

ETUDE DES PERTURBATIONS BASSE FREQUENCE

Cette quatrième partie a pour but

- d'analyser les relevés de courant effectués en amont du variateur de vitesse et de choisir le dispositif de dépollution
- d'évaluer la correction après la mise en place du dispositif de dépollution.

DEMARCHE INDUSTRIELLE

4.1 Etape 1 :

On se propose de positionner l'appareillage de mesure, d'analyser les relevés et de choisir le dispositif de dépollution.

4.2 Etape 2:

On se propose d'évaluer la correction après la mise en place du dispositif de dépollution.

Le fonctionnement du groupe moto-pompe à vitesse variable induit des phénomènes perturbateurs liés à la pollution des courants ([D.R.n°21c](#)). Dans notre application, le variateur de vitesse constitue une source de pollution.

La norme CEI 1000–3–2 (1995) précise les limites pour les émissions de courants harmoniques appelés par des appareils inférieurs à 16 A par phase.

En conséquence, à la mise en service de l'installation, il est nécessaire d'effectuer une mesure de conformité.

4.1 Partie 1- EQUIPEMENT SANS DISPOSITIF DE DEPOLLUTION

Nota : On se propose de positionner l'appareil de mesure, d'analyser les relevés et de choisir si nécessaire le dispositif de dépollution.

4.1.1- Positionner la pince wattmétrique de type F27 sur le document réponse "schéma de puissance".

REPONDRE sur le document réponse "schéma de puissance n°1" Page 10

Nota 1 : les résultats des mesures effectuées à l'aide la pince sont consignés sur le document ressource ([D.R.n°22](#)).

Nota 2 : EVALUATION DES PERTURBATIONS

La norme CEI 555 – 2 donne les limites des émissions de courants harmoniques appelés par des appareils < 16 A par phase et tolère un THD global (taux de distorsion harmonique global en %) de 18,7 % ([D.R.n°21c](#)).

4.1.2-Calculer le THD global de l'installation ([D.R.n°21a](#)) et conclure.

.....
.....
.....
.....

4.1.3- Quelles sont les conséquences d'un tel signal sur les éléments de l'armoire électrique et extérieure à celle-ci ?

Nota : Mettre en liaison pour chaque élément cité de l'armoire électrique l'(les) incidence(s) due(s) aux perturbations.

Les éléments de l'armoire électrique

- Moteur •
- Régulateur •
- Protections •
- Câbles courant fort •
- Câble courant faible •

Les incidents

- Vieillessement prématuré
- Dysfonctionnement
- Déclenchement
- Destruction

4.1.4 – Quelles sont les conséquences au niveau du fonctionnement du système d'irrigation et de sa maintenance?

.....

.....

.....

4.1.5- Pourquoi le variateur de vitesse constitue une source de pollution harmonique ?

.....

.....

.....

.....

.....

4.1.6- Quelles sont les solutions techniques préconisées par le constructeur du variateur pour limiter les effets de ces perturbations ?

.....

CHOIX DU DISPOSITIF DE DEPOLLUTION.

4.1.7- Déterminer la valeur des inductances de ligne à implanter dans le circuit. (voir [D.R.n°21b](#))

.....

4.2 – Partie 2- ETUDE EQUIPEMENT AVEC DISPOSITIF DE DEPOLLUTION

Nota : *EVALUATION DE LA DEPOLLUTION*

Une nouvelle série de mesures de conformité est consignée sur le document ressource [D.R.n°23](#).

On constate que :

- les harmoniques paires sont nuls.
- les harmoniques multiples de 3 et impaires (3 ; 9 ; 15 ; 21 ; etc.) sont nuls.

4.2.1- Pour compléter le tableau ci-dessous :

- reporter les valeurs mesurées (Hn) après dépollution ([D.R.n°23](#))
- calculer et reporter les taux d'harmoniques.

Mesures effectuées avec la pince F27		
I _{RMS}	6A	
Harmonique	Valeur mesurée	Taux d'harmonique (TH)
H01	100%
H05
H07
H11
H13

4.2.2- Calculer le THD global de l'installation après dépollution (D.R.n°21a)

.....

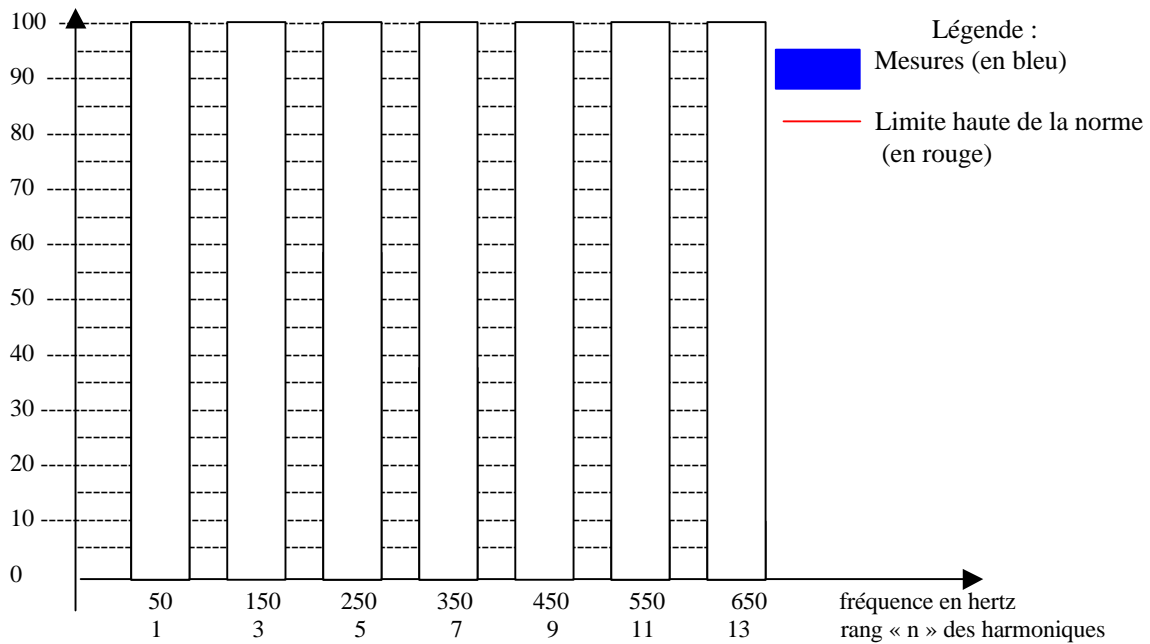
.....

.....

.....

4.2.3- Tracer la représentation spectrale du courant mesuré après dépollution et de placer sur le spectre la limite haute autorisée par la norme pour chaque harmonique.

TH en % Taux harmonique



4.2.4- Que pouvez-vous conclure ?

.....

.....

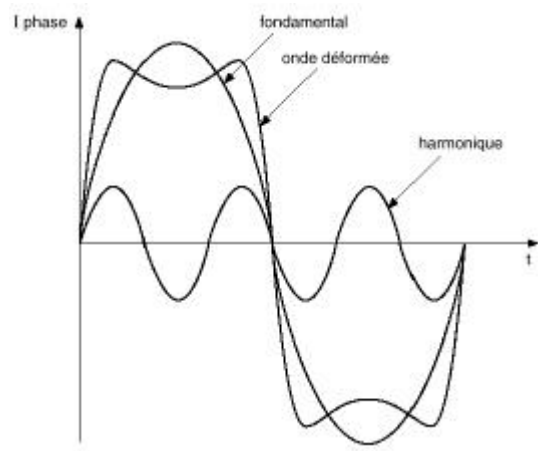
.....

QUELQUES NOTIONS SUR LES HARMONIQUES

Certains appareils (démarreurs électroniques, variateurs de vitesse, ordinateurs personnels...) contiennent des composants tels que des diodes, thyristors, bobines, condensateurs... De ce fait, ils absorbent des courants non sinusoïdaux. Ce sont des récepteurs non linéaires.

Ainsi, à chaque alternance s'ajoute à la **sinusoïde de l'onde fondamentale** un certain nombre de **signaux sinusoïdaux de phase et d'amplitude différentes. Ce sont les harmoniques.**

Exemple simple de déformation d'une sinusoïde par la superposition de l'harmonique de rang 3



Rang de l'harmonique :

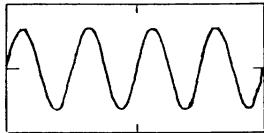
C'est le rapport de sa fréquence f_n par rapport à la fréquence fondamentale.

Rang = f_n/f_1 . Le rang 1 est celui de la fréquence fondamentale.

L'amplitude d'un rang est le rapport entre sa valeur efficace I_n (ou U_n) et la valeur de I_1 (ou U_1), exprimé en %.

- Exemples de THD suivant la forme d'ondes

Sinusoïde pure

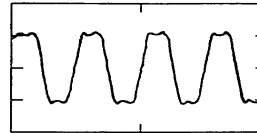


$$I_1 = 100, \quad I_2 = 0, \quad I_3 = 0, \quad I_4 = 0, \quad I_5 = 0$$

$$THD = \sqrt{\frac{0^2 + 0^2 + 0^2 + \dots + 0^2}{100^2}} = 0$$

THD = 0 %

Signal avec 20 % d'harmoniques de rang 3

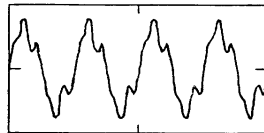


$$I_1 = 100, \quad I_2 = 0, \quad I_3 = 20, \quad I_4 = 0, \quad I_5 = 0$$

$$THD = \sqrt{\frac{0^2 + 20^2 + 0^2 + \dots + 0^2}{100^2}} = 20$$

THD = 20%

Signal avec 20 % d'harmoniques de rang 3 et 20 % de rang 5



$$I_1 = 100 \\ I_2 = 0 \\ I_3 = 20 \\ I_4 = 0 \\ I_5 = 20$$

$$THD = \sqrt{\frac{\sum I_i^2}{I_1^2}} = 100 = \sqrt{\frac{0^2 + 20^2 + 0^2 + 20^2 + 0^2}{100^2}} = 28,3$$

THD = 28,3 %

Nota : Pour les signaux typiques, la valeur du THD est :

- Sinusoïde : THD = 0 %
- Triangle : THD = 12,1 %
- Carré : THD = 46,3 %

Variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones

Altivar 66

Compatibilité électromagnétique

Inductances de ligne pour la réduction des courants harmoniques

Présentation :
pages 60122/20 et 60122/21
Références :
pages 60122/26 et 60122/27
Encombres :
page 60107/13

Caractéristiques (suite)

Courants harmoniques avec inductance de ligne

Applications à couple constant et à couple variable "faible bruit" 230 V/50 Hz (I_{cc} = 22 000 A)

Variateurs ATV-66		U41M2	U72M2	U90M2	D12M2	D16M2	D23M2	D33M2	D46M2
Puissance	kW	2,2	4	5,5	7,5	11	15	22	30
Inductance	mH	2	1	1	0,5	0,5	0,3	0,3	0,15
Courant de ligne	A	7,7	13,7	18,4	25,6	36,5	50,6	72	100,9
H1	A	7,1	12,6	17,2	23,4	34,4	46,8	67,8	93,3
H5	%	36	38	33,6	39,8	34	36,6	31,3	36,6
H7	%	12,5	14,4	10,5	15,6	10,7	12,8	9	12,7
H11	%	7,2	7,4	6,8	7,5	6,7	7,2	6,3	7,2
H13	%	3,4	3,6	3,3	3,7	3,3	3,4	3,3	3,4

Applications à couple constant et à couple variable "faible bruit" 400 V/50 Hz (I_{cc} = 22 000 A)

Variateurs ATV-66 ou ATV-66F		U41N4			U54N4	U72N4	U90N4	D12N4	D16N4	D23N4	D33N4	D46N4
Puissance	kW	0,75	1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15	22	30
Inductance	mH	10	10	4	4	4	2	2	1	1	0,5	0,5
Courant de ligne	A	2	3	5	6	8	12	15	22	28	42	55
H1	A	1,7	3,1	4,2	5,9	7,6	10	14	20	26	38	51
H5	%	65	49	42	64	55	46	60	49	43	50	44
H7	%	41	25	18	39	30	22	35	24	18	26	19
H11	%	9,5	8	7,5	8,5	8	8	7,5	8	7,5	8	7,5
H13	%	8,5	5,5	4	8	6,5	4,5	7,5	5	4	5,5	4,5
Variateurs ATV-66 ou ATV-66F		D54N4	D64N4	D79N4	C10N4	C13N4	C15N4	C19N4	C23N4	C28N4	C31N4	
Puissance	kW	37	45	55	75	90	110	132	160	200	220	
Inductance	mH	0,3	0,3	0,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,075	0,075	0,075	
Courant de ligne	A	69	81	97	136	160	194	226	277	346	370	
H1	A	62	75	91	124	148	181	213	256	325	350	
H5	%	40	50	46	38	43	39	40	37	39	37	
H7	%	16	25	21	14	19	15	16	13	14	13	
H11	%	7,5	8	8	7,5	8	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
H13	%	3,5	5,5	4,5	3,5	4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	

Nota : les taux d'harmoniques sont donnés en % par rapport au fondamental H1.

**Niveau d'émission d'harmoniques
autorisées dans les installations BT/HTA**

harmoniques impairs non multiples de 3			harmoniques impairs multiples de 3			harmoniques pairs		
rang harmonique n	tension harmonique %		rang harmonique n	tension harmonique %		rang harmonique n	tension harmonique %	
	BT/MT	HT		BT/MT	HT		BT/MT	HT
5	6	2	3	5	2	2	2	1,5
7	5	2	9	1,5	1	4	1	1
11	3,5	1,5	15	0,3	0,3	6	0,5	0,5
13	3	1,5	21	0,2	0,2	8	0,5	0,2
17	2	1	> 21	0,2	0,2	10	0,5	0,2
19	1,5	1				12	0,2	0,2
23	1,5	0,7				> 12	0,2	0,2
25	1,5	0,7						
> 25	$0,2 + \frac{12,5}{n}$							

Taux global de distorsion : 8 % dans les réseaux BT et MT - 3 % dans les réseaux HT

fig. 1 : valeurs indicatives des niveaux (cibles) de compatibilité pour les tensions harmoniques (en % de la tension nominale à la fréquence fondamentale), dans les réseaux d'énergie à HT (transport), MT et BT (extraits d'un article paru dans le numéro 123 de Electra).

□ étape 2 : acceptation sous réserve. Lorsque, pour un client donné, les limites précédentes sont dépassées, le fournisseur d'énergie définit généralement un taux de distorsion maximum au point de raccordement. Dans le cas où ces niveaux risqueraient d'être dépassés, le distributeur se réserve le droit de demander des moyens complémentaires de compensation si le taux est dépassé.

□ étape 3 : acceptation à titre exceptionnel et précaire. Lorsque les limites de l'étape 2 sont dépassées mais sans toutefois entraîner de dépassement du niveau de compatibilité parce que d'autres usagers ne créent pas d'harmoniques, l'autorisation peut être délivrée à titre précaire.

Enfin, pour clarifier le comportement des appareils générateurs d'harmoniques, certaines normes sont en cours d'élaboration ou de modification.

rang de l'harmonique	courant harmonique maximal admissible (en ampères)	
harmoniques impairs	Pour I RMS = 6 A	
3	2,3	38%
5	1,14	19%
7	0,77	12,8%
9	0,4	6%
11	0,33	5,5%
13	0,21	3,5%
15 ≤ n ≤ 39	$0,15 \times \frac{15}{n}$	
harmoniques pairs		
2	1,08	18%
4	0,43	7%
6	0,30	3%
8 ≤ n ≤ 40	$0,23 \times \frac{8}{n}$	

fig. 2 : limites des composantes harmoniques du courant en usage domestique (In ≤ 16 A).

Mise en évidence de la pollution du réseau par des harmoniques

Fréquence 50 Hz

"n" : rang de l'harmonique "Hn" amplitude de l'harmonique du rang "n"

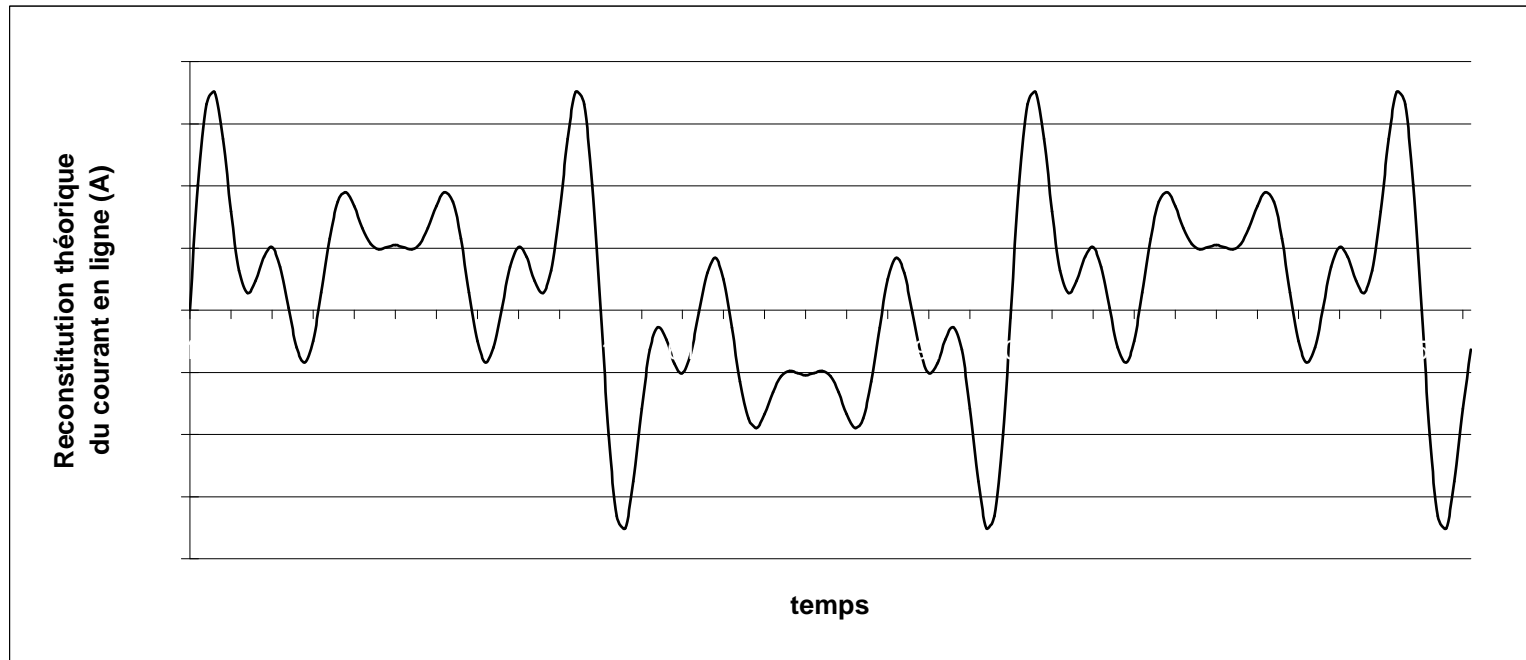
Amplitudes des courants harmoniques (A)												
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hn (A)	5,60	0,00	1,16	0,00	5,21	0,00	4,99	0,00	0,90	0,00	4,06	0,00
n	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Hn (A)	3,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

0 0

Amplitudes des courants harmoniques (%)												
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hn (%)	100,00		20,80		93,10		89,10		16,10		72,50	
n	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Hn (%)	66,50											

Echelle des temps : 1 ms/div

Echelle des courants : 5 A/div



Mise en évidence de la dépollution du réseau par des harmoniques grâce à un filtre passif

Fréquence 50 Hz

"n" : rang de l'harmonique "Hn" amplitude de l'harmonique du rang "n"

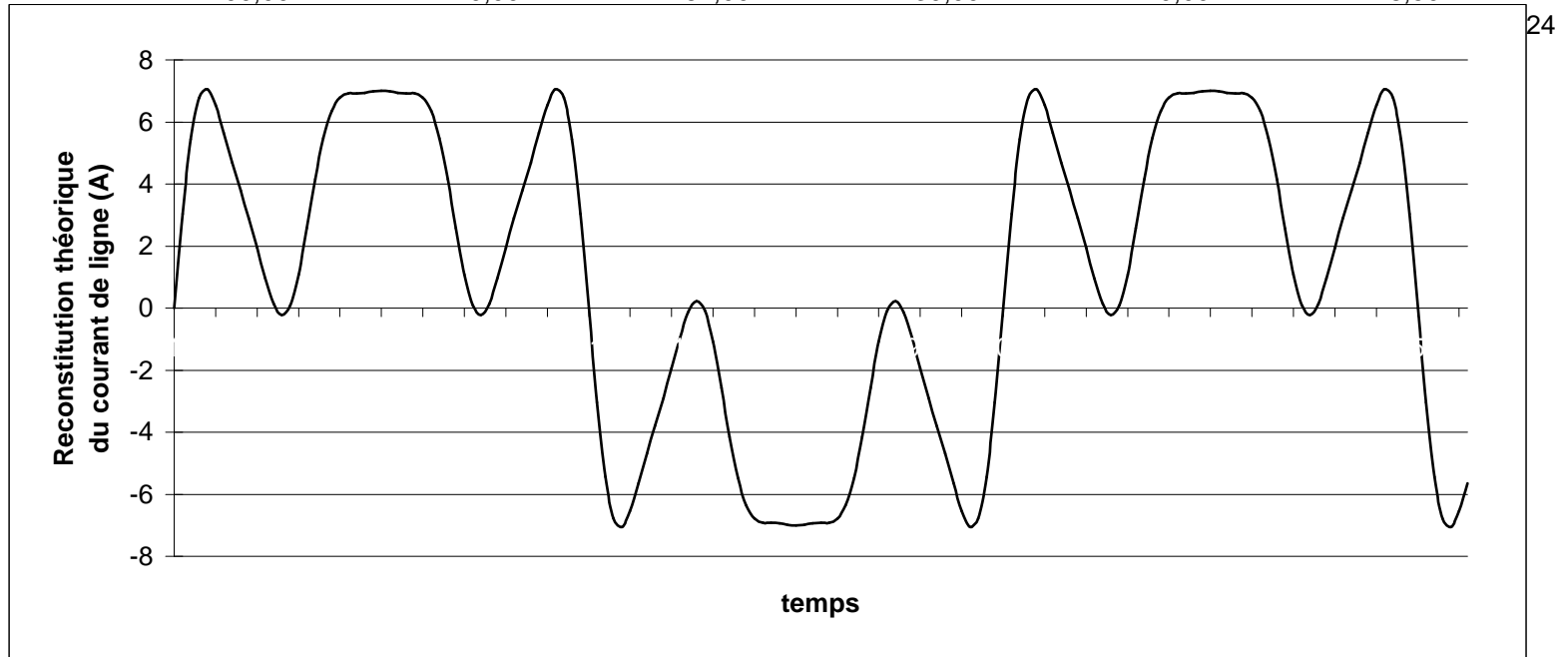
Amplitudes des courants harmoniques (A)												
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hn (A)	5,60	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00	2,18	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00
n	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Hn (A)	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

0 0

Echelle des temps : 1 ms/div

Echelle des courants : 1 A/div

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hn	100,00		0,00		64,00		39,00		0,00		8,50	



ETUDE DES PERTURBATIONS BASSE FREQUENCE

Cette quatrième partie a pour but

- d'analyser les relevés de courant effectués en amont du variateur de vitesse et de choisir le dispositif de dépollution
- d'évaluer la correction après la mise en place du dispositif de dépollution.

DEMARCHE INDUSTRIELLE

4.1 Etape 1 :

On se propose de positionner l'appareillage de mesure, d'analyser les relevés et de choisir le dispositif de dépollution.

4.2 Etape 2:

On se propose d'évaluer la correction après la mise en place du dispositif de dépollution.

Le fonctionnement du groupe moto-pompe à vitesse variable induit des phénomènes perturbateurs liés à la pollution des courants (D.R.n°21c). Dans notre application, le variateur de vitesse constitue une source de pollution.

La norme CEI 1000-3-2 (1995) précise les limites pour les émissions de courants harmoniques appelés par des appareils inférieurs à 16 A par phase.

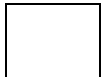
En conséquence, à la mise en service de l'installation, il est nécessaire d'effectuer une mesure de conformité.

4.1 Partie 1- EQUIPEMENT SANS DISPOSITIF DE DEPOLLUTION

Nota : On se propose de positionner l'appareil de mesure, d'analyser les relevés et de choisir si nécessaire le dispositif de dépollution.

4.1.1- Positionner la pince wattmétrique de type F27 sur le document réponse "schéma de puissance".

REPONDRE sur le document réponse "schéma de puissance n°1" Page 11



Nota 1 : les résultats des mesures effectuées à l'aide des la pince sont consignés sur le document ressource (D.R.n°22).

Nota 2 : EVALUATION DES PERTURBATIONS

La norme CEI 555 – 2 donne les limites des émissions de courants harmoniques appelés par des appareils < 16 A par phase et tolère un THD global (taux de distorsion harmonique global en %) de 18,7 % (D.R.n°21c).

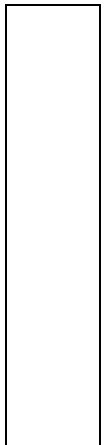
4.1.2-Calculer le THD global de l'installation (D.R.n°21a) et conclure.

REPONSE :

$$THD = \sqrt{\frac{1,22^2 + 5,49^2 + 5,25^2 + 0,94^2 + 4,27^2 + 3,92^2}{5,9^2}}$$

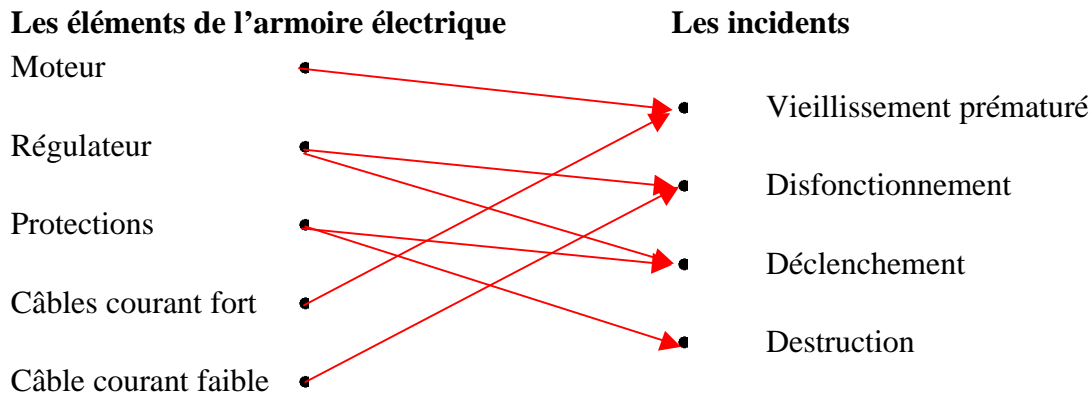
$$THD = 1,62 \Rightarrow 162\%$$

Le THD étant très supérieur à 18,7% (valeur limite haute autorisé par la norme pour des appareils < 16 A par phase), il est nécessaire de mettre un dispositif de dépollution.



4.1.3- Quelles sont les conséquences d'un tel signal sur les éléments de l'armoire électrique et extérieure à celle-ci ?

Nota :Mettre en liaison pour chaque éléments cités de l'armoire électrique l'(les) incidence(s) due(s) aux perturbations.



4.1.4 – Quelles sont les conséquences au niveau du fonctionnement du système d'irrigation et de sa maintenance?

En terme d'efficacité il y a un risque de dysfonctionnement du régulateur comandant le variateur et mauvais fonctionnement possible de la station météo.

En terme économique il y a un risque d'augmentation des interventions du service de maintenance.

4.1.5- Pourquoi le variateur de vitesse constitue une source de pollution harmonique ?

Les composants de puissance du variateur de vitesse génèrent, lors de la commutation, des courants de forme complexe n'ayant pas la même allure que la tension (charge non linéaire) à l'origine des courants harmoniques.

4.1.6- Quelles sont les solutions techniques préconisées par le constructeur du variateur pour limiter les effets de ces perturbations ?

- Câblage de l'armoire électrique :
Séparation physique des câbles de courant fort et de courant faible
Positionnement de l'appareillage
- Equipotentialité des masses
- Blindage des câbles de courant faible

CHOIX DU DISPOSITIF DE DEPOLLUTION.

4.1.7- Déterminer la valeur des inductances de ligne à implanter dans le circuit. (voir D.R.n°21b)

*Inductance de ligne pour la réduction des courants harmoniques :
Puissance 3 KW
Inductance 4 mH*

4.2 – Partie 2- ETUDE EQUIPEMENT AVEC DISPOSITIF DE DEPOLLUTION

Nota : *EVALUATION DE LA DEPOLLUTION*

Une nouvelle série de mesures de conformité est consignée sur le document ressource D.R.n°23.

On constate que :

- les harmoniques paires sont nuls.
- les harmoniques multiples de 3 et impaires (3 ; 9 ; 15 ; 21 ; etc.) sont nuls.

4.2.1- Pour compléter le tableau ci-dessous :

- reporter les valeurs mesurées (Hn) après dépollution (D.R.n°23)
- calculer et reporter les taux d'harmoniques.

Mesures effectuées avec la pince F27		
I _{RMS}	6A	
Harmonique	Valeur mesurée	Taux d'harmonique (TH)
H01	5,9A	100%
H05	3,78A	64%
H07	2,3A	39%
H11	0,5A	8,5%
H13	0,47A	8%

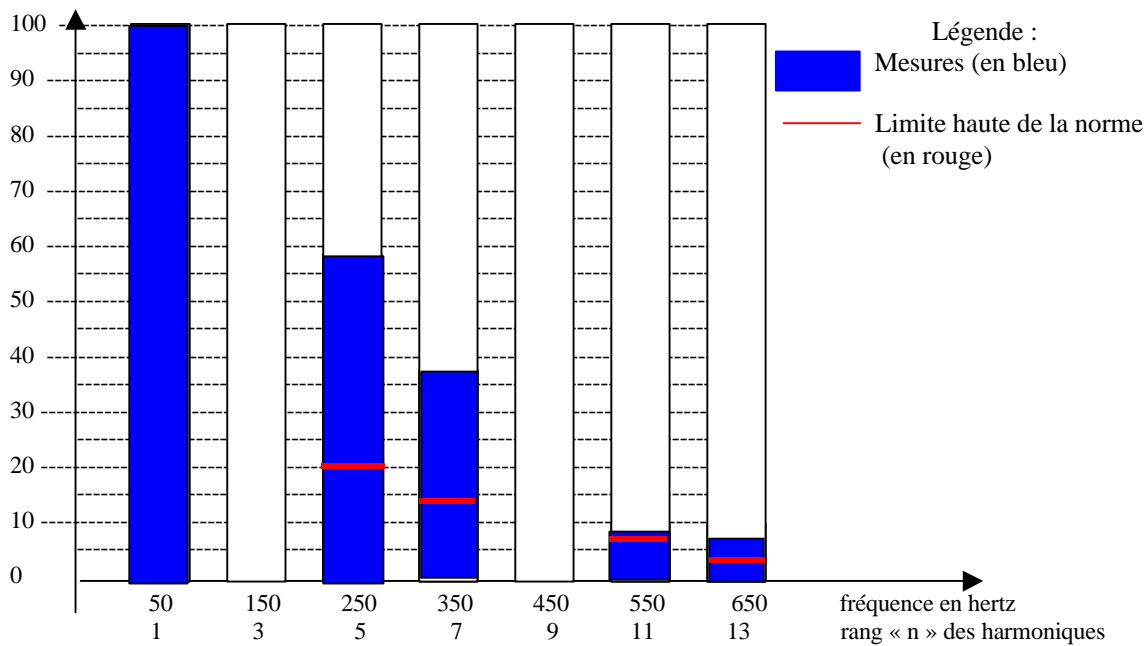
4.2.2-Calculer le THD global de l'installation après dépollution (D.R.n°21a)

$$THD = \sqrt{\frac{3,78^2 + 2,3^2 + 0,5^2 + 0,47^2}{5,9^2}}$$

$$THD = 0,0775 \Rightarrow 7,75\%$$

4.2.3- Tracer la représentation spectrale du courant mesuré après dépollution et de placer sur le spectre la limite haute autorisée par la norme pour chaque harmonique.

TH en % Taux harmonique



4.2.4- Que pouvez-vous conclure ?

Le THD est maintenant de 7,75% inférieur à 18,6% valeur haute autorisé par la norme. La dépollution est donc satisfaisante.