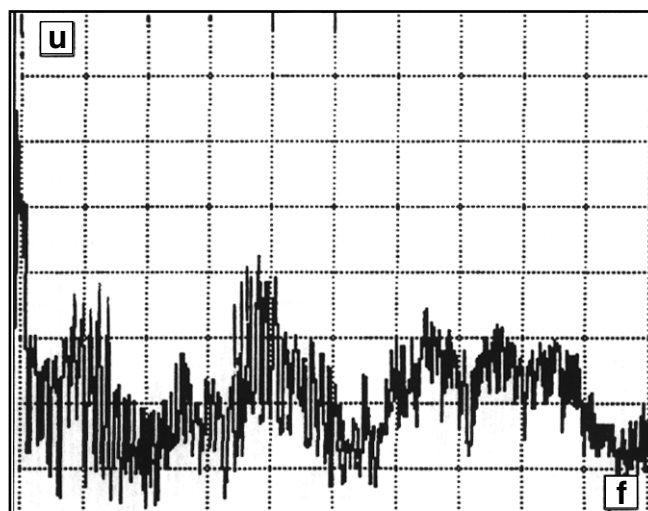
Analyseur
10 dBμV/div
2 MHz/div

Rappel : – 10 dB correspondent à une atténuation d'un facteur 3

Mesures d'émission HF en entrée
à l'analyseur de spectre
en mode différentiel



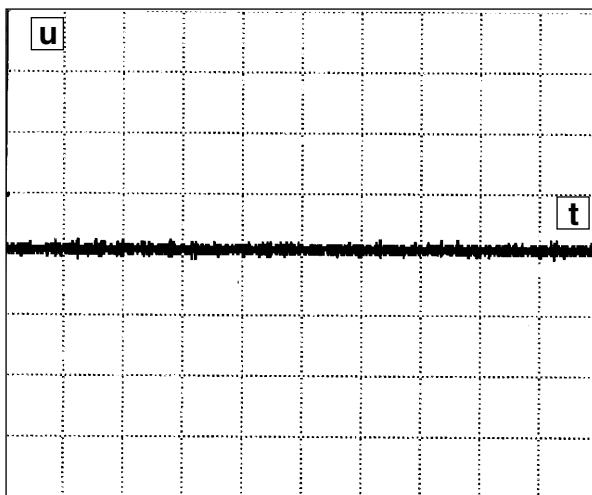
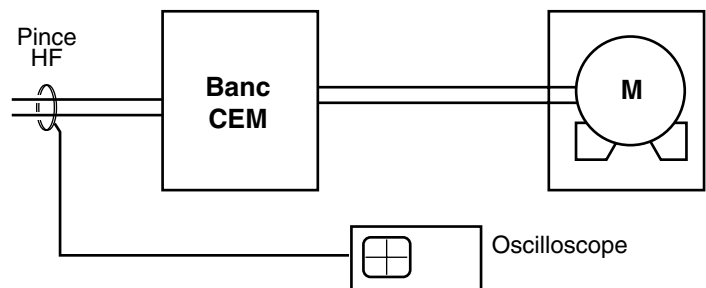
Variateur seul sans filtre



Variateur seul avec filtre

Analyseur
10 dB μ V/div
2 MHz/div

Mesures d'émission HF en entrée
du bruit de fond à l'oscilloscope
en mode commun

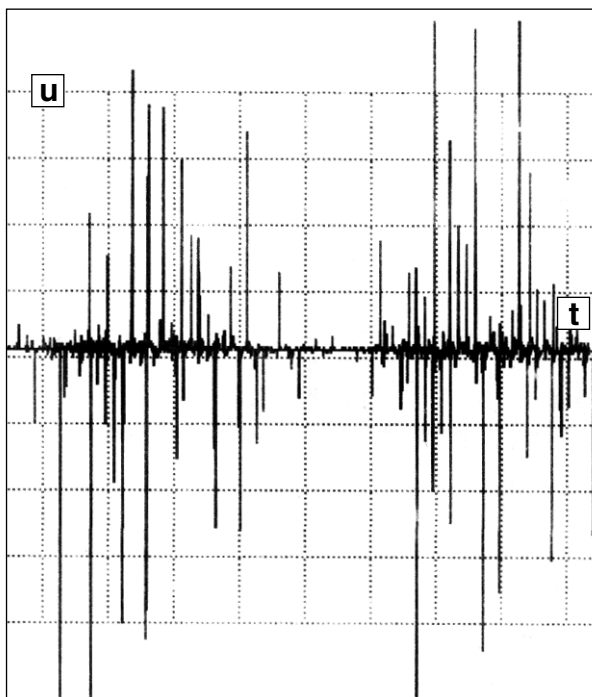
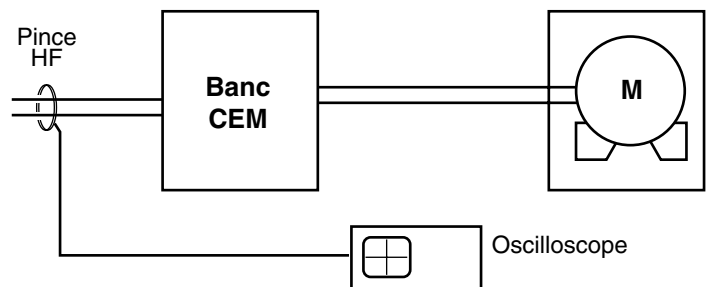


Oscilloscope
5 mV/div
2 ms

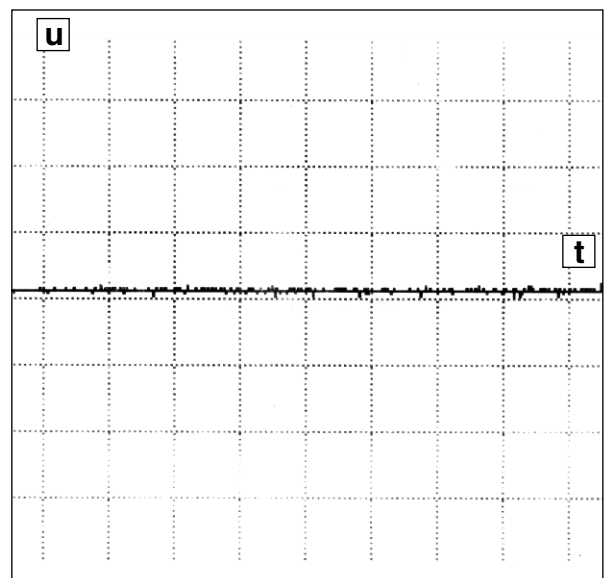
Banc hors tension

Oscilloscope adapté à 50 Ω

Mesures d'émission HF en entrée
à l'oscilloscope
en mode commun



Variateur sans filtre

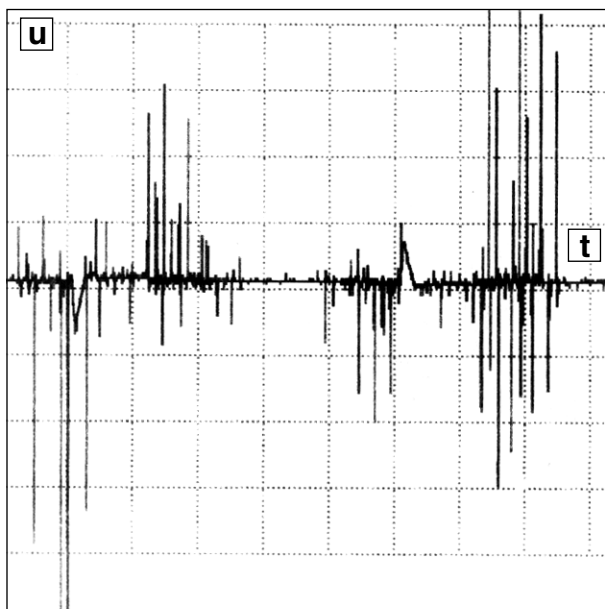
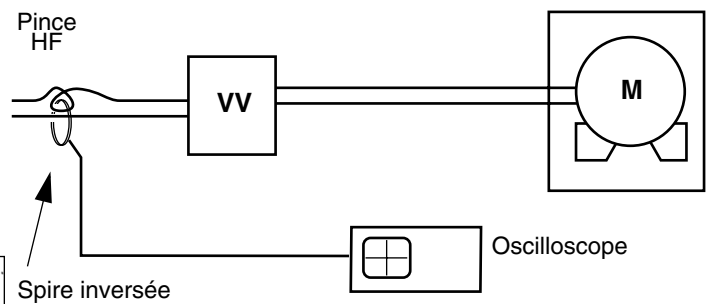


Variateur avec filtre

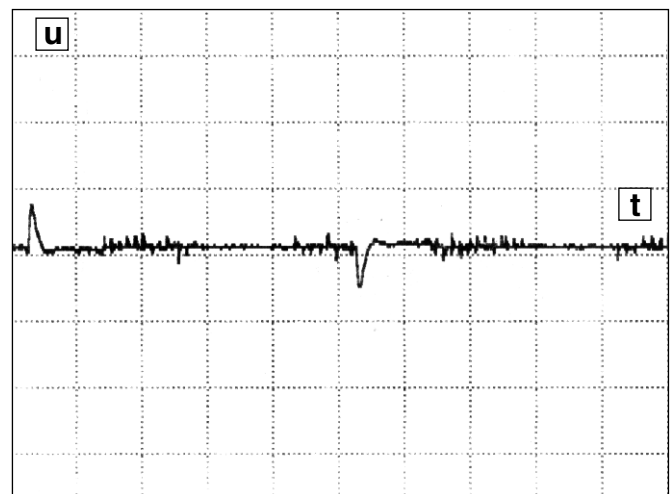
Oscilloscope
0,5 V/div
2 ms

Oscilloscope adapté à 50 Ω

Mesures d'émission HF en entrée
à l'oscilloscope
en mode différentiel

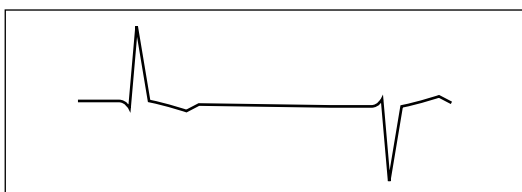


Variateur seul sans filtre



Variateur seul avec filtre

Oscilloscope
0,5 V/div
2 ms



■ **Remarque :**

La visualisation du courant à 50 Hz reste inchangée avec et sans filtre.

On constate que le filtre RFI atténue la HF et non la BF.

Compatibilité
électro-
magnétique

TP 4 : Mesure d'émission conduite HF réinjectée sur le réseau

8/8

C - Conclusion

On a pu mettre en évidence l'efficacité du filtre en fonction des différentes méthodes de mesure, à oscilloscope et à l'analyseur de spectre.

Le filtre Haute Fréquence atténue fortement les perturbations électromagnétiques, sous réserve d'un câblage correct, et ceci quel que soit le niveau de charge (BF) du variateur.

Notes concernant le filtre haute fréquence (FEN)

Dans le banc, le filtrage des perturbations HF est assuré par le filtre (FVV) intégré dans le variateur.

Le filtre FEN n'a donc qu'un rôle pédagogique :
il permet de mettre en évidence les règles de câblage d'un filtre HF.

(voir cours sur les règles de câblage)

3.6 TP 5 : Corrélation entre mesure sur site et en laboratoire

CEM - Compatibilité électromagnétique

Lieu
d'activité

Laboratoire d'essai de
système

Transfert et
complément de
connaissance

Conditions de
réalisation

■ Sécurité

L'enseignant doit énoncer de manière explicite les consignes de sécurités.

Pour réduire au minimum les risques d'origine électrique :
le raccordement des appareils de mesure doit être réalisé exclusivement par des cordons de sécurité.

■ Matériels et documents utilisés

- ☐ Le système «Banc d'étude des perturbations des réseaux électriques CEM et Harmoniques»,
- ☐ Le dossier technique du système
- ☐ Une pince HF
- ☐ Un analyseur de spectre HF

■ Pré-requis

- ☐ Sensibilisation du risque électrique
- ☐ Cours CEM.

Conditions de
mesure

■ Configuration du système

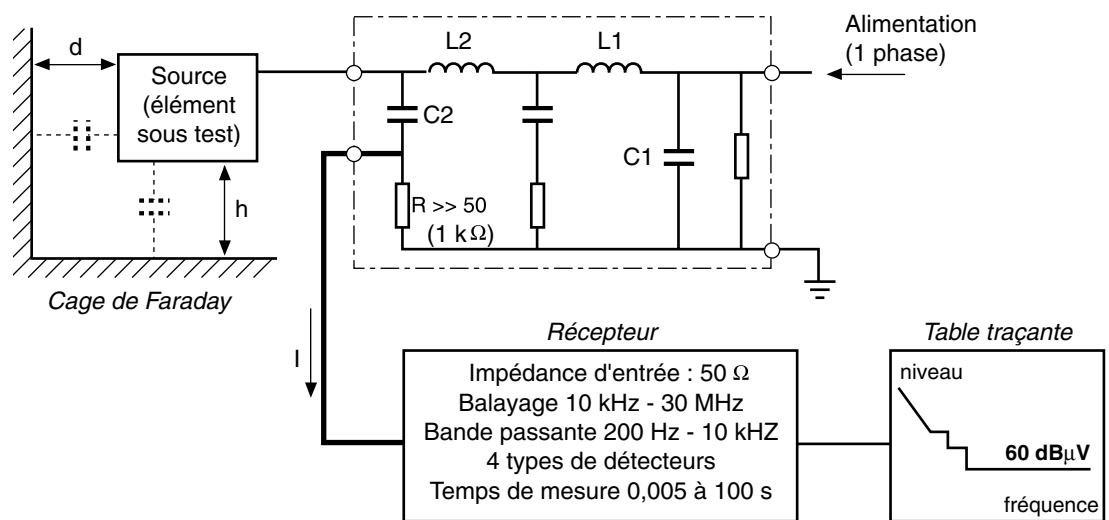
- ☐ Raccorder les deux armoires par :
 - le câble d'alimentation de l'armoire PO,
 - le câble VV raccordé «CEM».
- ☐ Remplacer les cavaliers I_1 (phase et neutre) par 2 cordons de sécurité pour permettre la mesure des courants conduits.
- ☐ Agir sur le bouton poussoir S5 pour mettre en œuvre ou enlever le filtre FVV.

Objectif de
l'activité

- ☐ H0 : **Connaître** les normes en vigueur BF et HF, le marquage CE, ainsi que leurs champs d'application
- ☐ H5 : **Proposer** un protocole d'investigation et de mesures sur site, face à un problème de dysfonctionnement de l'installation

A - présentation du RSIL

■ La **mesure normative en tension** en laboratoire s'effectue à l'aide d'un Réseau Stabilisateur d'Impédance de Ligne «RSIL».



□ La mesure d'émission conduite se traduit par un niveau de tension.

Par exemple : $60 \text{ dB}\mu\text{V} \Leftrightarrow 1 \text{ mV}$

□ Le RSIL n'effectue la mesure que sur un fil, de façon à mettre en évidence les perturbations HF qui pénètrent en mode commun et en mode différentiel à l'intérieur des équipements.

■ Objectif et principe de fonctionnement du RSIL

□ Élimination des perturbations venant du réseau par filtre passe-bas 50 Hz (L1 - C1).

□ Le RSIL stabilise l'impédance du réseau à 50Ω en HF.

□ C2 assure la dérivation des perturbations HF venant de l'appareil sous test vers l'analyseur de mesure (filtre passe-haut), et blocage du 50 Hz.

L2 empêche le I_{HF} de repartir sur le réseau.

Ce RSIL raccordé à un analyseur de spectre permettra d'effectuer des mesures normatives.

■ Niveaux normatifs d'émission conduite sur le réseau

☐ Norme EN 55011 pour les appareils scientifiques et médicaux :

- Classe A = installation en milieu industriel derrière un transfo privé.
- Classe B = installation en milieu résidentiel derrière un transfo public.

☐ Pour chaque classe, trois niveaux de mesure sont effectuées dans la bande passante de 150 kHz à 30 MHz :

- détection crête,
- détection quasi-crête (élimination des crêtes fugitives),
- détection valeur moyenne (moyenne des valeurs).

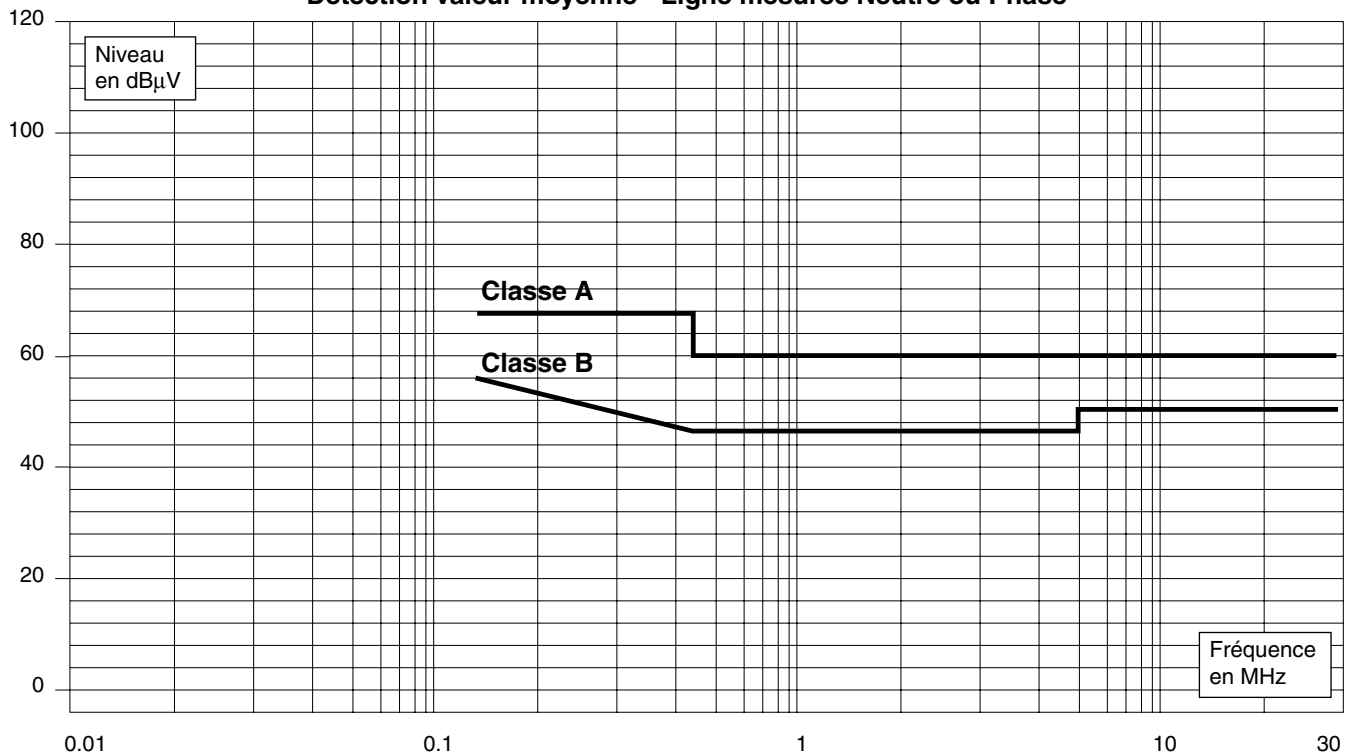
En application industrielle standard, nous retenons les mesures *quasi-crête* et *valeur moyenne*.

☐ Les niveaux sont fixés par les gabarits ci-joints.

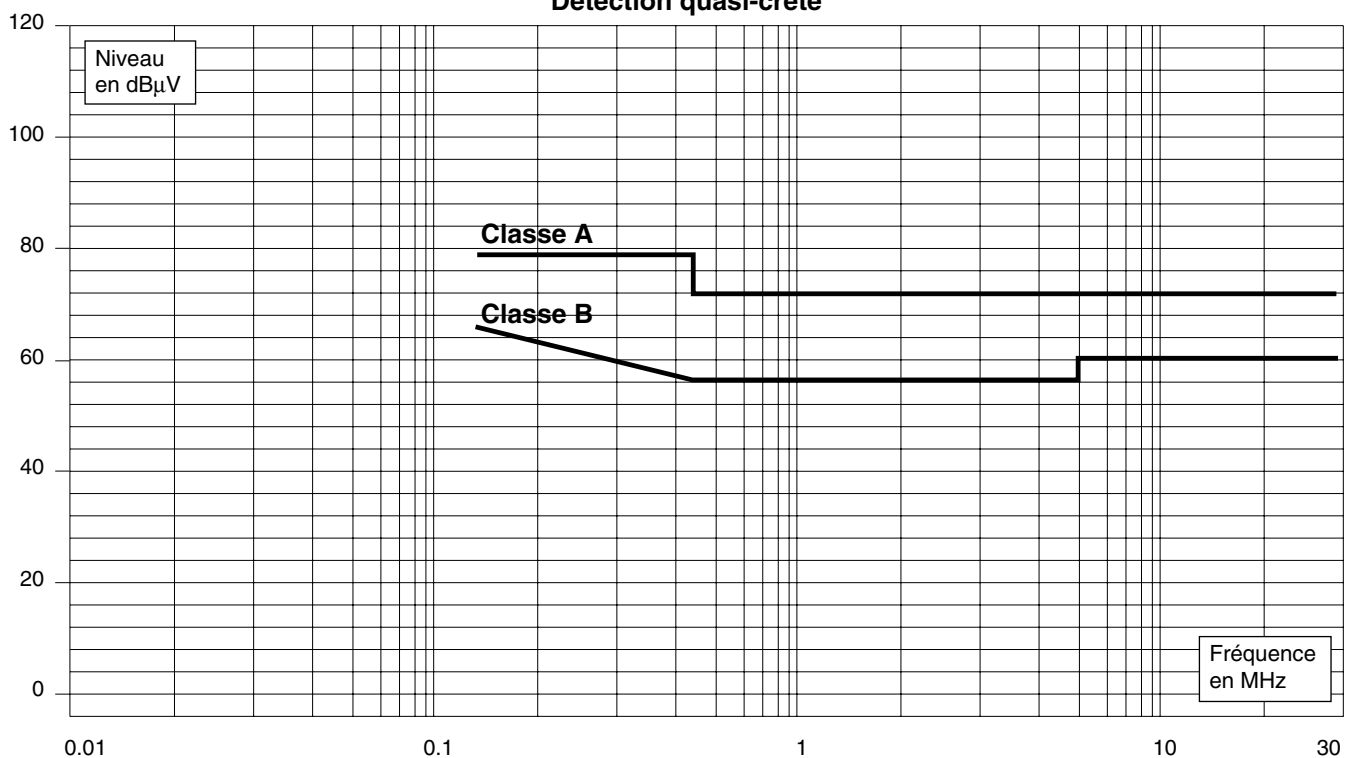
Note : Le banc respecte les limites de la classe A de la norme EN 55011.

□ Niveaux d'émission conduite : gabarits EN 55011

Détection valeur moyenne - Ligne mesurée Neutre ou Phase

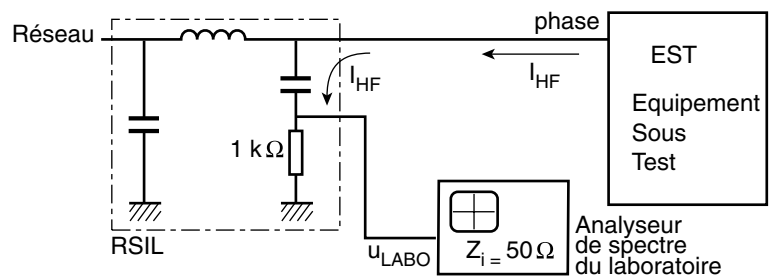


Détection quasi-crête



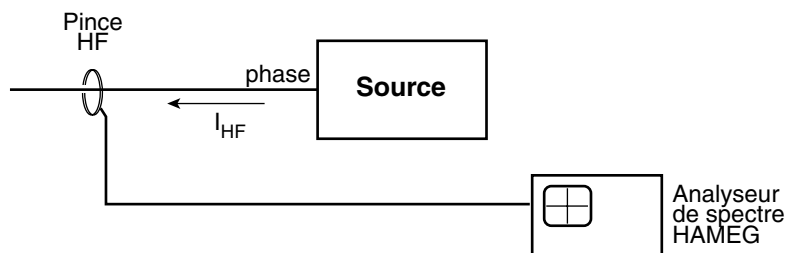
**B - méthode permettant d'effectuer la
corrélation de mesure (site/lab)****Mesure
en tension au RSIL
en laboratoire**

Mesure sur un fil à la fois.



$$U_{LABO} = R \cdot I_{HF} = 50 \cdot I_{HF}$$

 U_{LABO} : tension mesurée à l'analyseur de spectre

 $R = 50 \Omega$ (impédance d'entrée de l'analyseur de spectre)
**Mesure en courant
à la pince HF
sur site**

$$I_{HF} = \frac{U_p}{Z_t}$$

 U_p : U de la pince mesuré à l'analyseur HAMEG

 Z_t : Z de transfert de la pince

La pince doit être placée sur un seul fil (phase ou Neutre) pour une mesure équivalente.

Sachant que le courant I_{HF} est identique pour les deux mesures (si l'impédance de source 50Ω est identique), on peut écrire :

$$u_{LABO} = 50 \cdot \frac{u_p}{Z_t}$$

Donc le lien entre la mesure en courant I_{HF} à la pince et la mesure en tension U_{LABO} au RSIL est :

$$U_{LABO} = I_{HF} \times 50$$

Notes : Attention, cette corrélation n'a qu'un objectif pédagogique. Elle est très approximative, car :

☐ La mesure à la pince est faite sur un réseau de 50Ω en HF (sachant que $Z_{RESEAU} \approx 50 \Omega$ à 1 MHz)

Il étant mesuré sur un seul fil (mesure RSIL), il est équivalent à :

$$I_{MODE \cdot DIFFERENTIEL} + \frac{1}{2} \cdot I_{MODE \cdot COMMUN}$$

☐ On suppose qu'il n'y a pas de pollution préexistante arrivant du réseau, entraînant une erreur de mesure comparative.

☐ On ne tient pas compte des perturbations de la pince venant des champs voisins (la pince didactisée n'est pas blindée)

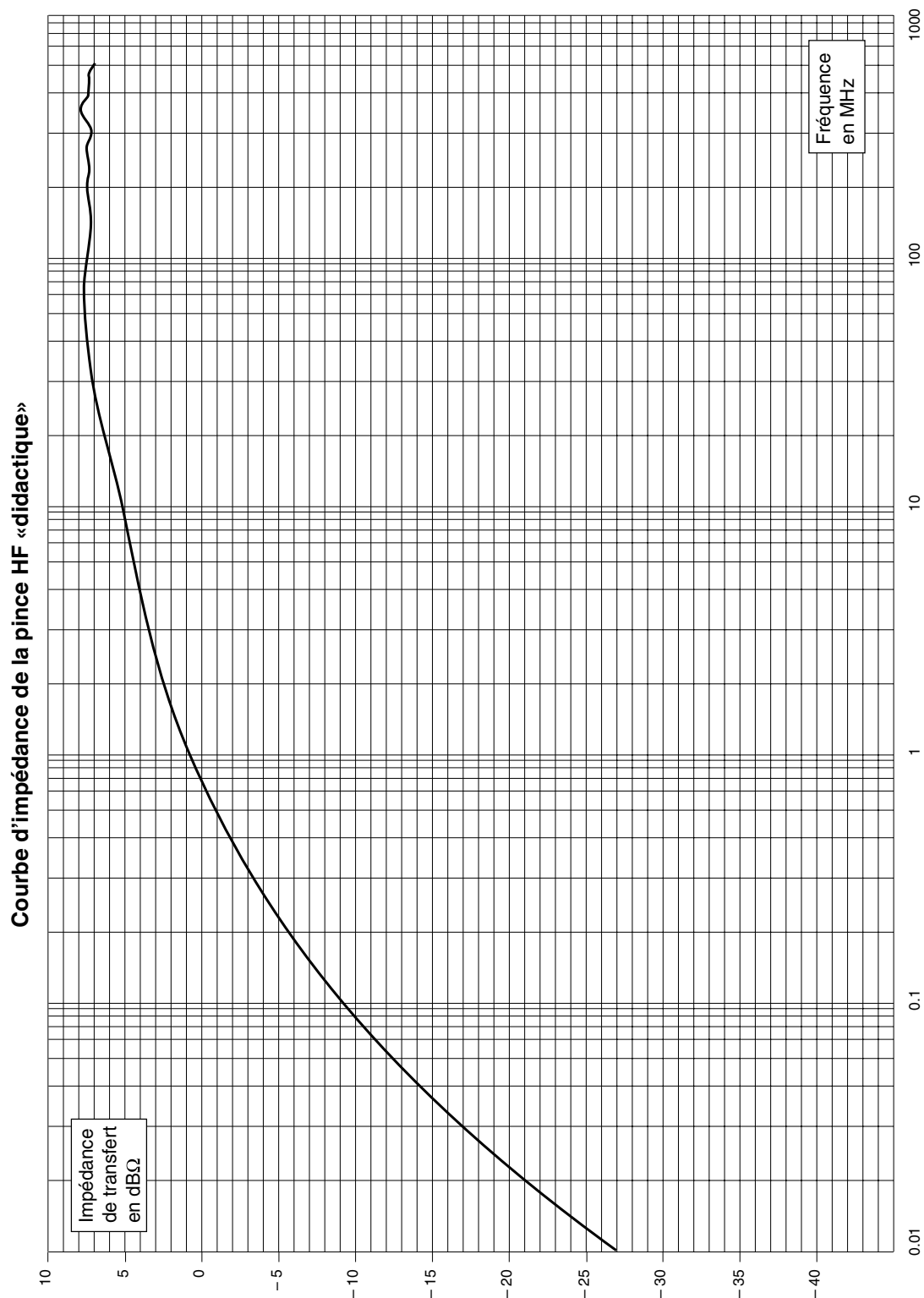
☐ La lecture sur la courbe de l'impédance de transfert Z_t de la pince didactisée est approximative.

Unités : Les valeurs de u et Z_t sont données en dB.

Le courant dans la pince I_{HF} sera :

$$I_{HF} = \frac{u_p}{Z_t}$$

$$I_{HF} \text{ (dBmA)} = u_p \text{ (dB}\mu\text{V)} - Z_t \text{ (dB}\Omega\text{)}$$



À propos de la pince HF

■ La précision sur la courbe d'impédance de transfert de cette pince HF didactisée est approximative, du fait de l'adaptation de cet outil à des fins pédagogiques.

Cette pince n'est en particulier pas blindée (sensibilité à l'environnement).

■ En effet, l'objectif n'est pas de réaliser des mesures normatives, mais de visualiser les phénomènes à fins pédagogiques, en utilisant des outils de mesure relativement économiques (à titre indicatif, le coût d'une pince HF normative est de l'ordre de 7 000F).

Par ailleurs, cette pince didactique pourra être reproduite facilement par les enseignants (schémas et caractéristiques des composants sont joints au manuels).

■ Précaution d'emploi de la pince :
ne pas dépasser un courant BF d'environ 3 A pour éviter sa saturation.

**Mesure d'émission HF en entrée
à l'analyseur de spectre
sur un fil (phase)**

Cette mesure permettra d'établir une corrélation avec la mesure normative faite au RSIL en laboratoire.

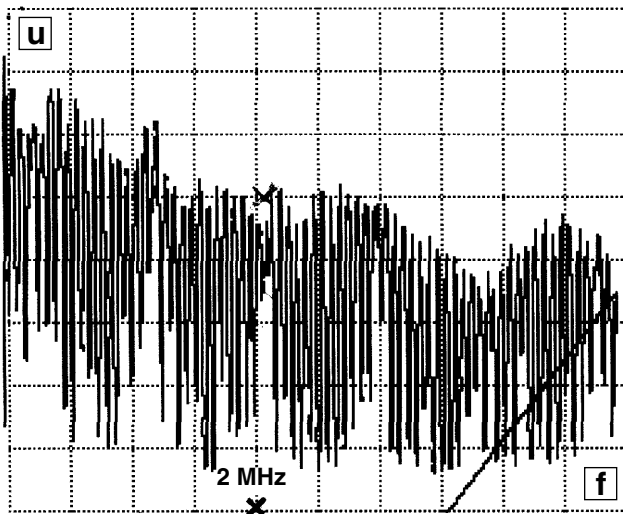
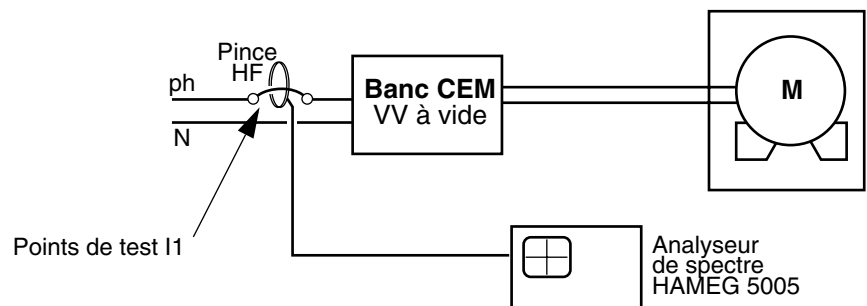


Figure 1 : variateur seul sans filtre

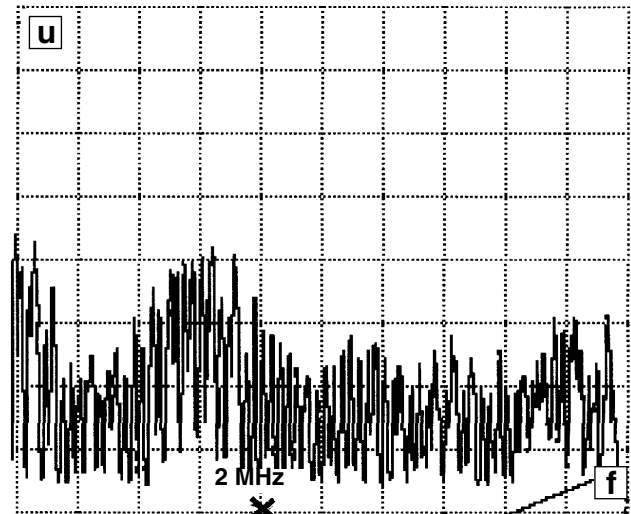


Figure 2 : variateur seul avec filtre

Analyseur
0,5 MHz/div
10 dBμV/div

**Calcul du courant I
mesuré à la pince HF****■ Variateur à vide avec filtre HF (FVV) déconnecté**

(voir relevé de mesures en figure 1, page 231)

Exemple : point de mesure à 2 MHz

 $\Rightarrow u_{\text{ANALYSEUR HAMEG}} = 50 \text{ dB}\mu\text{V}$ **□ Calcul du u mesuré sur l'analyseur** $u \text{ dB}\mu\text{V} = 20 \cdot \log\left(\frac{u_1}{u_0}\right)$, avec $u_0 = 1 \mu\text{V}$ (car unité de mesure en μV) $50 \text{ dB}\mu\text{V} = 20 \cdot \log(u_1)$,ou $\log(u) = \frac{50}{20} = 2,5$ (valeur lue sur l'analyseur) $\Rightarrow u_1 = 316 \mu\text{V}$ **□ Calcul de Z_t de cette pince à 2 MHz**

Impédance de transfert de la pince relevée sur la courbe page 229 :

 $Z_t = 3 \text{ dB}\Omega$ à 2 MHz $Z_t \text{ dB}\Omega = 20 \cdot \log(Z_t)$ $3 \text{ dB}\Omega = 20 \cdot \log(Z_t)$,ou $\log(Z_t) = \frac{3}{20} = 0,15$ $\Rightarrow Z_t = 1,4 \Omega$

$$\square I = \frac{u}{Z_t} = \frac{316 \mu\text{V}}{1,4 \Omega} = 225 \mu\text{A}$$

□ Corrélation avec la mesure normative en tension :

(Choix de la norme EN 55011 classe A - environnement industriel)

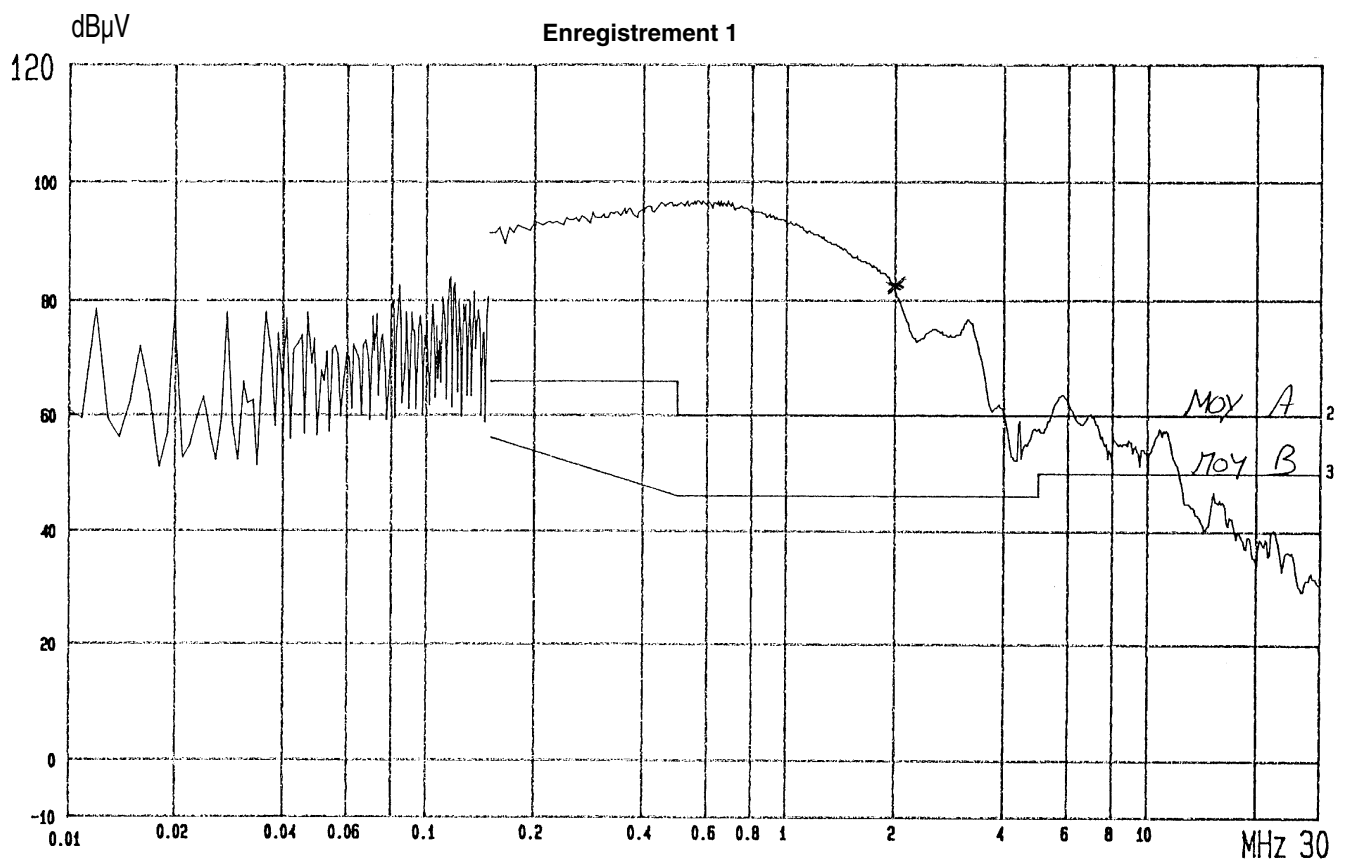
- Détection valeur moyenne correspondant à la mesure de l'analyseur HAMEG 5005

- La valeur normative à ne pas dépasser sur le gabarit à 2 MHz est de $60 \text{ dB}\mu\text{V} = 1 \text{ mV}$ - u_{RSIL} en la bo = $82 \text{ dB}\mu\text{V}$ (cf. enregistrement 1, page 233), soit 12 mV Corrélation courant/tension : $u = 50 \times I_{\text{PINCE HF}}$ $\Rightarrow u = 50 \times 0,225 = 11,2 \text{ mV}$

- Notes :**
- Compte tenu de l'approximation de la pince didactisée, la corrélation est bonne.
 - Le gabarit normatif de $60 \text{ dB}\mu\text{V}$ (c.a.d 1 mV) est dépassé car le filtre RFI (FVV) du variateur est déconnecté.

■ Relevé du bruit du banc CEM à vide :

- En laboratoire, avec RSIL
- Sans filtre RFI
- Détection valeur moyenne
- Ligne mesurée Neutre



■ Variateur avec filtre RFI (FVV) connecté

(voir relevé de mesures en figure 2, page 231)

Exemple : point de mesure à 2 MHz

⇒ $u_{\text{ANALYSEUR HAMEG}} = 25 \text{ dB}\mu\text{V}$

□ Calcul de u mesuré à l'analyseur

$$u = 25 \text{ dB}\mu\text{V} = 17 \mu\text{V}$$

□ Impédance de transfert de la pince :

$Z_t = 3 \text{ dB}\Omega$ à 2 MHz

ou $Z_t = 1,4 \Omega$ (inchangée)

$$\square I = \frac{u}{Z_t} = \frac{17\mu\text{V}}{1,4\Omega} = 12,1 \mu\text{A}$$

□ Corrélation avec la norme de mesure en tension :

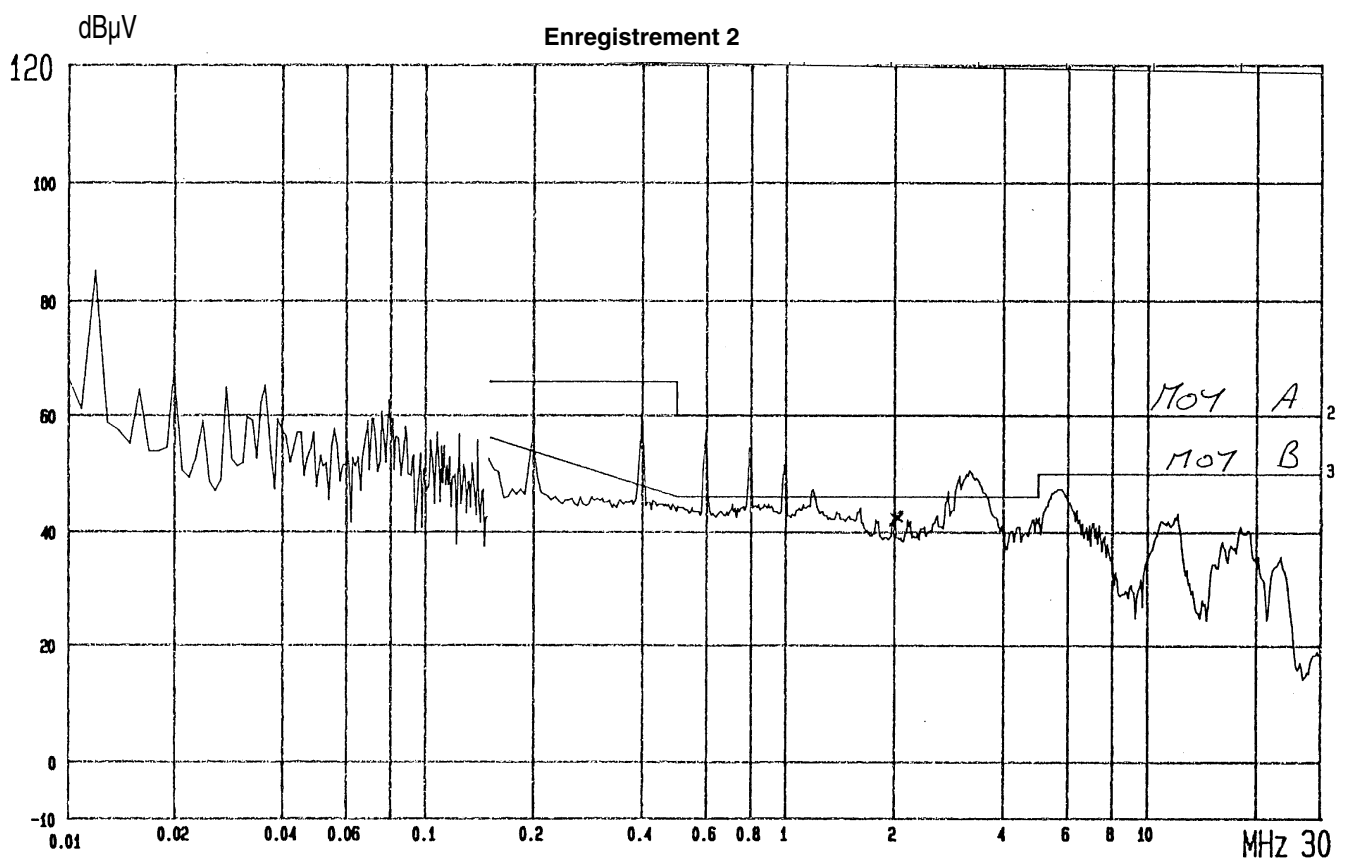
- u_{RSIL} en labo = 43 dB μ V (cf. enregistrement 2, page 235), soit 141 μ V

- Corrélation courant/tension : $u = 50 \times I_{\text{HF}}$
⇒ $u = 50 \times 12,1\mu\text{A} = 605 \mu\text{V}$

- Notes :**
- La corrélation est correcte, compte tenu des approximations faites.
 - Le gabarit normatif classe A de 60 dB μ V, soit 1 mV est respecté car le filtre RFI (FVV) du variateur est reconnecté.
 - Rappelons que la mesure est approximative, et n'a qu'un but pédagogique.
 - Les mesures à la pince HF sont surtout destinées à vérifier le bon fonctionnement d'une installation.

■ Relevé du bruit banc CEM à vide :

- En laboratoire, avec RSIL
- Avec filtre RFI
- Détection valeur moyenne
- Ligne mesurée Neutre



C - Conclusion

On met ainsi en évidence l'efficacité du filtre incorporé dans le variateur : ce variateur est conforme à la norme.

L'atténuation du filtre est de 40 dB, soit un facteur 100.



Institut Schneider Formation
CITEF S.A.
7, rue Henri. Sainte Claire Deville
92500 Rueil Malmaison - France

Ce document est la propriété de l'Institut
Schneider Formation. Il ne peut être reproduit,
même partiellement et par quelque procédé que
ce soit, sans son autorisation expresse.