

Sélectivité des protections

Manuel de travaux pratiques



Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Sélectivité des protections

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.

Sommaire général

	<i>page</i>
1 Présentation	5
1.1 Présentation de l'équipement	7
1.2 Présentation de la pédagogie	8
2 Sélectivité différentielle et protection des personnes	9
2.1 Objectifs de formation	11
2.2 Travaux pratiques	13
2.3 Annexe	46
3 Sélectivité ampèremétrique	49
3.1 Objectifs et applications	51
3.2 Travaux pratiques	53
3.3 Protection d'une installation	55
3.4 La sélectivité - La limitation	68
3.5 La coupure par l'arc	94
3.6 Annexe	100



Présentation

1.1 Présentation de l'équipement

■ Cet équipement est constitué d'une structure mobile monobloc sur roulettes avec deux faces de travail recto-verso équipées et prêtes à l'emploi.

■ L'architecture de l'équipement permet une étude simultanée de 2 groupes d'élèves sur **la sélectivité chronométrique** sur une face et **la sélectivité ampèremétrique** sur l'autre face.

■ La partie basse de l'équipement renferme deux transformateurs d'isolement pour alimenter les faces séparément, un jeu de selfs dont l'impédance représente celle des liaisons électriques pour exécuter les travaux pratiques sur la face ampèremétrique et un rhéostat servant à faire circuler un courant de défaut pour exécuter les travaux pratiques sur la face chronométrique.

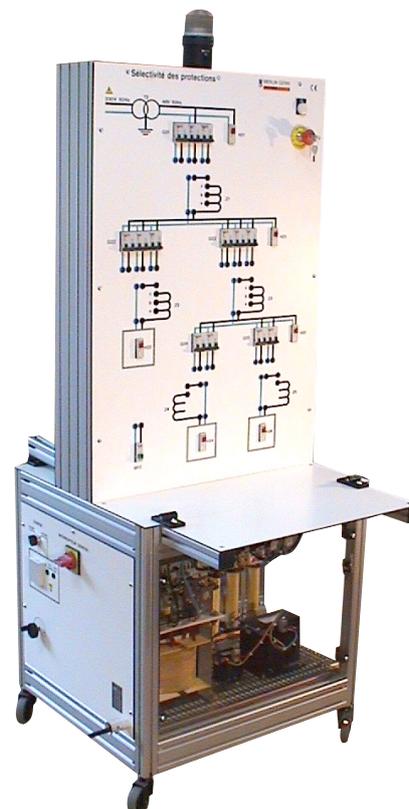
■ L'équipement est fourni avec un manuel de travaux pratiques, support pédagogique des manipulations, et une notice technique pour l'aide à la mise en service.

■ Un jeu de cordons de sécurité est également fourni, permettant de réaliser les liaisons électriques entre les différents éléments.

Face chronométrique



Face ampèremétrique



1.2 Présentation de la pédagogie

■ Objectif pédagogique

- Comprendre les principes de fonctionnement des disjoncteurs magnéto-thermiques.
- Etudier le comportement d'une installation électrique minimale en présence de défaut (surcharge ou court-circuit).
- Comprendre les principes d'utilisation des relais différentiels réglables à tore séparé.
- Mettre en oeuvre la sélectivité entre protections en amont et en aval.

■ Objectif de formation des travaux pratiques

- Utiliser et régler un relais différentiel réglable à tore séparé.
- Comprendre son fonctionnement.
- Causes et effets des courants de court-circuits, modes de calculs et choix des protections.
- Rappel du principe et des caractéristiques de fonctionnement d'un disjoncteur magnéto-thermique.
- Utilisation et tracé d'une courbe de déclenchement pour un calibre déterminé.
- Simuler les situations de sélectivité totale, sélectivité partielle, non sélectivité.
- Etudier les notions de sélectivité à 2 ou 3 étages et leurs conséquences et effets sur une installation.
- Choisir l'impédance de la boucle de défaut par des selfs de valeurs modulables.
- Présentation simplifiée de la coupure par l'arc électrique en "Très Basse Tension", et la limitation du courant de court-circuit.

■ Le manuel de travaux pratiques est destiné aux filières suivantes :

	CAP	BEP	Bac Pro	STI	BTS	DUT
Electrotechnique	<input type="checkbox"/>					
Equipements techniques - Energie		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Mécanique et Automatisme Industriel					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2

Chapitre

Sélectivité différentielle et protection des personnes

2.1 Objectifs de formation

Les objectifs de ces travaux pratiques peuvent être résumés de la façon suivante :

	découvrir	○
	approfondir	○○
	maîtriser	○○○
Outils et méthodes	Compréhension et assimilation d'un dispositif différentiel	○○
	Choix des moyens de protection d'une installation	○○
	Mise en évidence d'un courant de défaut	○○
	Application des exigences normatives	○
Savoir-faire	Lecture d'un schéma électrique	○○○
	Câblage électrique	○○○
	Mise en œuvre et réglage des appareils	○○
	La sélectivité différentielle	○○○
Composants	Dispositifs DDR	○○

Mise en évidence du référentiel du diplôme (BEP Electrotechnique)

■ Enoncé des objectifs de formation associés aux tâches définies dans les différentes manipulations.

Fonction	T1. Etude T4. Mise en service
Domaines	S1. Distribution de l'énergie S3. Installation et équipements S6. Sécurité
Connaissances	S13. Réaliser le raccordement électrique des appareils et matériels. Mesurer une intensité. S31. Décoder et traduire les instructions, un schéma électrique. Réaliser, raccorder les appareils et les matériels. Mettre en service, régler, essayer et vérifier les appareils. S62. Justifier le choix des dispositifs de protection dans les réseaux et équipements BT. S63 Justifier le choix des appareils par rapport aux conditions de sélectivité imposées. S65. Intervenir en toute sécurité sur une installation électrique en procédant aux mises hors tension nécessaire à l'exécution d'un travail.

- Compétence terminales**
- C12. Interpréter (décoder et traduire les instructions)
 - C21. Organiser (ordonner son poste de travail)
 - C31. Réaliser (raccorder les différents appareils)
 - C32. Mettre en service (régler, essayer et vérifier les appareils)
 - C41. Informer (mettre en évidence et expliquer l'intérêt des solutions retenues relatives à la protection des personnes).

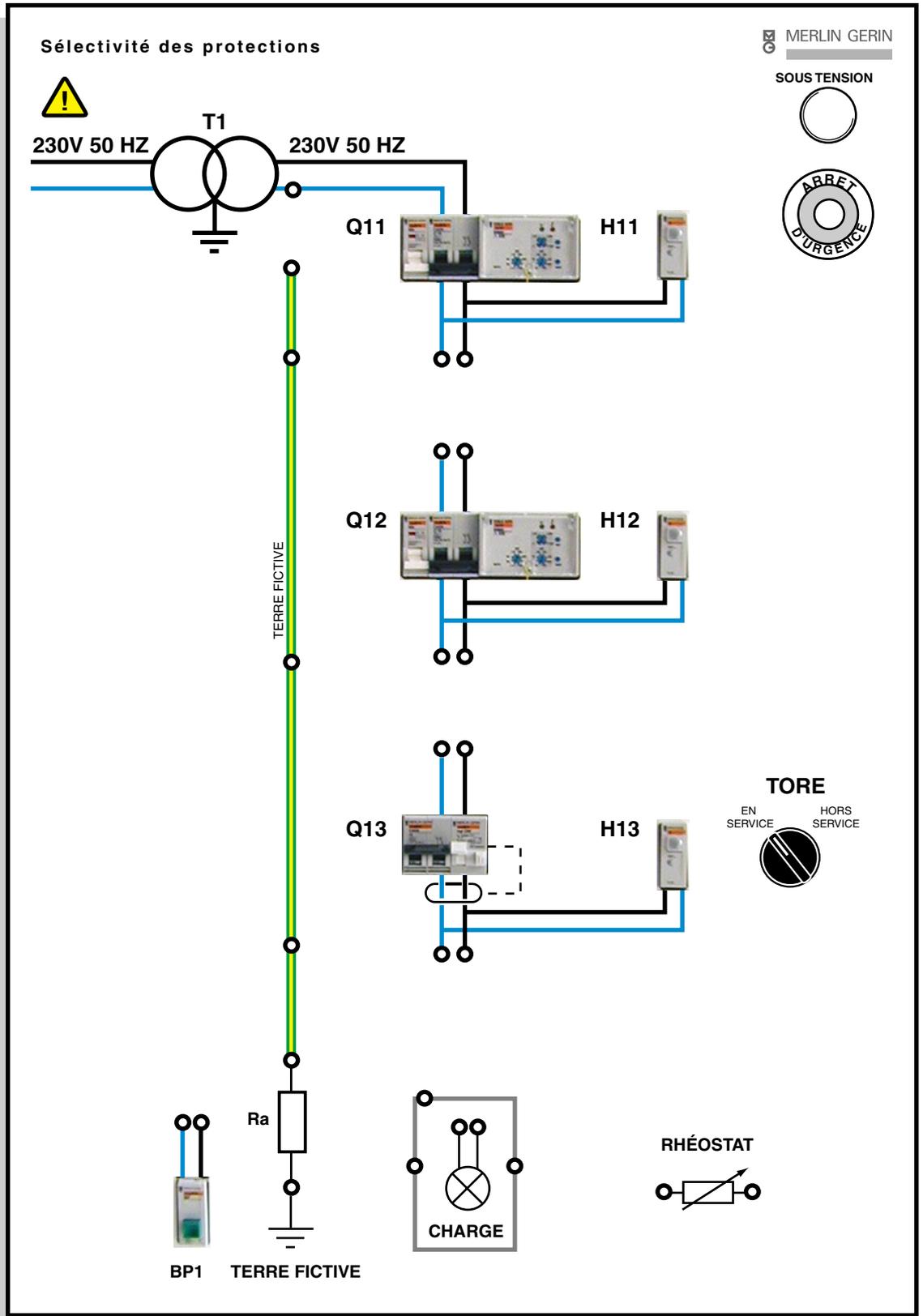
2.2 Travaux pratiques

Les travaux pratiques relatifs à la sélectivité différentielle et protection des personnes couvrent les sujet suivants :

	page
TP1 : Découverte de l'équipement pédagogique (doc. prof.)	15
TP1 : Découverte de l'équipement pédagogique (doc. élève.)	21
TP2 : Etude de la sélectivité (doc. prof.)	27
TP2 : Etude de la sélectivité (doc. élève.)	31
TP3 : L'intensité de défaut est supérieure à $I_{\Delta n}$	35
TP4 : Les sensibilités des DDR sont identiques et $I_d > I_{\Delta n}$	37
TP5 : L'intensité de défaut est inférieure à $I_{\Delta n}$	39
TP6 : La temporisation ne peut être suffisante	41
TP7 : $I_{\Delta n}$ amont supérieur ou égal à deux fois $I_{\Delta n}$ aval	43
TP8 : La temporisation avec trois niveaux	45

TP1

Découverte de l'équipement pédagogique



TP1
1/5Découverte de l'équipement
pédagogique

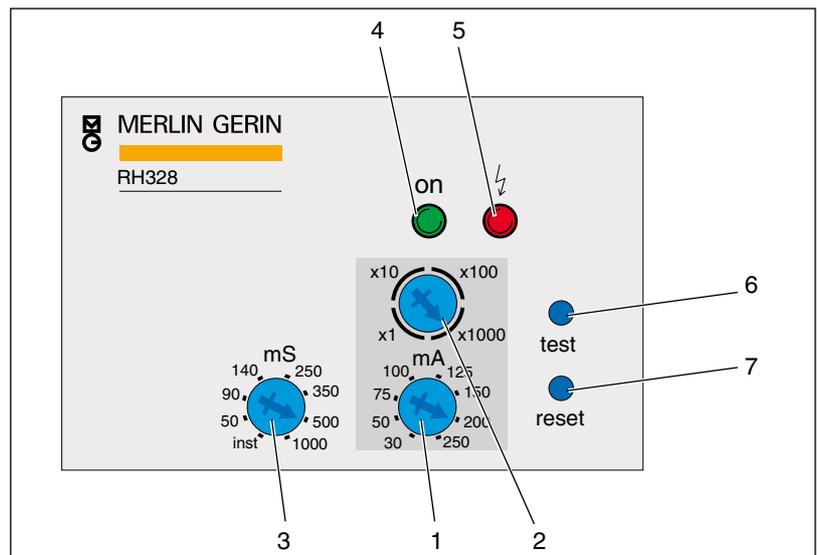
Document professeur

■ Objectifs

Compétence	Etre capable de contrôler la sélectivité des appareils
Savoir technologique associés	Distribution de l'énergie électrique (S1)
Pré-requis	Fonction différentielle Notions de sensibilité et de temporisation

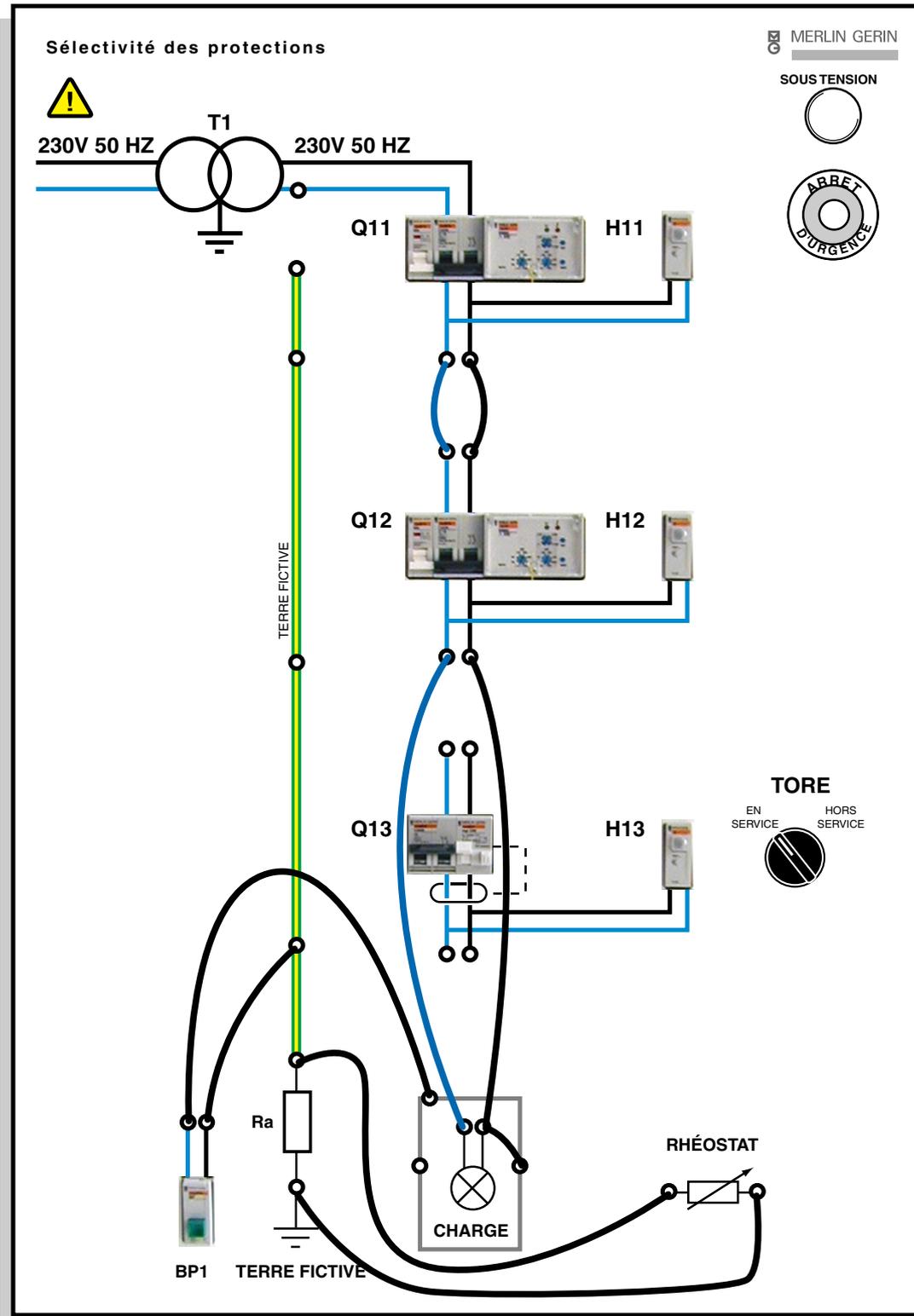
Travail demandé **A - Banc hors tension**

- 1 - Repérer les appareils, les identifier en marquant leur nom sur l'illustration page suivante.
- 2 - Compléter le dessin ci-dessous, et donner les fonctions de chacun des repères.



Repère Fonctions

- | | |
|---|--|
| 1 | <i>Réglage du seuil nominal $I\Delta n$</i> |
| 2 | <i>Réglage du multiplicateur</i> |
| 3 | <i>Réglage de temporisation de retard</i> |
| 4 | <i>Voyant présence tension</i> |
| 5 | <i>Voyant de défaut : allumé au déclenchement du "Reset"</i> |
| 6 | <i>Bouton "Test" : contrôle le fonctionnement de l'appareil.</i> |
| 7 | <i>Bouton "Reset" : réarmement de l'appareil</i> |



TP1
3/5

Découverte de l'équipement
pédagogique

Document professeur

3 - Indiquer les points de réglages qui permettent :

de fixer la sensibilité de l'appareil ?

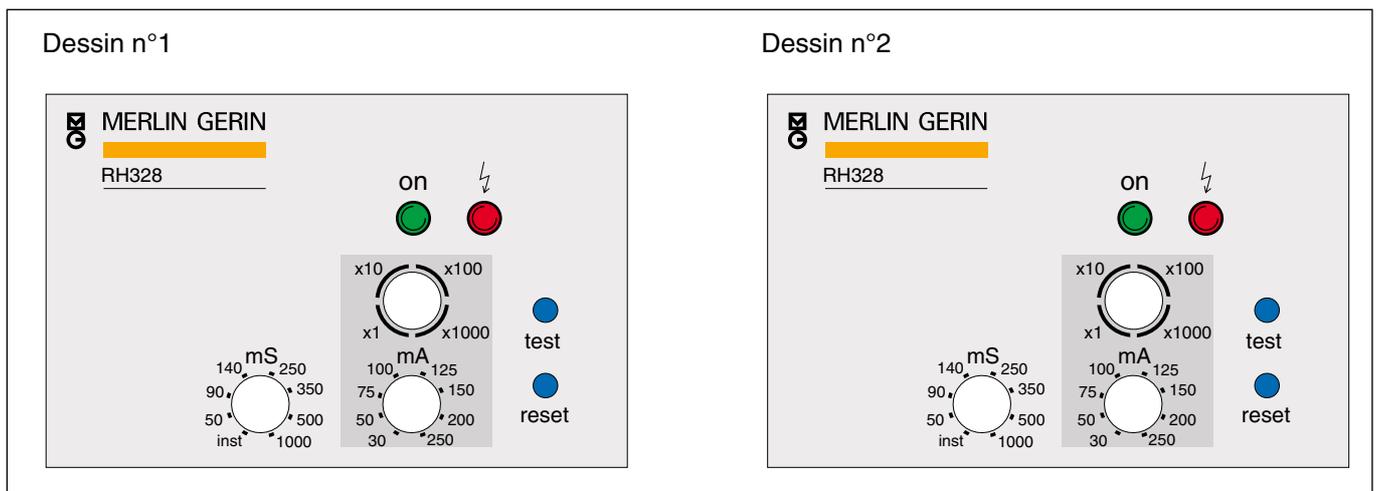
1 et 2

de fixer la temporisation ?

3

4 - A l'aide d'un petit tournevis, positionner sur un seul appareil les flèches des points de réglage repérés 1,2,3 de la façon suivante : 50 mA ; x1 ; 50 ms.

Indiquer le réglage sur le dessin n°1 en le complétant. Indiquer de même sur le dessin n°2 le réglage 500 mA 90 ms.



B - Appareil sous tension : lampe 100 Watts

5 - Réaliser le câblage selon l'illustration ci-contre.

TP1 4/5	Découverte de l'équipement pédagogique	Document professeur
-------------------	---	----------------------------

6 - Demander au professeur la mise sous tension du banc et constater.

7 - Appuyer sur les boutons "Test" et "Reset" des RH328A.
Expliquer

Le BP "Test" provoque le basculement du RH328A en défaut et le déclenchement du disjoncteur associé. Le BP "Reset" réarme le RH328A. Le disjoncteur peut être alors réarmé.

8 - Actionner le BP. Constater.

Déclenchement instantané des deux RH328A

9 - Régler la temporisation des deux RH238A à 1000 ms. Appuyer sur le BP "Défaut". Combien de temps la lampe reste-t-elle allumée ?

1 seconde, puis déclenchement des deux RH328A.

10- Compléter le tableau ci-dessous en indiquant la temporisation en secondes, et la sensibilité en ampères. Indiquer aussi les réglages à faire pour obtenir les sensibilités et les temporisations des quatre dernières lignes du tableau.

Repère 1	Repère 2	Repère 3	Sensibilité (A)	Temporisation (s)
30	x1	<i>Inst</i>		
75	x10	<i>50</i>		
150	x100	<i>140</i>		
250	x10	<i>350</i>		
200	x1000	<i>500</i>		
30	x10	<i>1000</i>		
			1	0,25
			1,25	1
			3	0,05
			0,5	0,5

TP1
5/5Découverte de l'équipement
pédagogique

Document professeur

11- Positionner le commutateur sur "Protection différentielle hors service" (TORE). Actionner le BP. Constat.

Le disjoncteur Q12 ne se déclenche pas.

Le disjoncteur Q11 se déclenche.

12- Quel composant mesure le défaut, et à quel appareil envoie-t-il l'information ?

Le tore détecte le courant de défaut et envoie l'information à une électronique de commande du relais de déclenchement.

13- Comment cette information est-elle traitée par l'appareil ? Dites ce qu'il se passe dans le banc quand :

le défaut est inférieur à la sensibilité

si $0 < I_d < I_{\Delta n}/2$: rien ne se passe

si $I_{\Delta n}/2 < I_d < I_{\Delta n}$: le tore affiche une pré-alarme

le défaut est supérieur à la sensibilité

si $I_d \geq I_{\Delta n}$, déclenchement du relais et transmission d'un ordre d'ouverture au disjoncteur.

14- Expliquer le rôle de la temporisation RH328A.

La temporisation retarde la transmission de l'ordre d'ouverture du relais, permettant la suppression du défaut par le déclenchement d'une protection placée en aval.

TP1
1/5Découverte de l'équipement
pédagogique

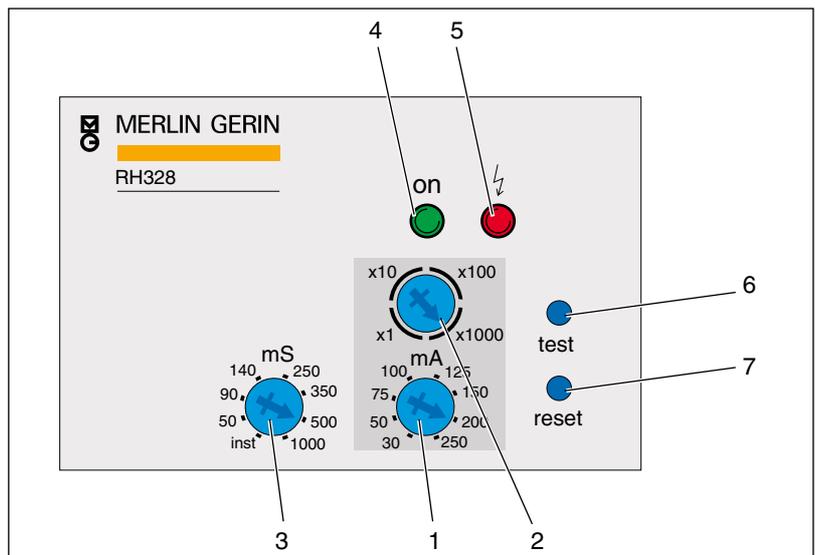
Document élève

■ Objectifs

Compétence	Etre capable de contrôler la sélectivité des appareils
Savoir technologique associés	Distribution de l'énergie électrique (S1)
Pré-requis	Fonction différentielle Notions de sensibilité et de temporisation

Travail demandé **A - Banc hors tension**

- 1 - Repérer les appareils, les identifier en marquant leur nom sur l'illustration page suivante.
- 2 - Compléter le dessin ci-dessous, et donner les fonctions de chacun des repères.



Repère Fonctions

1

2

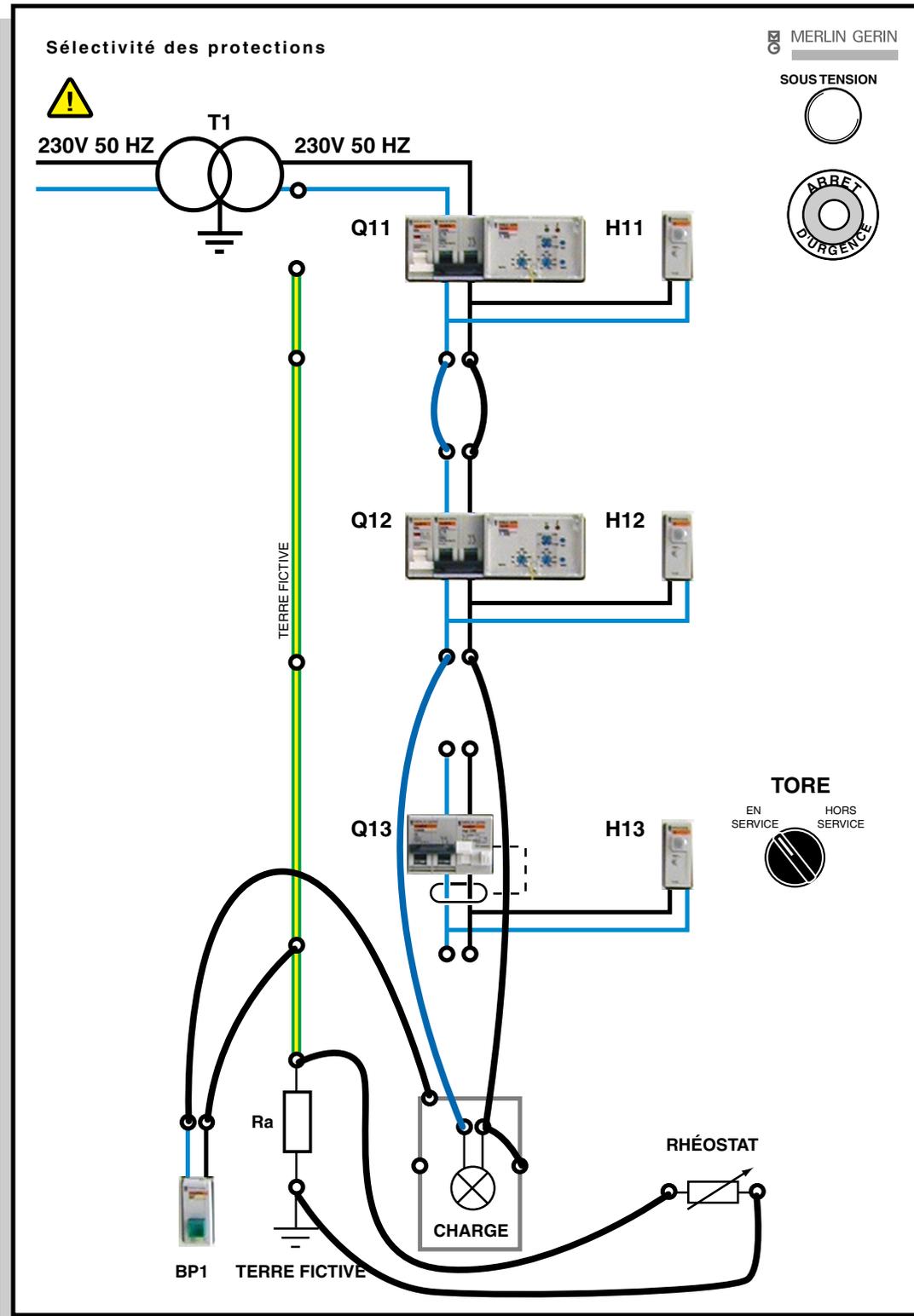
3

4

5

6

7



TP1
3/5

Découverte de l'équipement
pédagogique

Document élève

3 - Indiquer les points de réglages qui permettent :

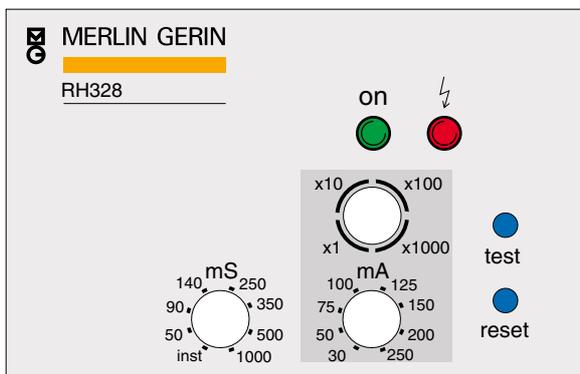
de fixer la sensibilité de l'appareil ?

de fixer la temporisation ?

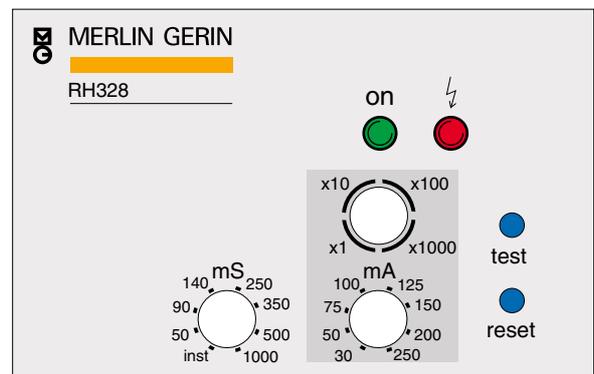
4 - A l'aide d'un petit tournevis, positionner sur un seul appareil les flèches des points de réglage repérés 1,2,3 de la façon suivante : 50 mA ; x1 ; 50 ms.

Indiquer le réglage sur le dessin n°1 en le complétant. Indiquer de même sur le dessin n°2 le réglage 500 mA 90 ms.

Dessin n°1



Dessin n°2



B - Appareil sous tension : lampe 100 Watts

Réaliser le câblage selon l'illustration ci-contre.

TP1
4/5

**Découverte de l'équipement
pédagogique**

Document élève

5 - Demander au professeur la mise sous tension de la banc et constater.

6 - Appuyer sur les boutons "Test" et "Reset" des RH328A.
Expliquer

7 - Actionner le BP. Constater.

8 - Régler la temporisation des deux RH238A à 1000 ms. Appuyer sur le BP "Défaut". Combien de temps la lampe reste-t-elle allumée ?

9 - Compléter le tableau ci-dessous en indiquant la temporisation en secondes, et la sensibilité en ampères. Indiquer aussi les réglages à faire pour obtenir les sensibilités et les temporisations des quatre dernières lignes du tableau.

Repère 1	Repère 2	Repère 3	Sensibilité (A)	Temporisation (s)
30	x1			
75	x10			
150	x100			
250	x10			
200	x1000			
30	x10			
			1	0,25
			1,25	1
			3	0,05
			0,5	0,5

TP1
5/5

Découverte de l'équipement
pédagogique

Document élève

10- Positionner le commutateur sur "Protect. diff. hors service".
Actionner le BP. Constat.

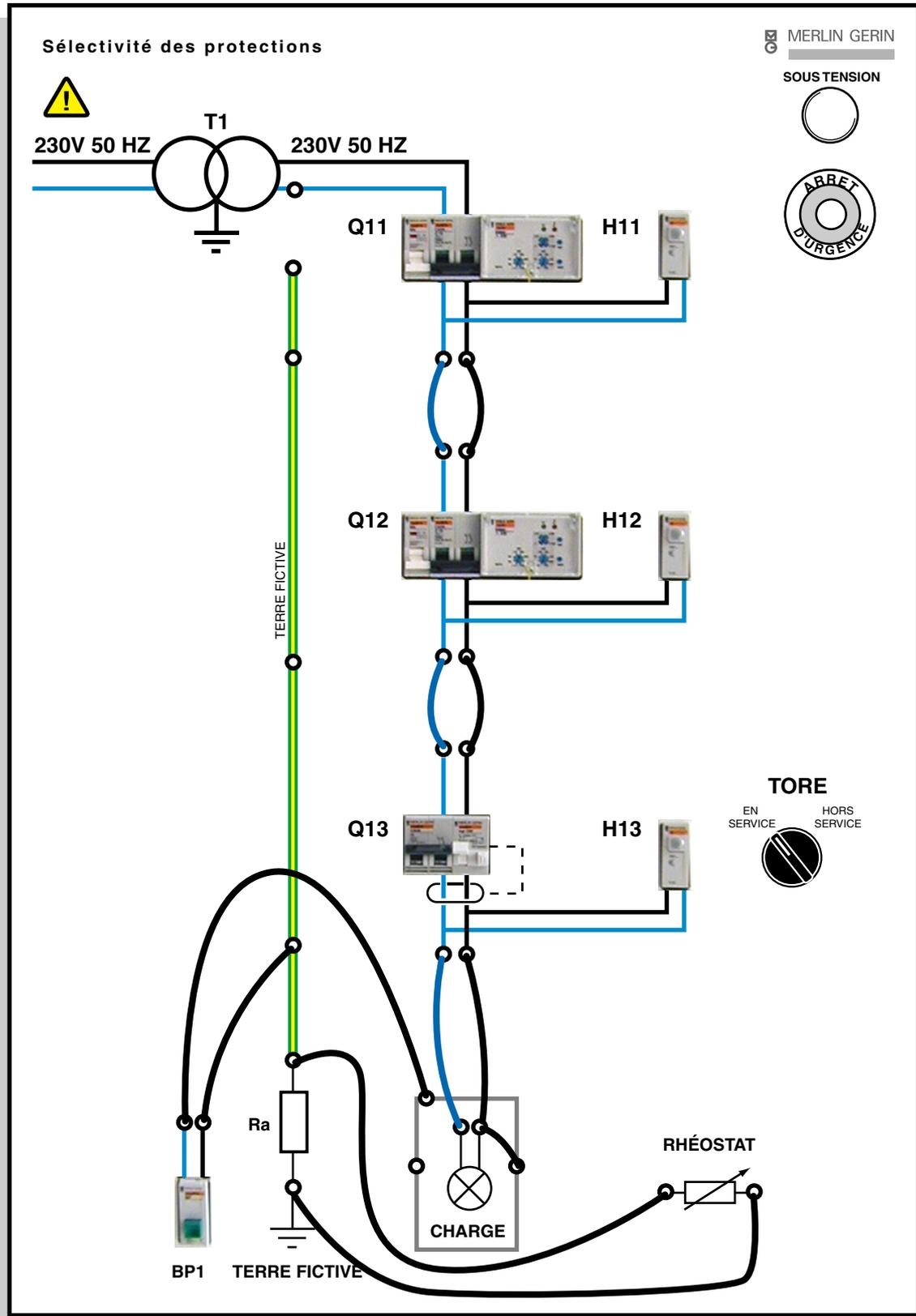
11- Quel composant mesure le défaut, et à quel appareil envoie-t-il l'information ?

12- Comment cette information est elle traitée par l'appareil ? Dites ce qu'il se passe dans le banc quand :

le défaut est inférieur à la sensibilité

le défaut est supérieur à la sensibilité

13- Expliquer le rôle de la temporisation RH328A.



■ Objectifs

Compétence Etre capable de contrôler et d'effectuer la sélectivité des appareils.

Savoirs technologiques associés Distribution de l'énergie électrique (S1)

Pré-requis Fonction différentielle
Notion de sensibilité et de temporisation

**A - banc sous tension : lampe 100 Watts**

Après chaque essai remettre en service les VIGIREX.

1 - Réaliser le câblage selon l'illustration page suivante.

2 - Régler les deux VIGIREX à 30 mA instantanée. Appuyer sur le BP "Défaut". Constater.

Déclenchement simultané des trois appareils.

3 - Régler les deux VIGIREX amont à 30 mA 50 ms. Appuyer sur le BP "Défaut". Constater.

Déclenchement de 30 mA instantané, suivi du déclenchement retardé des deux VIGIREX temporisés à 50 ms.

4 - Régler les deux VIGIREX amont à 30 mA 90 ms. Appuyer sur le BP "Défaut". Constater.

Déclenchement du Q13 instantané, non déclenchement des deux modules VIGIREX.

5 - Conclure sur les trois essais précédents.

Le courant de défaut très supérieur au courant nominal de déclenchement provoque l'ouverture des trois appareils. Une temporisation de 50 ms ne suffit pas.

6 - Régler les deux VIGIREX Q11 et Q12 à 250 mA instantané. Créer un défaut en amont de Q13. Constater.

Déclenchement simultané des trois appareils.

7 - Temporiser les deux VIGIREX amont à 50 ms. Créer le défaut. Constater.

Déclenchement de 30 mA instantané, suivi du déclenchement retardé des deux VIGIREX temporisés à 50 ms.

8 - Temporiser les deux VIGIREX amont à 90 ms. Créer le défaut. Constater.

Déclenchement du Q13 instantané, non déclenchement des deux modules VIGIREX.

9 - Conclure sur tous les essais réalisés.

Le courant de défaut très supérieur au courant nominal de déclenchement provoque l'ouverture des trois appareils. Une temporisation de 50 ms ne suffit pas.

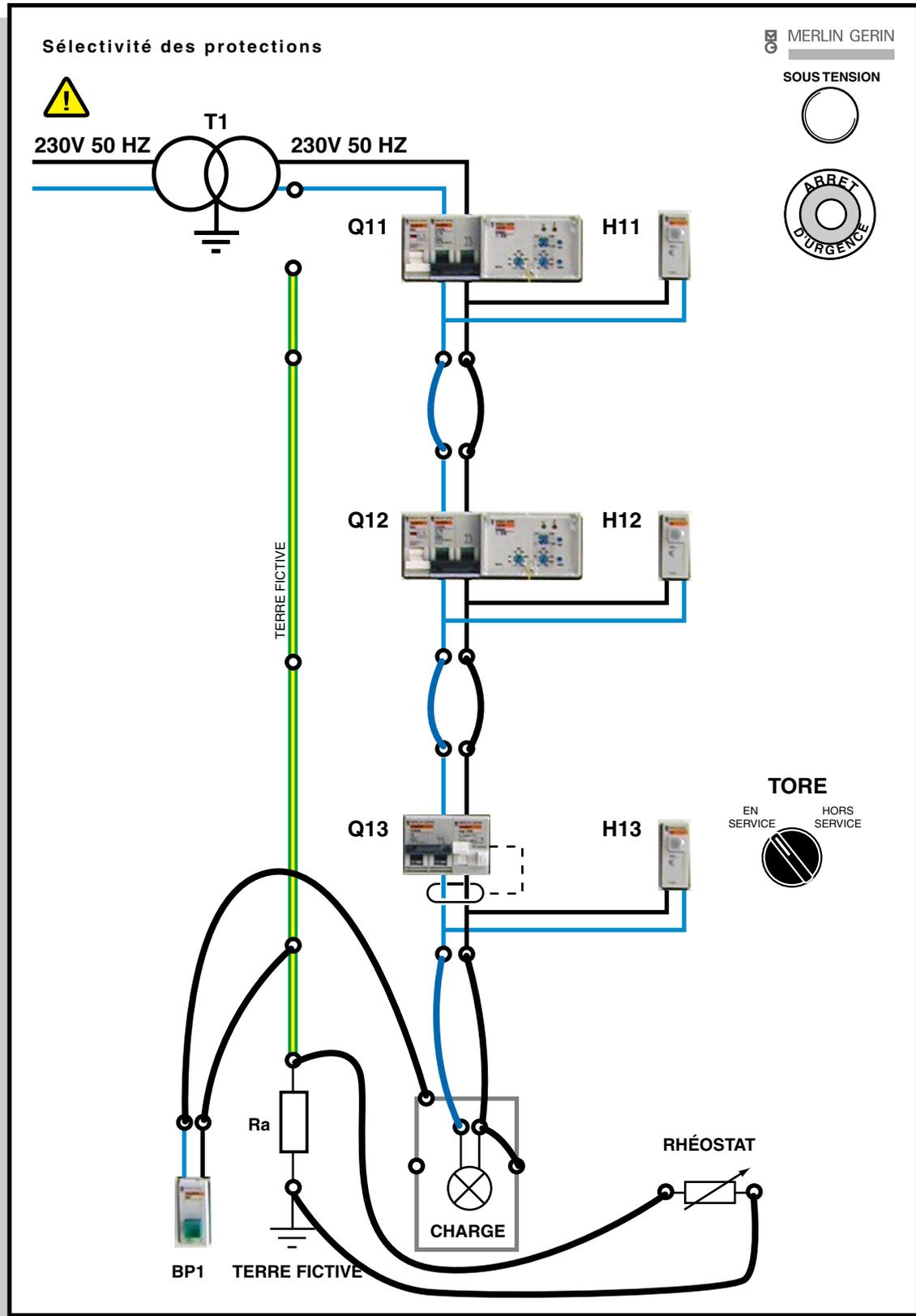
B - Banc sous tension : rhéostat au maximum



Demander au professeur de configurer le banc avec les deux VIGIREX amont réglés à 1A.

10- Régler le VIGIREX amont à 1A 90 ms, le deuxième à 30 mA 50 ms. Créer le défaut. Constater.

11- Régler le VIGIREX amont à 250 mA 90 ms, le deuxième à 250 mA 50 ms. Créer le défaut. Constater.



TP2
2/3

Etude de la sélectivité

Document élève

■ Objectifs**Compétence** Etre capable de contrôler et d'effectuer la sélectivité des appareils.**Savoirs technologiques associés** Distribution de l'énergie électrique (S1)**Pré-requis** Fonction différentielle
Notion de sensibilité et de temporisation**A - banc sous tension : lampe 100 Watts****Après chaque essai remettre en service les VIGIREX.****1** - Réaliser le câblage selon l'illustration page suivante.**2** - Régler les deux VIGIREX à 30 mA instantanée. Appuyer sur le BP "Défaut". Constater.**3** - Régler les deux VIGIREX amont à 30 mA 50 ms. Appuyer sur le BP "Défaut". Constater.**4** - Régler les deux VIGIREX amont à 30 mA 90 ms. Appuyer sur le BP "Défaut". Constater.**5** - Conclure sur les trois essais précédents.**6** - Régler les deux VIGIREX Q11 et Q12 à 250 mA instantané. Créer un défaut en amont de Q13. Constater.

7 - Temporiser les deux VIGIREX amont à 50 ms. Créer le défaut. Constaté.

8 - Temporiser les deux VIGIREX amont à 90 ms. Créer le défaut. Constaté.

9 - Conclure sur tous les essais réalisés.

B - Banc sous tension : rhéostat au maximum



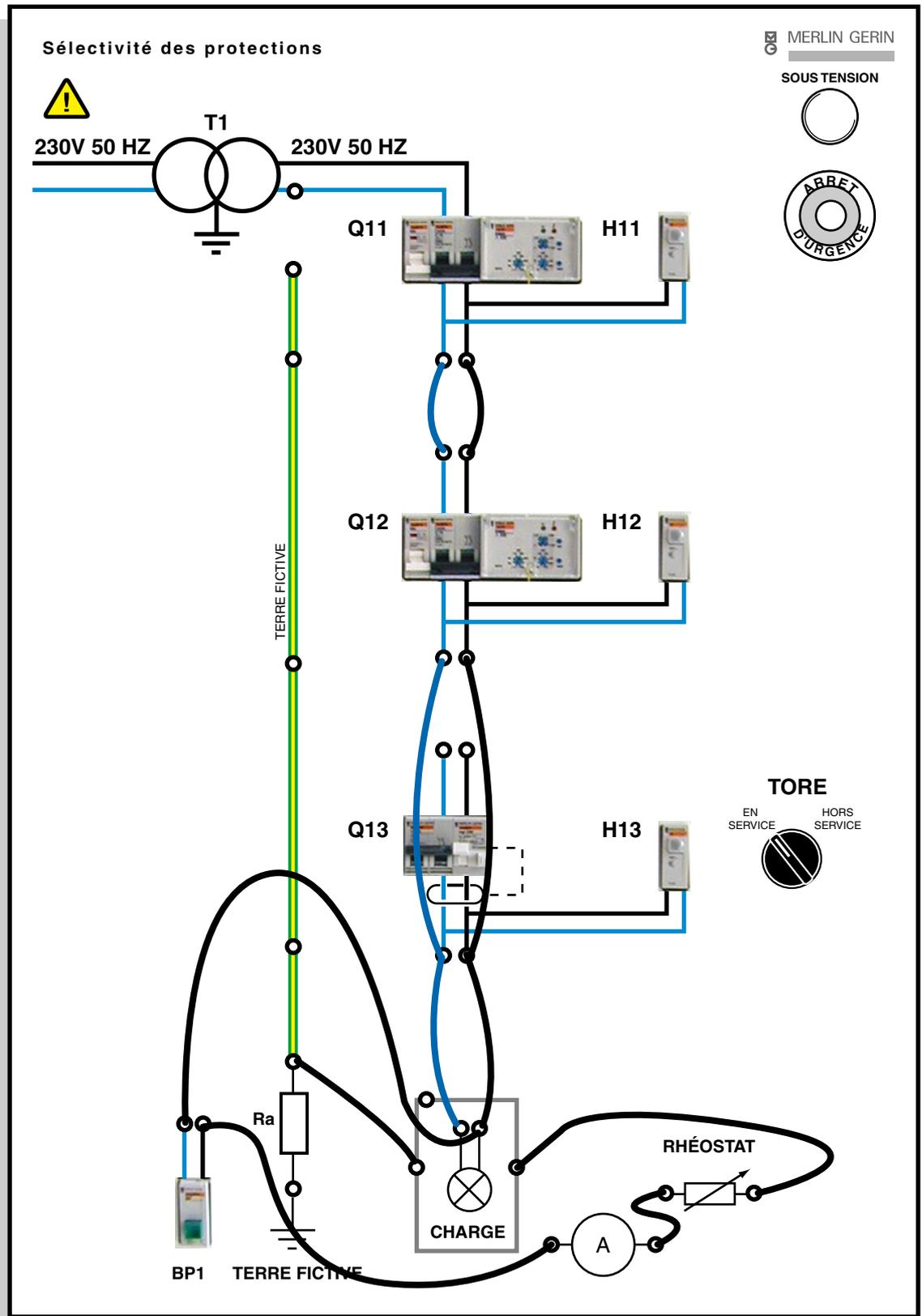
Demander au professeur de configurer le banc avec les deux VIGIREX amont réglés à 1A.

10- Régler le VIGIREX amont à 1A 90 ms, le deuxième à 30 mA 50 ms. Créer le défaut. Constaté.

11- Régler le VIGIREX amont à 250 mA 90 ms, le deuxième à 250 mA 50 ms. Créer le défaut. Constaté.

TP3
1/2

L'intensité de défaut est supérieure à $I_{\Delta n}$

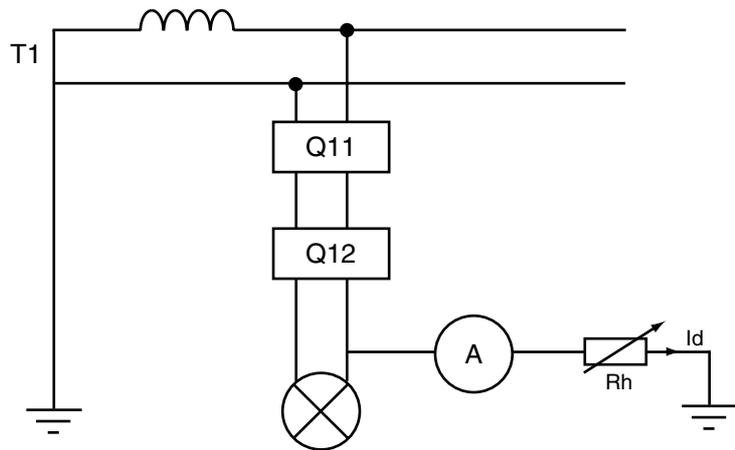


TP3
2/2

L'intensité de défaut est supérieure à $I_{\Delta n}$

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q11 à Q13).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la page suivante.

Schéma équivalent :



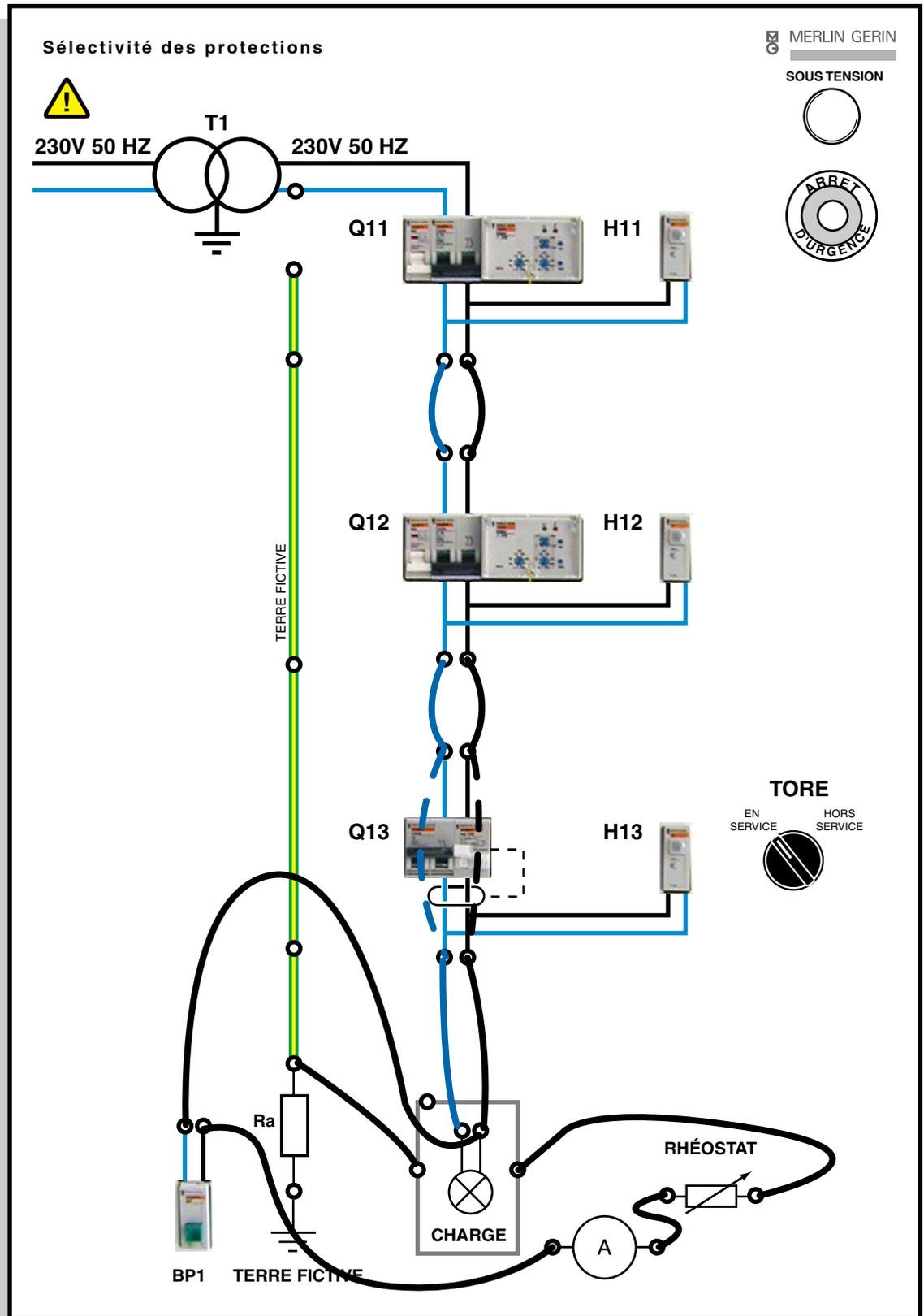
- 3 - Régler le VIGIREX Q11 à 1000 mA instantané et Q12 à 30 mA instantané.
Régler le rhéostat au maximum (I_d mini).
- Mettre la protection différentielle de Q12 hors service.
- 4 - Mettre sous tension au format Q11 et Q12
- 5 - Créer un défaut en appuyant sur BP1. Relever la valeur de I_d .
- 6 - Mettre la protection différentielle de Q12 en service, et appuyer sur BP1. Constater.

Note : Après le fonctionnement du VIGIREX, appuyer sur "Reset" et réarmer le disjoncteur pour remettre en service.

Conclusion : Lorsque l'intensité de défaut I_d est supérieure à $I_{\Delta n}$, la protection différentielle fait déclencher le disjoncteur.

TP4
1/2

Les sensibilités des DDR sont identiques et $I_d > I_{\Delta n}$

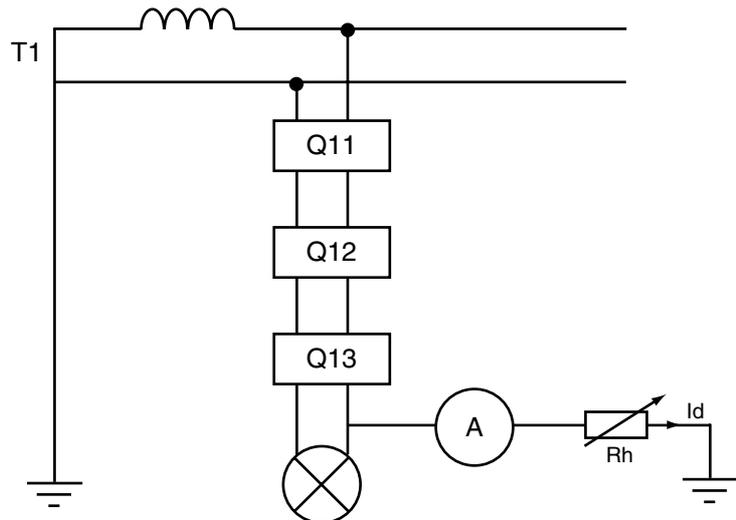


TP4
2/2

Les sensibilités des DDR sont identiques
et $I_d > I_{\Delta n}$

- 1 - Ouvrir les organes de coupures (Q11 à Q13)
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la page suivante.

Schéma équivalent :



- 3 - Court-circuiter le disjoncteur Q13 avec deux cordons (montage amont-aval).
Régler les VIGIREX Q11 et Q12 à 30 mA instantané.
Mettre la protection différentielle de Q12 hors-service.
- 4 - Mettre sous tension en fermant Q11 et Q12.
- 5 - Créer un défaut en appuyant sur BP1. Constater.

- 6 - Mettre la protection différentielle de Q12 en service et réarmer Q11. Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.

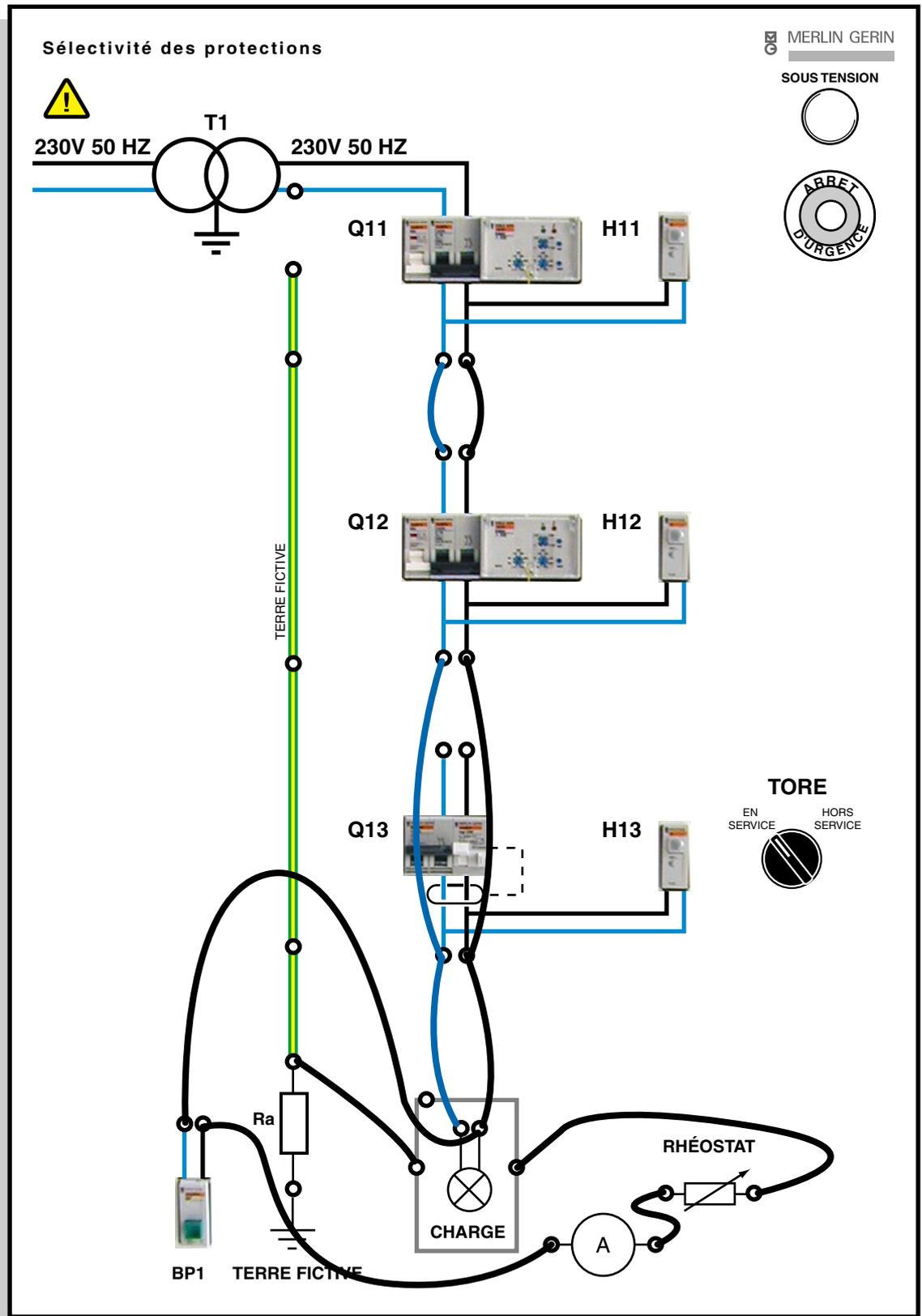
- 7 - Supprimer les ponts amont-aval de Q13. Réarmer Q11 et Q12.
Fermer Q13.
Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.

Note : Après le fonctionnement du VIGIREX, appuyer sur "Reset" et réarmer le disjoncteur pour remettre en service.

Conclusion : Pour un même réglage de la sensibilité des dispositifs différentiels résiduel (DDR), tous les disjoncteurs monté en cascade déclenchent en même temps.

TP5
1/2

L'intensité de défaut est inférieure à $I_{\Delta n}$

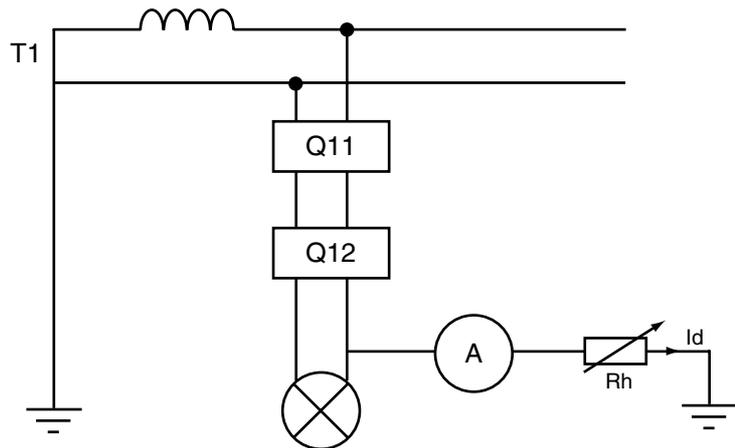


TP5
2/2

L'intensité de défaut est inférieure à $I\Delta n$

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q11 à Q13).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la page suivante.

Schéma équivalent :



- 3 - Régler le VIGIREX Q11 à 500 mA temporisé à 1000 ms et Q12 à 500 mA instantané.
Régler le rhéostat au maximum (I_d mini, ou conserver le réglage des manipulations précédentes).
Mettre la protection différentielle de Q12 hors service.

- 4 - Mettre sous tension en fermant Q11 et Q12.

- 5 - Créer un défaut en appuyant sur BP1. Relever la valeur de I_d . Constater.

- 6 - Mettre la protection différentielle de Q12 en service. Réarmer Q11.
Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.

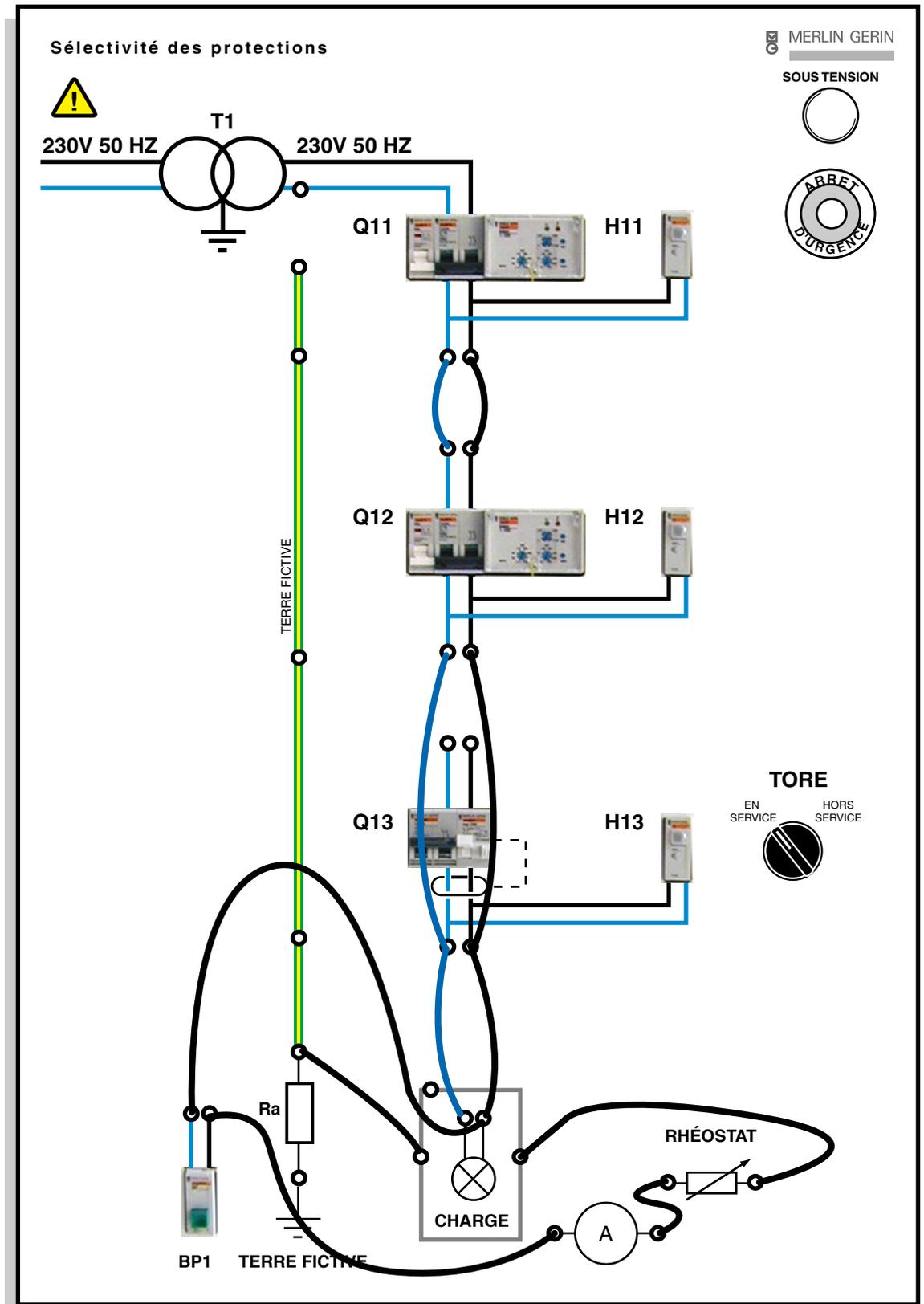
- 7 - Régler le VIGIREX de Q11 à 500 mA instantané. Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.

Note : Après le fonctionnement du VIGIREX, appuyer sur "Reset" et réarmer le disjoncteur pour remettre en service.

Conclusion : La temporisation donne un retard au déclenchement.
Le dispositif instantané déclenche avant le temporisé.
Il y a un déclenchement même lorsque I_d est inférieure à $I\Delta n$.

TP6
1/2

La temporisation ne peut être suffisante

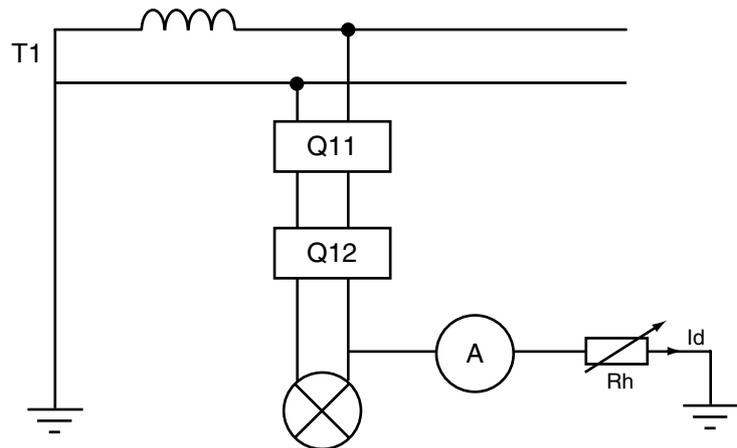


TP6
2/2

La temporisation ne peut être suffisante

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q11 à Q13).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la page suivante.

Schéma équivalent :



- 3 - Régler les VIGIREX Q11 et Q12 à 750 mA instantané. Régler le rhéostat au maximum (I_d mini, ou conserver le réglage des manipulations précédentes). Mettre la protection différentielle de Q12 hors service.
- 4 - Mettre sous tension en fermant Q11 et Q12.
- 5 - Créer un défaut en appuyant sur BP1. Relever la valeur de I_d . Agir sur le rhéostat pour augmenter la valeur de I_d en la contrôlant à l'ampèremètre (BP1 reste appuyé). Constater.
- 6 - Noter la valeur de I_d pour le déclenchement de Q11.
- 7 - Réarmer Q11 et mettre la protection différentielle de Q1 en service. Appuyer sur BP1.
- 8 - Si Q12 ne se déclenche pas, réarmer Q11, augmenter I_d par petite variations (trois tours à la fois) du rhéostat. Créer le défaut en appuyant sur BP1.
- 9 - Relever la valeur de I_d lorsque Q11 et Q12 déclenchent en même temps.

Note : Après le déclenchement, régler Q12 sur 1000 mA et mettre la protection différentielle de Q12 hors service.

10- Régler le VIGIREX Q11 à 750 mA retardé 50 ms, et Q12 à 750 mA instantané. Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.

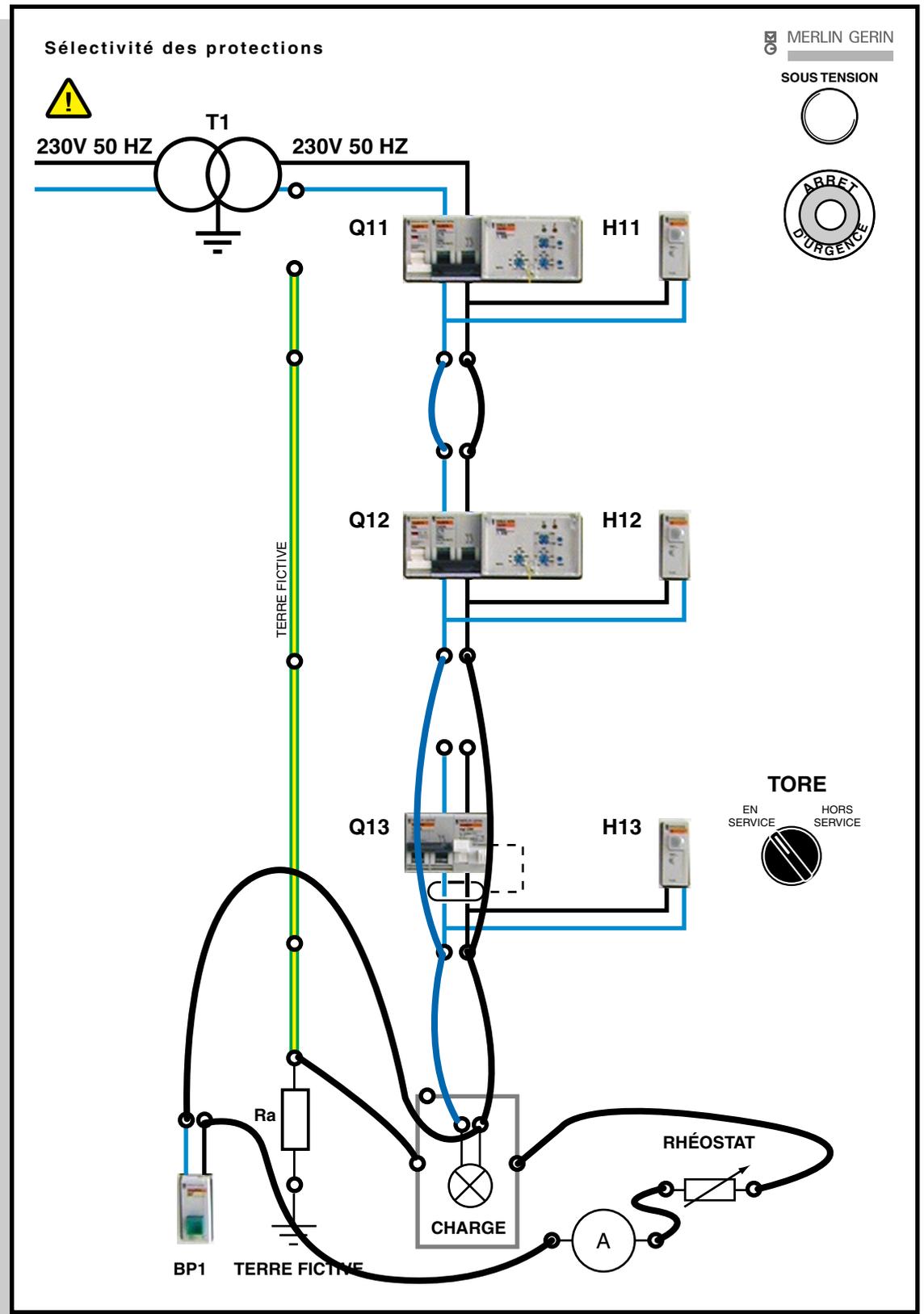
11- Régler le VIGIREX de Q11 sur 750 mA retardé 90 ms. Le réglage de Q12 reste inchangé. Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.

Note : Après le fonctionnement du VIGIREX, appuyer sur "Reset" et réarmer le disjoncteur pour remettre en service.

Conclusion : Même avec I_d inférieur à $I_{\Delta n}$, la temporisation est nécessaire et doit être suffisante pour éviter le déclenchement simultané des DDR en cascade.

TP7
1/2

$I\Delta n$ amont supérieur ou égal à deux fois
 $I\Delta n$ aval

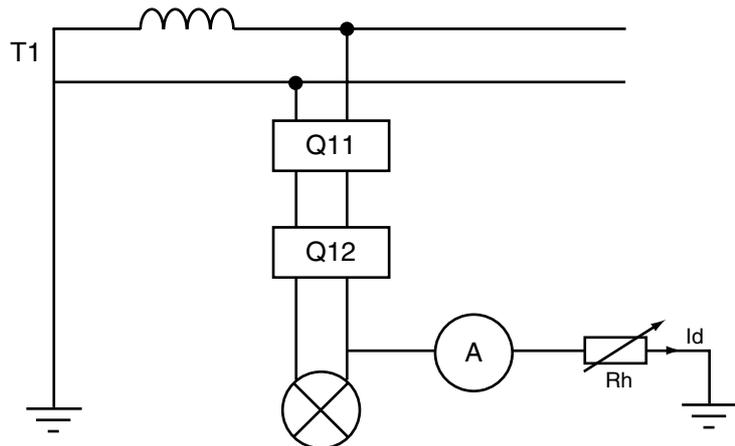


TP7
2/2

$I\Delta n$ amont supérieur ou égal à deux fois
 $I\Delta n$ aval

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q11 à Q13).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la page suivante.

Schéma équivalent :



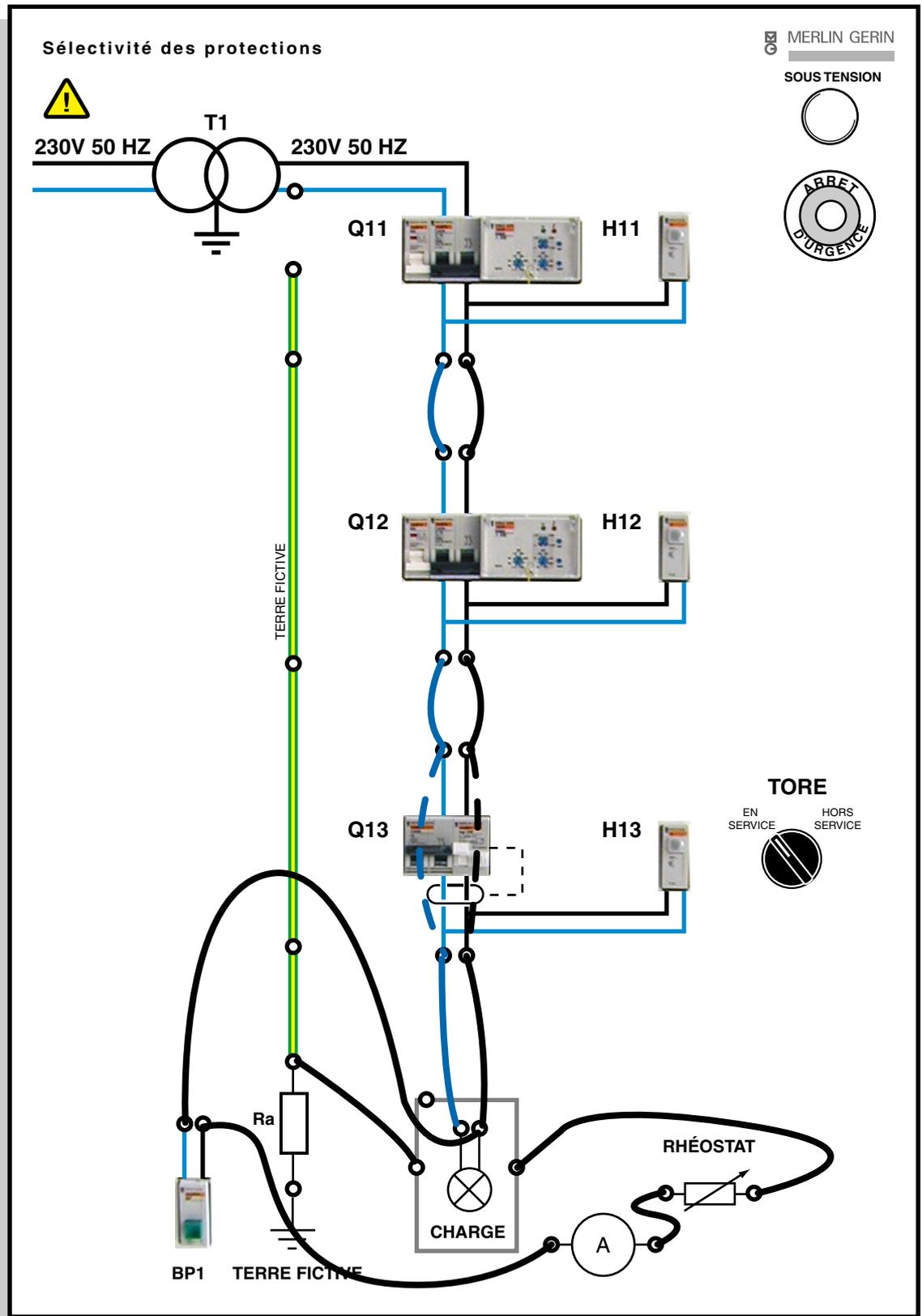
- 3 - Régler les VIGIREX Q11 et Q12 à 750 mA instantané
- 4 - Régler le rhéostat au maximum (I_d mini, ou conserver le réglage des manipulations précédentes). Mettre la protection différentielle de Q12 hors service.
- 5 - Mettre sous tension en fermant q11 et Q12
- 6 - Créer un défaut en appuyant sur BP1. Relever la valeur de I_d . Agir sur le rhéostat pour augmenter la valeur de I_d à 3 Ampères en la contrôlant à l'ampèremètre (BP1 reste appuyé).
- 7 - Régler le VIGIREX Q11 à 3 A instantané et Q12 à 30 mA instantané.
- 8 - Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.
- 9 - Régler le retard du VIGIREX Q11 à 50 ms ; réarmer. Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.
- 10- Régler le retard du VIGIREX Q11 à 90 ms. Le réglage de Q12 reste inchangé. Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.
- 11- Indiquer le réglage de temporisation minimum assurant la sélectivité.

Note : Après le fonctionnement du VIGIREX, appuyer sur "Reset" et réarmer le disjoncteur pour remettre en service.

Conclusion : Lorsque le courant de défaut I_d est supérieur ou égal à $I\Delta n$ amont, la temporisation est nécessaire pour une bonne sélectivité.

TP8
1/2

La temporisation avec trois niveaux

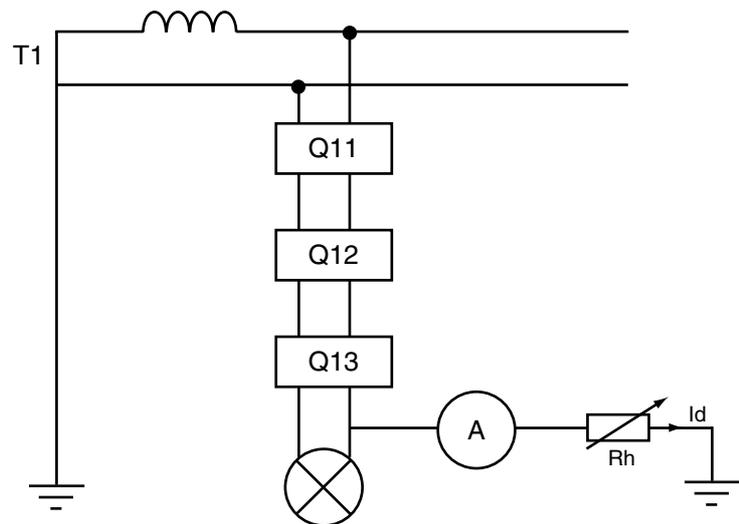


TP8
2/2

La temporisation avec trois niveaux

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q11 à Q13).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la page suivante.

Schéma équivalent :



3 - Court-circuiter le disjoncteur Q13 avec deux cordons (montage amont-aval). Régler les VIGIREX Q11 et Q12 à 7500mA. Mettre la protection différentielle de Q12 en service. Mettre sous tension en fermant Q11 et Q12.

Régler le rhéostat pour avoir $I_d = 3 \text{ A}$ (contrôle à l'ampèremètre).

4 - Régler les VIGIREX Q11 à 1000 mA instantané et Q12 à 300 mA instantané.

5 - Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.

6 - Régler la temporisation de Q11 à 90 ms. Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.

7 - Ouvrir Q11 et Q12. Enlever les ponts sur Q13. Mettre sous tension en fermant Q11, Q12, et Q13.

8 - Créer un défaut en appuyant sur BP1. Constater.

9 - Régler le retard de Q12 à 50 ms, réarmer, créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.

10- Ouvrir Q11 et Q12. Remettre les ponts sur Q13. Remettre en service Q11 et Q12. Créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.

11- Régler le retard de Q11 à 140 ms ; réarmer, créer le défaut en appuyant sur BP1. Constater.

12- Enlever les ponts sur Q13, réarmer, créer le défaut. Constater.

Note : Après le fonctionnement du VIGIREX, appuyer sur "Reset" et réarmer le disjoncteur pour remettre en service.

Conclusion : Pour que la sélectivité soit bien assurée, il faut $I_{\Delta n \text{ amont}} > 2 \times I_{\Delta n \text{ aval}}$ et une temporisation bien réglée an amont du DDR instantané.

2.3 Annexe

Protection différentielle

Extrait de la norme NF C 15-100

■ Rôle des dispositifs différentiels

Les dispositifs différentiels à courant résiduel (DR) ont été conçus pour assurer une protection complémentaire des personnes et des biens contre les contacts directs et indirects.

Ils sont destinés à détecter les courants de défaut à la terre survenant en aval de leur point d'installation. Le risque d'élévation et de maintien des masses à une tension dangereuse doit être éliminé par coupure automatique de l'alimentation dans un temps compatible avec la sécurité des personnes.

■ Principe de la protection différentielle

Un dispositif différentiel comporte un circuit magnétique en forme de tore sur lequel sont bobinés les conducteurs de puissance. Un bobinage secondaire alimente un relais. Lorsqu'un défaut affecte le circuit en aval du dispositif DR l'équilibre vectoriel est rompu et le bobinage secondaire est traversé par un courant $I_{\Delta r}$ proportionnel au courant de défaut qui assurera le fonctionnement du relais.

La fonction DR peut être

- incluse dans un disjoncteur. il s'appellera disjoncteur différentiel,
- incluse dans un interrupteur. il prends le nom d'interrupteur différentiel,
- à l'origine de l'ouverture d'un dispositif de coupure distinct dans le cas d'un relais différentiel.

■ Sensibilité et classe

Les dispositifs différentiels résiduels sont caractérisés par leur courant différentiel nominal $I_{\Delta n}$ et par leur classe qui définit le temps de coupure total suivant la courbe de sécurité et en fonction de la valeur du courant différentiel.

Par construction, le seuil de fonctionnement $I_{\Delta f}$ d'un dispositif DR se situe entre 50 et 100% de $I_{\Delta n}$.

La norme NF C 60-130 comporte deux classifications :

a) Temps de coupure

Les dispositifs DR sont définis en fonction de 4 classes :

T 01, T 02, T 1, T 2.

Dans chaque classe, la norme impose ces temps limites de fonctionnement pour 3 valeurs de courant de défaut : $I_{\Delta n}$, $2 I_{\Delta n}$, $10 I_{\Delta n}$.

b) Retard intentionnel

- Trois types :
- type 1 pas de retard
 - type 2 retard nominal 50ms
 - type 3 retard nominal 400ms

■ Dispositif anti-transitoire

Bien que sans danger pour l'utilisateur les courants de fuites transitoires provoquent le déclenchement des dispositifs différentiels.

Ces perturbations sont d'origines diverses

- décharges atmosphériques
- capacité de fuite de conducteurs chauffants noyés dans la dalle
- condensateurs d'antiparasitage sur micro-ordinateur etc...

Les dispositifs anti-transitoires permettent de limiter les risques de déclenchement intempestifs.

symbole : 

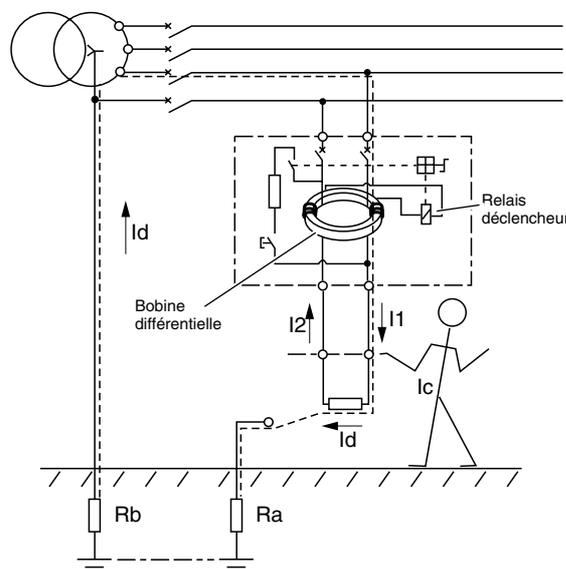
■ Courant à composante continue

L'appareillage électrique qui comporte des dispositifs redresseurs, tels que diodes, triacs, etc... génère en cas de défaut d'isolement des courants de fuite qui ne sont pas intégralement détectés par les dispositifs différentiels classiques (type AC).

Les interrupteurs différentiels à composante continue (dits de type A) permettent de détecter ces courants de défaut.

symbole : 

■ Principe



I_1 : courant "d'arrivée" au récepteur

I_2 : courant "de sortie" du récepteur

I_{Δ} : courant de défaut

I_c : courant corporel si contact avec masse en défaut

RB : prise de terre du neutre

RA : prise de terre des masses

en cas de défaut : $I_1 = I_2 + I_{\Delta}$

$I_1 > I_2$ déséquilibre dans le tore, induction magnétique dans la bobine sonde, action du relais déclencheur

☞ déclenchement

Appellation	Valeur nominale	Classe	Appareil Type 1		
			Temps de fonctionnement maximal (ms) en fonction de I_{Δ}		
			$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$10I_{\Delta n}$
Haute sensibilité (HS)	6 12 30 mA	T01	1000	150	30
		ou T02	200	100	30
Moyenne sensibilité (ms)	100 300 500	T1	1000	200	150
		ou T2	200	100	100
	650 mA 1 A				
	3 5 10A				

 valeurs usuelles

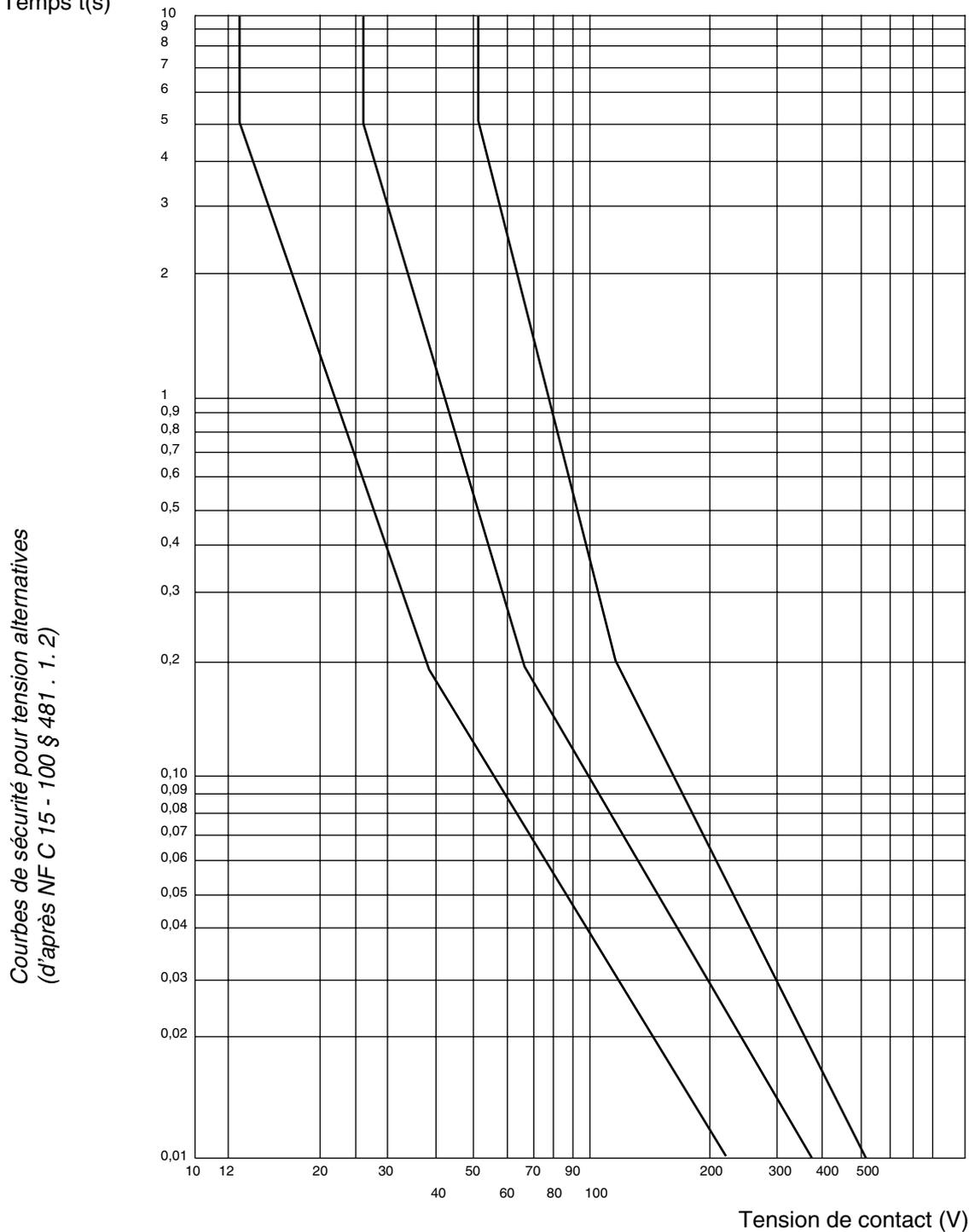
Distribution basse tension : protections des personnes

■ Protection contre les contacts indirects

La norme NF C 15 - 100 présente une classification très détaillée des différents locaux en fonction de nombreux paramètres, prenant en compte des conditions d'environnement et d'utilisations.

Selon le type de local, elle définit trois tensions de sécurité, (12, 25, 50 V) ces tensions dites non dangereuses écoulent dans le corps humain un courant inférieur à 25 mA. Le danger du courant électrique étant fonction de la durée de sa durée de passage, il a été établi trois courbes de sécurité.

Temps t(s)



3

Chapitre

Sélectivité ampèremétrique

3.1 Objectifs et applications

■ **Ce banc** a pour objectifs d'étudier le comportement d'une installation électrique minimale en présence de défaut (surcharge ou court-circuit) :

- quelles en sont les conséquences sur le matériel ?
- peut-on assurer une continuité de service ?
- pourquoi et comment protéger un réseau de distribution ?
- que signifie la sélectivité ?

Voici quelques thèmes abordés au travers de manipulations sur ce banc.

■ Une approche théorique préalable est demandée, par recherches d'informations, dans des documents tels que les Cahiers techniques, édités par MERLIN GERIN :

- n° 126 Sélectivité des protections en BT - Le système SELLIM
- n° 154 Technique de coupure des disjoncteurs Basse Tension
- n° 158 Calcul des courants de court-circuit
- n° 163 Coupure en BT par limitation de courant
- n° 167 La sélectivité énergétique en BT

■ Cette partie théorique est complétée par des travaux pratiques permettant la visualisation d'un événement (création d'un défaut volontaire).

Par souci de sécurité, ce banc est alimenté sous une tension de 48 V alternatif et les calibres des disjoncteurs choisis de faibles valeurs.

■ **Applications :**

■ **Choix des protections :**

- Causes et effets des courants de court-circuits, modes de calculs et choix des protections (notions simples).
- Rappels du principe et des caractéristiques de fonctionnement d'un disjoncteur magnéto-thermique.
- Tracé d'une courbe de déclenchement pour un calibre déterminé.
- Présentation des diverses courbes de déclenchement pour la gamme C60N.

■ **Notion de sélectivité :**

- De par la structure arborescente du réseau simulé, et par association de disjoncteurs (calibres et courbes différents), on peut simuler les situations de sélectivité totale, sélectivité partielle, non sélectivité.
- L'intensité du court-circuit est ajustable par câblage : choix de l'impédance de la boucle de défaut, par des selfs de valeurs modulables.
- Le montage en cascade des disjoncteurs permet d'étudier les notions de sélectivité à 2 ou 3 étages, conséquences et effets sur une installation.

■ **Notion de coupure :**

- Présentation simplifiée de la coupure par l'arc électrique en Très Basse Tension, et de la limitation du courant de court-circuit.
- Visualisation et interprétation de la tension de l'arc.

■ **Ces applications n'étant pas exhaustives, d'autres possibilités sont à envisager, telles que :**

- l'influence des récepteurs connectés sur la coupure (paramètre $\cos \varphi$),
- l'influence de l'instant de l'apparition du défaut par rapport à la valeur de la tension du réseau (importance de l'angle d'enclenchement α).

3.2 Travaux pratiques

Les travaux pratiques relatifs à la sélectivité ampèremétrique couvrent les sujet suivants :

	page
TP1 : Tracé d'une courbe de déclenchement	65
TP2 : La sélectivité : application théorique	72
TP3 : La sélectivité : sélectivité à deux étages	74
TP4 : La coupure : sélectivité 3 étages - 1	84
TP5 : La coupure : sélectivité 3 étages - 2	90
TP6 : La coupure par l'arc visualisation de la tension de l'arc	98

3.3 Protection d'une installation

■ Sommaire

	page
Remarques préliminaires	55
Application - Méthode des impédances	58
Caractéristiques d'un disjoncteur	61
TP1 : Tracé d'une courbe de déclenchement	65
Conclusion	67

■ Remarques préliminaires

■ Cette partie est essentiellement théorique et s'oriente vers une approche globale de protection de réseau.

Les méthodes de calcul des courants de court-circuit d'un réseau réel MT/BT, ou BT/BT, y sont abordées et transposées dans notre application.

Ces calculs, souvent complexes, sont simplifiés et adaptés au banc. Des résolutions de calculs sont proposés en annexe (au chapitre 5).

Une seule manipulation est à réaliser.

■ Documents à exploiter :

Cahier technique n° 158 : calcul des courants de court-circuit,

Guide de la distribution BT (ou chapitre K du catalogue général BT),

Guide de l'installation électrique (pour une étude plus détaillée).

■ Principes de base

□ Soit une installation électrique minimale, l'alimentation des récepteurs par un générateur est assurée au travers de câbles et de dispositifs de protection. Ceux-ci ont pour rôle de limiter (ou d'éviter) les conséquences destructives de la présence de surintensités. Cette partie sera consacrée à la définition et à la détermination des appareillages de protection (limités ici aux disjoncteurs).

□ Dans ce banc, les défauts provoqués sont de 2 types :

- **surcharge** et pointe de courant d'enclenchement (selon le type de récepteurs associés)

- **courant de court-circuit** qui peuvent être déclenchés à plusieurs points de l'installation.

□ Les effets du courant de défaut, et ses conséquences, seront les suivants :

- effet électromagnétique : perturbation de l'électronique avoisinante par le champ magnétique ainsi créé,

- effets mécaniques : présence de forces électromagnétiques mutuelles sur les conducteurs (loi de Laplace) et donc forte sollicitation du matériel,

- effets thermiques : énergie dissipée dans le câble pouvant entraîner sa destruction.

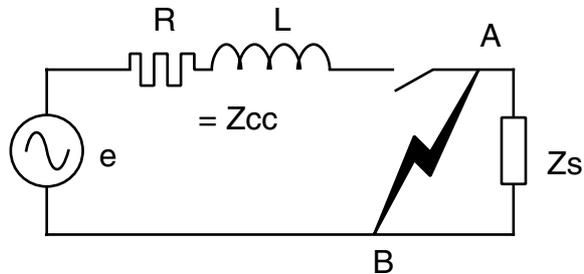
Par conséquent, les fonctions de l'appareillage seront d'assurer la protection électrique, le sectionnement et la commande des circuits. Ici, on se limitera au seul rôle de **protection électrique** : éviter les conséquences des surintensités et séparer la partie défectueuse du reste de l'installation.

□ Le **choix de l'appareillage**, donc la définition de ses caractéristiques, sera déterminé par l'intensité du courant de court-circuit aux différents étages de l'installation.

□ Le **Cahier technique n° 158** «calcul des courants de court-circuit» présente diverses méthodes de calculs. On sélectionnera, ici, la méthode dite des impédances.

■ Calcul d'un courant de court-circuit

□ Quel que soit le type de court-circuit, on se ramène à un réseau simplifié comportant un générateur, un interrupteur, une impédance Z_{cc} (impédance des lignes en amont de l'interrupteur) et une impédance de charge :



□ Le défaut apparaît entre A et B, lors de la fermeture de l'interrupteur. Le courant de court-circuit I_{cc} s'établit dans le circuit selon un régime transitoire et présente deux cas extrêmes :

- symétrique,
- asymétrique,

déterminant la valeur de I_{cc} et sa forme (voir Cahier technique 158, pages 6 et 7).

□ Deux valeurs de I_{cc} sont à calculer pour déterminer les disjoncteurs : courant maxi (donne le pouvoir de coupure P_{dc}) et le courant mini (choix des seuils de déclenchement, donc des courbes).

Le temps d'élimination du court-circuit t_c doit être compatible avec la caractéristique de contrainte thermique du câble I^2t .

Application - Méthode des impédances

Cette méthode permet de calculer les courants de défaut en tout point de l'installation, par connaissance des impédances de la source jusqu'au lieu considéré. I_{cc} est déduit par simple loi d'Ohm :

$$I_{cc} = \frac{U_n}{\sum (Z \text{ de la boucle})}$$

En s'appuyant sur les calculs proposés dans le Cahier technique 158 chapitre 2, on se propose de déterminer les impédances du réseau proposé en application (voir synoptique).

■ Impédance du réseau amont :

Donner la relation qui permet de la calculer.

Dans notre exemple, Z_a sera négligée car, ramenée au secondaire, sa valeur sera : $Z_a' \text{ (secondaire)} = Z_a \text{ (primaire)} \times K^2$,

où K (rapport de transformation) = $48 \text{ V} / 230 \text{ V} = 0,208$

C'est à dire : $Z_a' = 0,047 \times Z_a$

■ Impédance du transformateur :

Retrouver les relations donnant Z_T , R_T et X_T . Données fournisseur :

- puissance permanente	=	480 VA
- puissance en pointe	=	2500 VA
- tension primaire	=	230 V
- tension secondaire	=	48 V
- tension de court-circuit	=	7,5 %

■ Impédance des liaisons :

Donner l'équation de la résistance linéique, sachant que le câble est de section $2,5 \text{ mm}^2$ et en cuivre. Qu'en est-il pour les jeux de barres ? Les câbles sont unipolaires et posés espacés. Donner les valeurs moyennes retenues. Dans quels cas peuvent-elles être négligées ?

Note : dans le banc, ces impédances de liaisons, sont simulées par les bobines Z_1 à Z_5 .

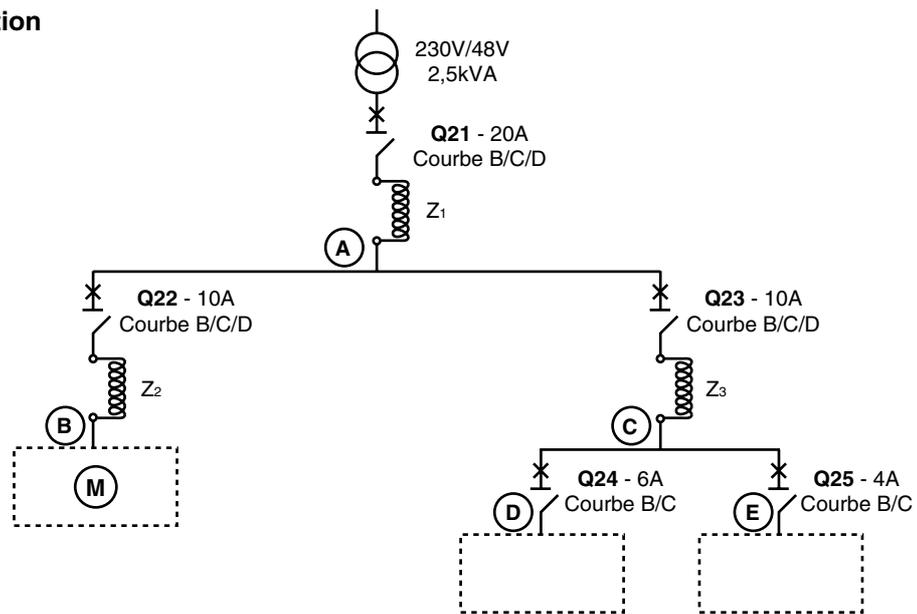
■ **Impédances des appareils :**

Dans le réseau étudié, on ne tient compte que des disjoncteurs.

■ **Application :**

Déterminer les impédances de la boucle de défaut en divers points considérés : A, B, C, D, E du synoptique. Un exemple de résolution vous est proposé en annexe au chapitre 5.

Synoptique de l'installation



■ Résistances des disjoncteurs

Mesure à chaud sous I_m , à 50 Hz - Valeurs pour un pôle - Impédance essentiellement résistive.

Calibre (A)	4	6	10	20
Impédance en $m\Omega$ par pôle	150	100	19,6	7,35

■ Impédance des bobines:

1ère ligne : expression complexe $Z = R + L\omega j$ ($f = 50$ Hz)

2ème ligne : valeur ou norme

$m\Omega$	a	b	c
Z_1	$80 + 12,6 j.$	$170 + 50,2 j.$	$260 + 75,4 j.$
	81	177	271
$Z_2 (Z_3)$	$50 + 9,4 j.$	$100 + 31,3 j.$	$170 + 72,1 j.$
	51	105	185
$Z_4 (Z_5)$	$378 + 282,6 j.$		
	472		

Z_2 et Z_3 sont identiques, ainsi que Z_4 et Z_5 .

Remarque : pour les manipulations ultérieures, se reporter au tableau récapitulatif des divers courants de court-circuit, selon les configurations de câblage, proposé en annexe.

Caractéristiques d'un disjoncteur

■ Quelques définitions

Sur une installation électrique :

I_B est le **courant d'emploi** : correspond à la puissance d'utilisation ou à la puissance apparente des récepteurs dans le cas des circuits terminaux.

■

I_z est le **courant admissible** : courant maximum que peut supporter la canalisation sans préjudice. Dépend donc de la nature du conducteur et de son environnement.

I²t est la **contrainte thermique maximum admissible** : l'appareil de protection doit laisser passer en permanence le courant **I_B** du circuit, mais agir dans un temps inférieur à celui de **I_a** caractéristique du câble **I²t**. La courbe de déclenchement d'un disjoncteur doit se situer en deçà de celle de la caractéristique.
(voir graphe page ci-contre)

(pour compléments d'information voir le Guide de l'installation, chapitre H-1 : protection des circuits, généralités).

■ Règles générales de détermination de la protection :

- I_B ≤ I_n ≤ I_z** I_n courant nominal ou de réglage
- I₂ ≤ 1,45 . I_z** I₂ courant conventionnel de déclenchement
- P_{dc} ≥ I_{cc}** I_{cc} courant de court-circuit

■ Caractéristiques fondamentales d'un disjoncteur :

(ne sont transcrites ici que les caractéristiques principales)

U_c, tension assignée d'emploi (ou tension d'utilisation)

I_n, courant assigné (ou courant nominal) = valeur maxi du courant ininterrompu qu'il peut supporter, à température ambiante donnée.

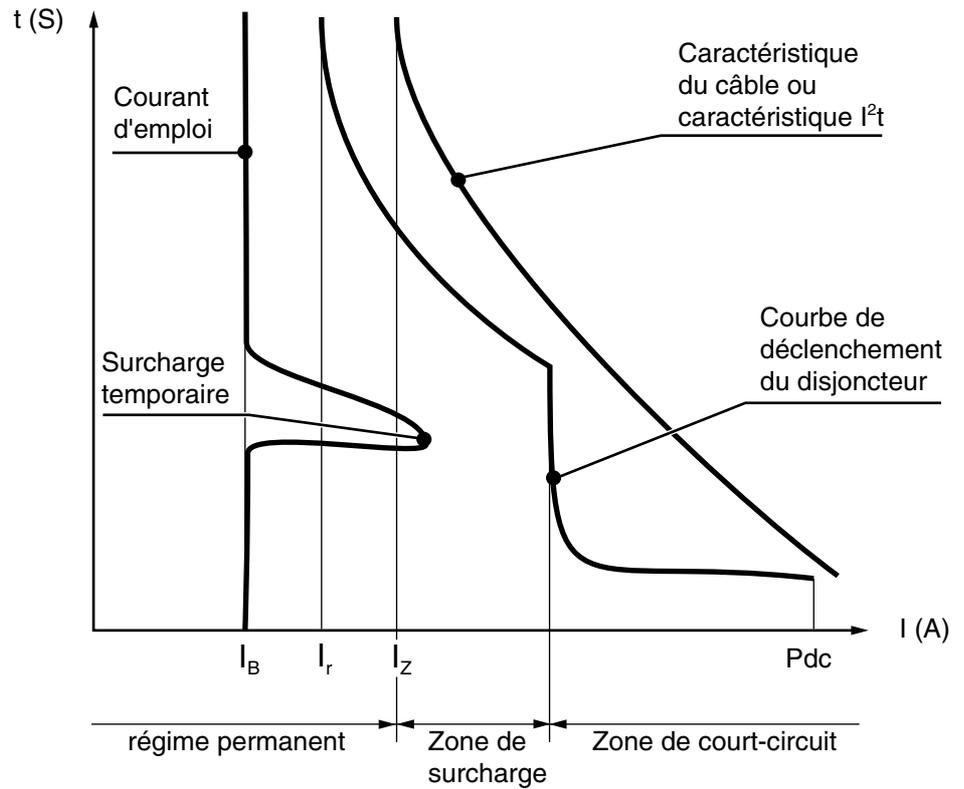
I_r, courant de réglage = courant maxi qu'il peut supporter sans déclenchement.

P_{dc}, pouvoir de coupure = intensité de courant de court-circuit maxi qu'il peut interrompre sous une tension donnée. Selon les normes, deux appellations :

I_{cu} = pouvoir de coupure ultime

I_{cn} = pouvoir de coupure assigné.

■ Principe de protection d'un circuit par le disjoncteur



□ Pour les court-circuits de durée < 5 s, cette caractéristique peut s'interpréter par : $I^2t = K^2 \cdot S^2$ (énergie proportionnelle au carré de la section du câble S , et au carré de K constante caractéristique du conducteur.)

□ I^2t traduit le temps maxi pendant lequel le conducteur peut supporter le courant I sans dommage.

■ Cas d'un disjoncteur magnéto-thermique :

(types de disjoncteurs intégrés dans le banc)

□ **En condition de surcharge**, l'échauffement provoqué agit sur un élément «thermomécanique». Le calibre du déclencheur thermique est I_r avec $I_r = I_n$.

Le temps de déclenchement est fonction de la valeur du courant de surcharge.

□ **En condition de court-circuit**, et à partir d'un certain seuil de courant, les déclenchements résultent de l'action instantanée d'un circuit magnétique. Ce seuil I_m , pour les **disjoncteurs domestiques**, n'est pas réglable, mais déterminé par courbes B, C, D, MA, K, Z.

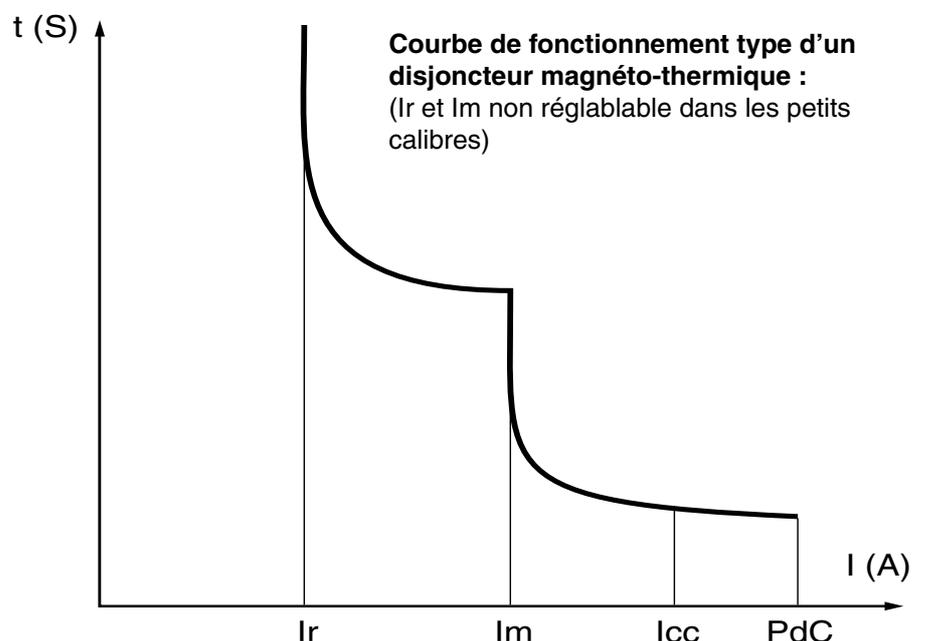
Dans notre application, on se limite aux courbes B, C, et D :

normes	courbe B seuil bas	courbe C seuil standard	courbe D seuil haut
CEI 947-2	$3,2 I_n \leq I_m \leq 4,8 I_n$	$7 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	$10 I_n \leq I_m \leq 14 I_n$
EN 60898 +NFC 61.410	$3 I_n \leq I_m \leq 5 I_n$	$5 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	$10 I_n \leq I_m \leq 14 I_n$

Note : anciennement, les courbes B et C étaient désignées par U et L, les seuils étant différents).

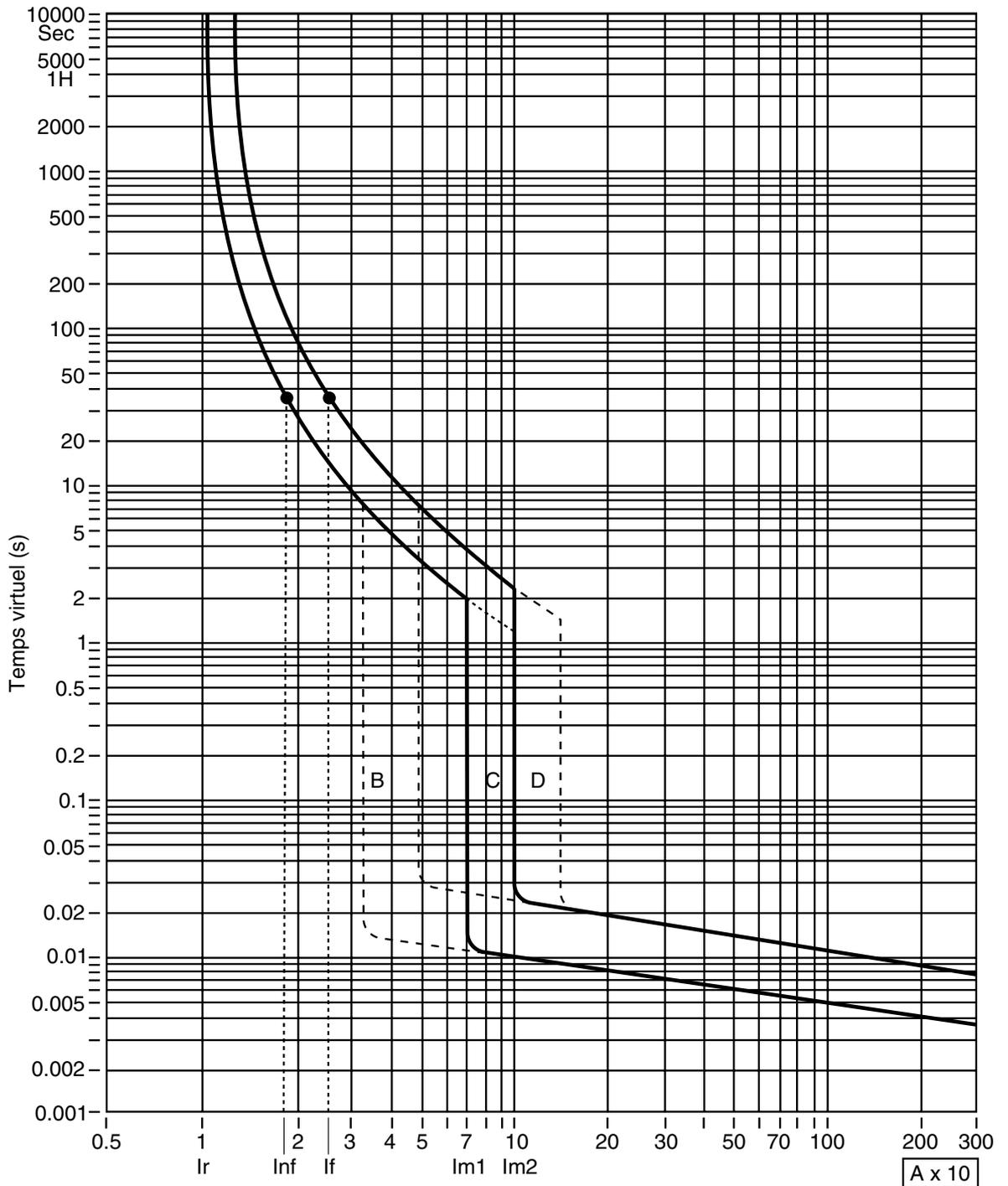
voir détails : courbes en annexe et Guide de la distribution BT (K12, K22, K42 et K43).

On abordera dans la partie suivante, la notion de **coupage par l'arc électrique**, et par conséquent la notion du **pouvoir de limitation** de I_{cc} par le disjoncteur.



■ **Courbe de déclenchement**

Cas d'un disjoncteur de calibre 10 A, courbe C (norme CEI 947-2)



I_r (ou I_n) = 10 A

Action du relais thermique

I_{nf} = seuil de non déclenchement

I_f = Seuil de déclenchement certain (à 50 s. dans l'exemple)

Action du déclenchement magnétique

I_{m1} = 7 I_n

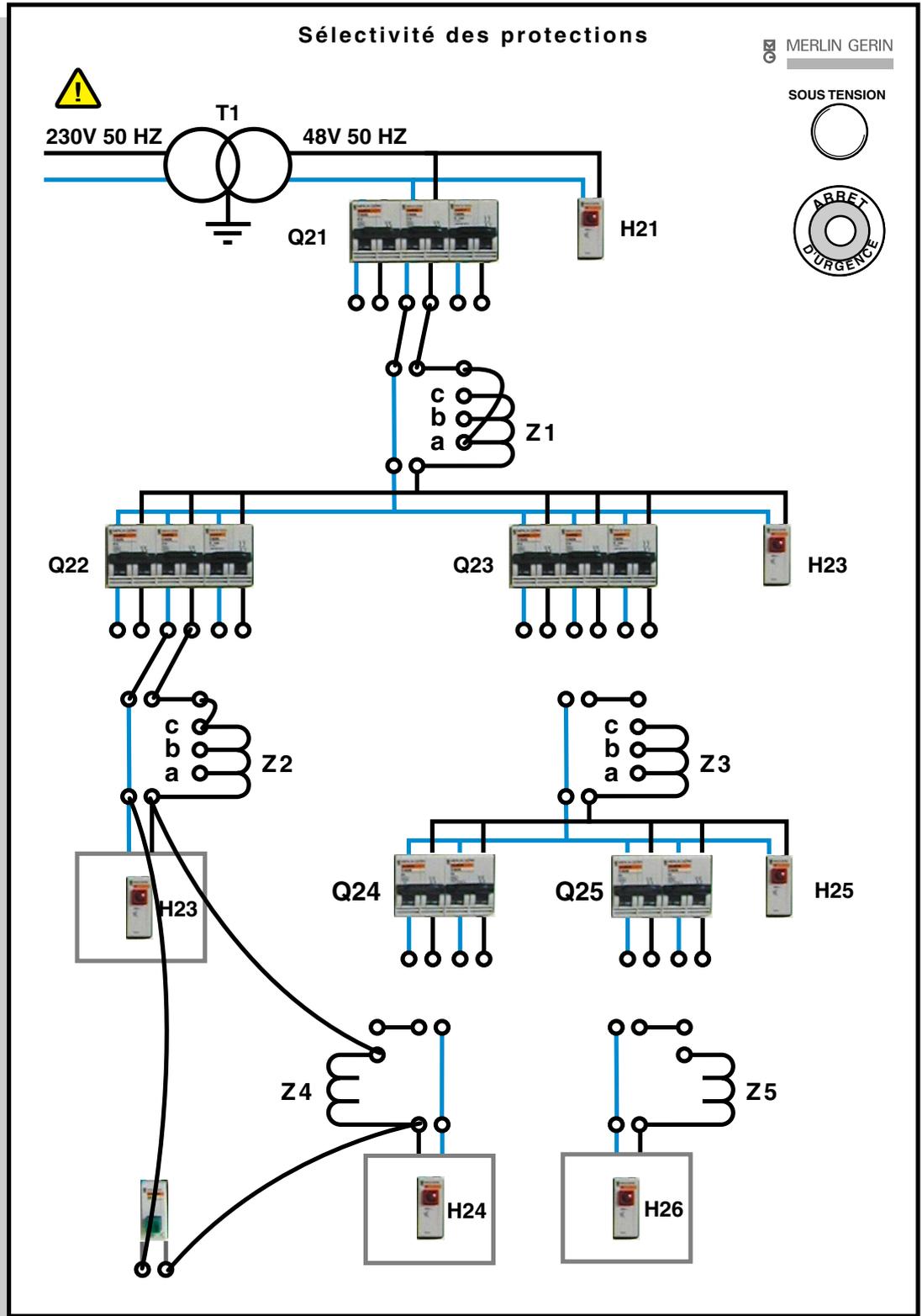
I_{m2} = 10 I_n

Les deux courbes déterminent la zone d'incertitude de déclenchement du disjoncteur, à température donnée (40°C) et sous 50 Hz.

TP1
1/3

Tracé d'une courbe de déclenchement

Exemple de schéma de manipulation : Pour la valeur de $I_{cc} = 58$ A, configuration de câblage choisie : N°1 (Q21 et Q22 en série), impédances Z1, Z2 et Z4 câblées en série.



On se propose de tracer la courbe de déclenchement d'un disjoncteur magnéto-thermique, de calibre 10 A, en courbe C.

■ **Recherches préalables :**

Quelle est la zone où le déclencheur thermique sera sollicité ?
Donner l'ordre de grandeur des valeurs de I.

même question pour le déclencheur magnétique.

■ **Manipulations :**

1 - À l'aide du tableau récapitulatif des valeurs de I_{cc} (voir annexe, chapitre 5), choisir une valeur de I_{cc} , réaliser le câblage (brancher les impédances en série).

2 - Placer la pince ampèremétrique, et la connecter à une voie de l'oscilloscope.

3 - Appuyer sur le bouton poussoir (et en même temps sur la mémoire de votre oscilloscope) pour provoquer le défaut. Maintenir la pression sur le Bp jusqu'à ouverture de la protection.

4 - Noter la valeur réelle de I_{cc} , et le temps de déclenchement du disjoncteur.

5 - Sur du papier log situer votre point de mesure (I et t).

Attention : on note la valeur I_{cc} efficace.

Recommencer la manipulation avec une autre valeur de I_{cc} , après un temps de repos de 5 mn au moins. Pour ne pas fausser le temps de déclenchement, laisser refroidir le disjoncteur ; ce temps de repos est à rallonger pour $I_{cc} > 100$ A.

■ **Appareils de mesure utilisés :**

Pince ampèremétrique de calibre maxi 400 A (une pince à effet Hall n'est pas obligatoire).

Un oscilloscope à mémoire, 2 voies.

Un multimètre.

Conclusion ■ Nous venons d'aborder, au cours de cette première partie, diverses notions sur le choix de l'appareillage de protection d'un réseau.

En résumé, le choix d'un disjoncteur doit s'effectuer en fonction :

- des caractéristiques électriques du réseau où il est installé,
- de l'environnement dans lequel il se trouve,
- de la continuité de service souhaitée,
- des diverses règles de protection à respecter :
 - protection des personnes,
 - protection des câbles,
 - protection des divers appareillages,
- des caractéristiques des récepteurs (courant d'appel à mise sous tension par exemple).

■ Les impératifs de l'installation, mais surtout de l'exploitation électrique, rendent déterminante la continuité de service. En présence de défaut, seule la partie défectueuse d'une installation doit être isolée, la partie saine maintenue en service.

L'intérêt de la sélectivité est de déconnecter du réseau le récepteur ou le départ en défaut – et seulement celui-ci – par ouverture de l'appareil le plus proche, chargé de sa protection. On peut garantir ainsi une continuité de distribution électrique.

■ La partie suivante traite de la sélectivité, ou coordination, des appareils entre eux.

3.4 La sélectivité - La limitation

■ Sommaire

	page
La sélectivité dans les protections magnéto-thermiques	69
TP2 : La sélectivité : application théorique	72
TP3 : La sélectivité : sélectivité à deux étages	73
La limitation dans les protections magnéto-thermiques	80
TP4 : La coupure : sélectivité 3 étages - 1	83
TP5 : La coupure : sélectivité 3 étages - 2	89

La sélectivité dans les protections magnéto-thermiques

La sélectivité des protections est essentielle dans une installation B.T et doit être prise en compte dès sa conception. Dans le cas de gestion de process industriel, la sélectivité est fondamentale pour garantir une continuité de service.

■ Définition

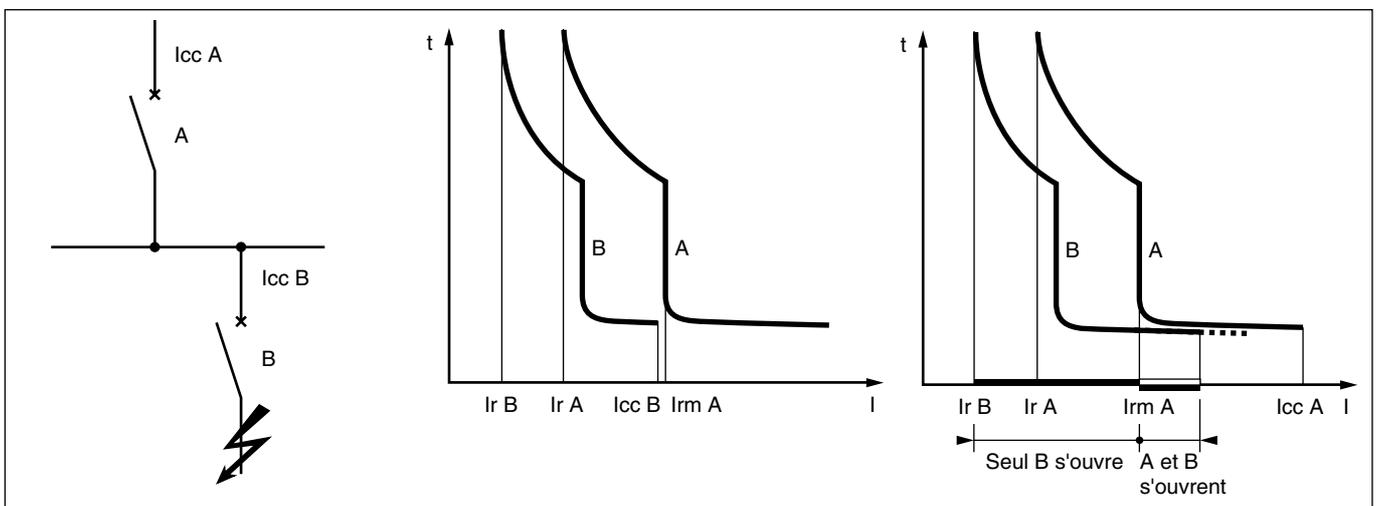
Il y a sélectivité des protections, si à l'apparition d'un défaut en un point du réseau, celui-ci est éliminé par la protection située immédiatement en amont. Un autre terme similaire est la *coordination* entre dispositifs de protection .

Dans le schéma ci-dessous, deux disjoncteurs A et B sont associés en série. Trois degrés de sélectivité sont possibles entre eux : *totale*, *partielle* ou *absence*.

Plusieurs techniques existent. Dans le cas de disjoncteurs magnéto-thermique, on ne retient que les sélectivités ampèremétrique et chronométrique. Le cas de sélectivité différentielle n'est pas traité, l'étude étant limitée aux deux techniques citées, et aux défauts occasionnés par les surintensités.

■ Types de sélectivités :

- Sélectivité totale : seul le disjoncteur B s'ouvre, quel que soit le courant I_c , jusqu'à la valeur I_{ccB} , courant de court-circuit franc en ce point.
- Sélectivité partielle : B s'ouvre jusqu'à une valeur de $I_c < I_{ccB}$. Au-delà, A et B fonctionnent simultanément.
- Non-sélectivité : A s'ouvre avant B (ou A et B simultanément).



■ Techniques de sélectivité :

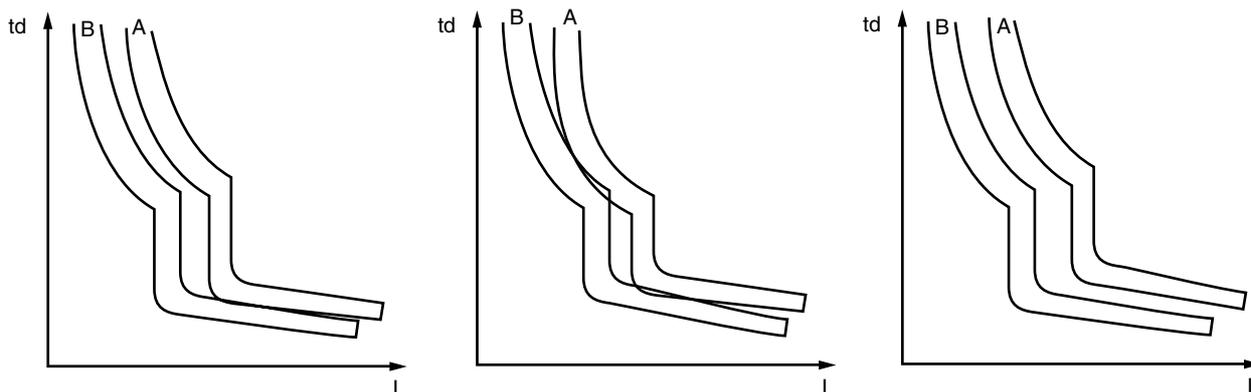
Elles sont fondées sur l'exploitation de 2 paramètres des disjoncteurs:

- **I_m** , valeur du courant de déclenchement,
- **t_d** , temps de déclenchement.

□ Sélectivité ampèremétrique :

Elle met en œuvre des appareils rapides et s'appuie sur l'échelonnement des seuils de réglage des déclencheurs magnétiques, I_m . Elle se concrétise par le décalage en intensités des courbes de déclenchement. Elle sera obtenue par un écart entre les calibres des appareils (rapport $> 1,6$). Dans le cadre de la maquette, c'est la seule possibilité offerte, les appareils ne comportant aucun réglage.

Représentation des trois types dans le cas de sélectivité ampèremétrique :



□ Sélectivité chronométrique :

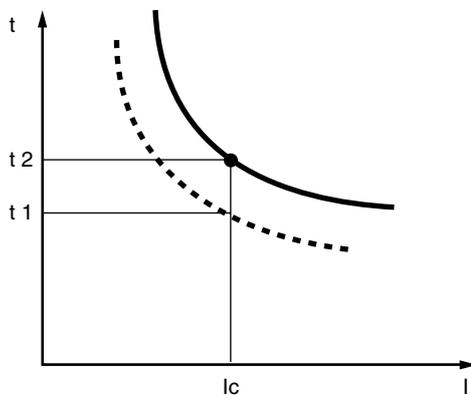
Elle repose sur le décalage des temps de déclenchement entre les disjoncteurs amont et aval. Chaque appareil est défini, à un courant donné, par un temps t_1 de non déclenchement, et par un temps t_2 total de coupure.

On aura sélectivité chronométrique lorsqu'on a la relation suivante :

$$t_1(\text{de A}) > t_2(\text{de B})$$

L'appareil amont doit pouvoir temporiser son ouverture (par exemple : réglage de la temporisation par cran).

Note : ce retard intentionnel est impossible sur les appareils montés dans la maquette.

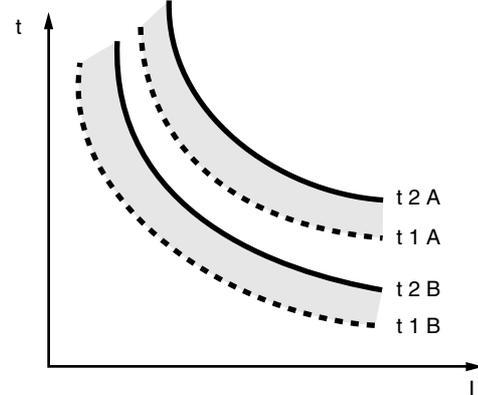


Graphique de sélectivité chronométrique

pour un disjoncteur donné :

t_2 = temps total de coupure

t_1 = temps de non déclenchement



Sélectivité chronométrique entre A et B

■ Documents à exploiter :

□ Cahiers techniques n° 126 «sélectivité des protections en BT - Le système SELLIM» pages générales 2 à 4.

□ Cahiers techniques n° 167 «la sélectivité énergétique en BT» pages 4 à 6.

□ Guide de la distribution BT pages : exploiter les tableaux de sélectivité (tableau «Sélectivité des protections - Amont : C60 / Aval : DPN, DPN N, C60»).

□ Guide de l'installation électrique : H2, coordination entre disjoncteurs.

TP2
1/1

La sélectivité : application théorique



■ Détermination théorique de la coordination entre disjoncteurs du banc

Selon les 3 configurations possibles de câblage, remplir les tableaux suivants en exploitant les courbes de déclenchements et les tableaux de sélectivité :

configuration n°1 :

amont Q21 (20A)	B	B	B	C	C	C	D	D	D
aval Q22 (10A)	B	C	D	B	C	D	B	C	D
seuil sélectivité (A)									
sélectivité									

configuration n°2 :

amont Q23 (10A)	B	B	C	C	D	D
aval Q24 (6A)	B	C	B	C	B	C
seuil sélectivité (A)						
sélectivité						

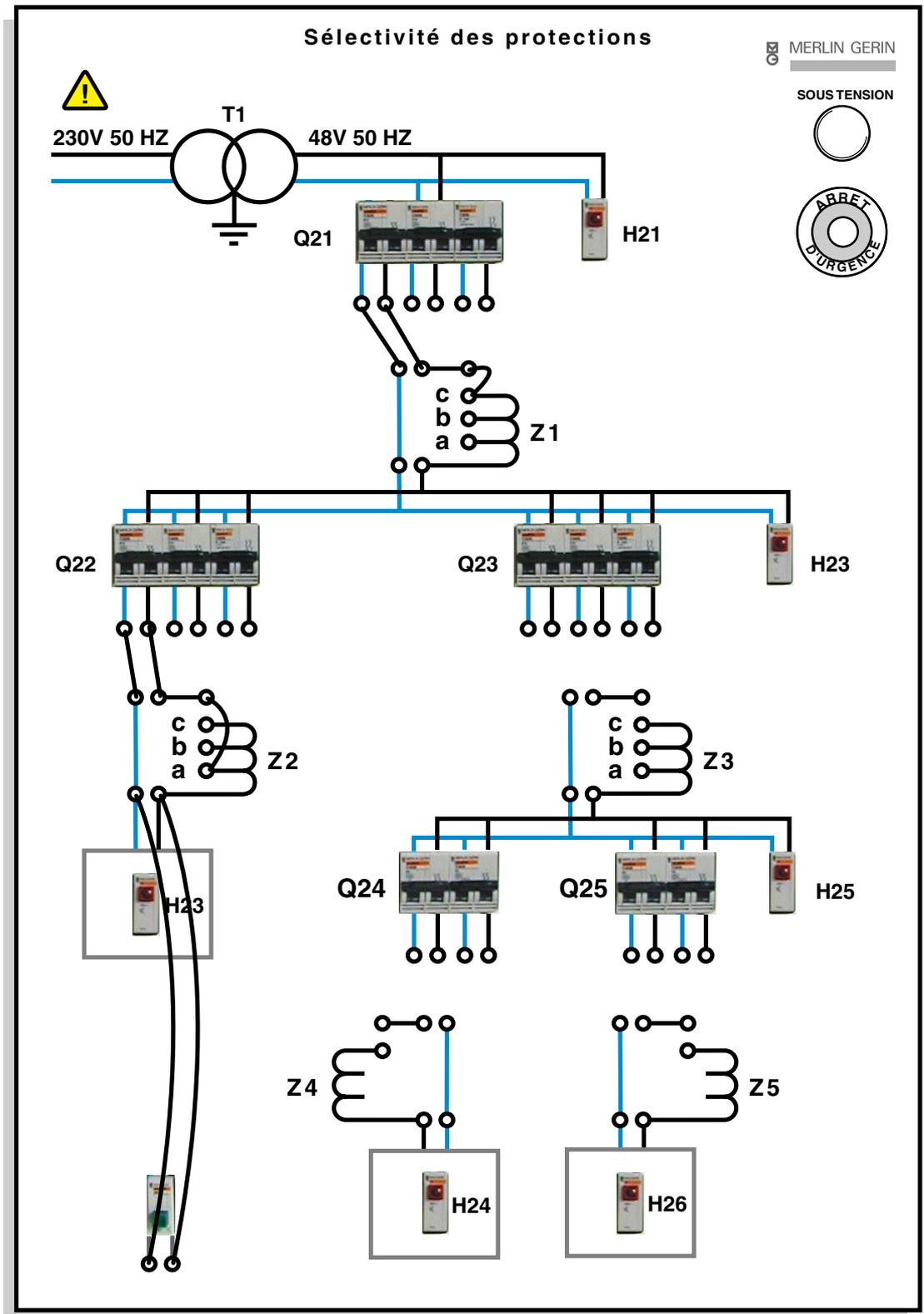
configuration n°3 :

amont Q23 (10A)	B	B	C	C	D	D
aval Q25 (4A)	B	C	B	C	B	C
seuil sélectivité (A)						
sélectivité						

TP3
1/7

La sélectivité : sélectivité à deux étages

Exemple de câblage correspondant à l'essai n° 3 ci-contre
(Association Q21B /Q22B - I_{cc} présumé = 120 A)



La sélectivité : sélectivité à deux étages

Après l'étude théorique de la coordination, on se propose de vérifier les résultats par les manipulations suivantes. Par choix opportun de l'intensité de court-circuit lcc, on étudie les trois degrés de sélectivité.

A l'aide des courbes de déclenchement des disjoncteurs Q21 et Q22, cibler des valeurs de lcc pour obtenir les trois cas de sélectivité : totale, partielle et non sélectivité.

Neuf configurations d'associations de ces deux disjoncteurs sont possibles en fonction des courbes choisies. Les tableaux ci-dessous donnent ces configurations et les valeurs de lcc.

■ Association Q21B et Q22B :

1 - Choisir les valeurs de lcc dans la colonne configuration de câblage n°1 (lcc1eff).

Essai	lcc présumé	Degré de sélectivité
1	52	Sélectivité totale
2	90	Sélectivité partielle
3	120	Non sélectivité
4	178	Non sélectivité

2 - Pour chaque valeur de lcc, câbler les bobines correspondant aux indications du tableau général donné en annexe, en annexe.

3 - Appuyer sur le bouton-poussoir pour provoquer le défaut. Maintenir la pression jusqu'au déclenchement de la protection.

4 - Prendre les mesures de :

- la tension du réseau, par multimètre relié à l'oscilloscope,
- l'intensité lcc, par pince ampèremétrique reliée à l'autre voie de l'oscilloscope.

Ne pas oublier de commander la mémorisation à l'instant de l'apparition du défaut (appui sur le Bp).

5 - Interpréter les résultats :

- quel disjoncteur s'est ouvert (Q22 seul, ou Q21 et Q22) ?
- valeur efficace de lcc, temps de déclenchement ; comparer par rapport aux courbes de déclenchement.

La sélectivité : sélectivité à deux étages

Huit autres associations sont proposées. Ces manipulations présentant un aspect répétitif, il n'est pas nécessaire de les réaliser dans leur totalité. La valeur de Icc sera toujours choisie dans la configuration n°1.

■ Association Q21B et Q22C :

Essai	Icc présumé	Degré de sélectivité
1	52	Sélectivité totale (thermique)
2	106	Sélectivité partielle
3	137	Non sélectivité
4	220	Non sélectivité
5	246	Non sélectivité

Pourquoi les résultats des essais 3, 4 et 5 sont-ils différents des valeurs attendues ?

■ Association Q21B et Q22D :

Essai	Icc présumé	Degré de sélectivité
1	90	Non sélectivité
2	132	Non sélectivité
3	220	Non sélectivité

Situer le seuil de sélectivité de Q21 courbe B. Comment doit se comporter Q21 par rapport à Q22 ? Les résultats sont-ils conformes aux valeurs attendues ?

■ Association Q21C et Q22B :

Essai	Icc présumé	Degré de sélectivité
1	48	Sélectivité totale
2	220	Sélectivité partielle
3	269	Non sélectivité

Mêmes questions que précédemment

■ Association D1C et D2B :

Essai	Icc présumé	Degré de sélectivité
1	108	Sélectivité totale
2	220	Sélectivité partielle
3	269	Non sélectivité

Mêmes questions que précédemment. Observer quel type de déclencheur est sollicité.

La sélectivité : sélectivité à deux étages

■ Association Q21C et Q22D :

Essai	Icc présumé	Degré de sélectivité
1	154	Sélectivité partielle
2	220	Non sélectivité
3	269	Non sélectivité

Observer quel disjoncteur déclenche, et sur quel type de déclencheur : thermique ou magnétique. Comparer, d'après les courbes, la cohérence des résultats. Peut-on atteindre la valeur de Icc présumé ?

Quel phénomène est visualisé par observations des mesures de Icc ?

■ Association Q21D et Q22B :

Essai	Icc présumé	Degré de sélectivité
1	61	Sélectivité totale
2	269	Sélectivité partielle
3	pas de possibilité de test	

Note : Au delà de 269 A, valeur de Icc maxi du banc, il n'est pas possible de tester le cas de non sélectivité.

Situer le seuil de sélectivité de D1 courbe D. Que peut-on dire pour l'essai 2 ?

■ Association Q21D et Q22C :

Essai	Icc présumé	Degré de sélectivité
1	120	Sélectivité totale
2	269	Sélectivité partielle
3	pas de possibilité de test	

Mêmes questions que précédemment

■ Association Q21D et Q22D :

Essai	Icc présumé	Degré de sélectivité
1	108	Sélectivité totale
2	220	Sélectivité partielle
3	pas de possibilité de test	

Mêmes questions que précédemment.

■ Exploitation des résultats

Remarque : Lors des manipulations, et en particulier pour des valeurs importantes de I_{cc} , on constate que l'intensité de déclenchement du disjoncteur est nettement inférieure à la valeur attendue. L'appareil de protection joue un rôle de dispositif limiteur en courant.

I_{cc} , le courant de court-circuit présumé, est supérieur à I limité. La partie théorique de la limitation sera abordée dans les pages suivantes.

■ **La limitation** - Reprendre quelques essais et constater l'aspect limiteur des disjoncteurs : écarts entre les valeurs de I_{cc} présumé, données dans le tableau récapitulatif, et les valeurs enregistrées.

■ Interprétation des enregistrements

Le graphe de I limité peut prendre plusieurs formes selon le moment d'apparition du défaut par rapport à la tension du réseau. Le paramètre à prendre en compte est l'angle d'enclenchement α . Trois cas peuvent apparaître : régime symétrique, régime asymétrique et intermédiaire.

Déterminer la sélectivité uniquement par interprétation des courbes de déclenchement est insuffisant et incomplet : il faut raisonner en terme d'énergie provoquant le déclenchement de la protection aval. D'où une autre approche d'étude par **la sélectivité énergétique**. L'onde de courant, que laisse passer le disjoncteur, est caractérisée par l'énergie de coupure **E_c** , notée $\int i^2 dt$. La sélectivité totale sera obtenue si l'énergie **E_c** du disjoncteur aval est inférieure à celle nécessaire au déclenchement du disjoncteur amont. Ce phénomène provient de la limitation du disjoncteur aval.

Remarquer l'importance et le rôle, dans la coupure du courant, de l'arc électrique (contenu du chapitre 4 de ce manuel).

Noter la présence d'un creux de tension, pouvant affecter la continuité de service par action des protections internes des récepteurs.

TP3
6/7

La sélectivité : sélectivité à deux étages

■ Etudes complémentaires

- Cahier technique n°167 : «La sélectivité énergétique en BT»
- Cahier technique n°154 : «Techniques de coupure des disjoncteurs BT» (uniquement la page 7 donnant la description des trois régimes du courant de court-circuit).

■ Exemples d'enregistrement

Dans les enregistrements suivants, la pince ampèremétrique utilisée est de calibre 400 A, de précision 1 mA/A, associée à une résistance de $100\text{ W} \pm 1\%$. Valeur lue : 1 V correspond à 10 A. La tension du secondaire est ici de 50 Veff, la tension primaire de 240 V.

Association Q21B et Q22B, essai 2

Régime dit symétrique

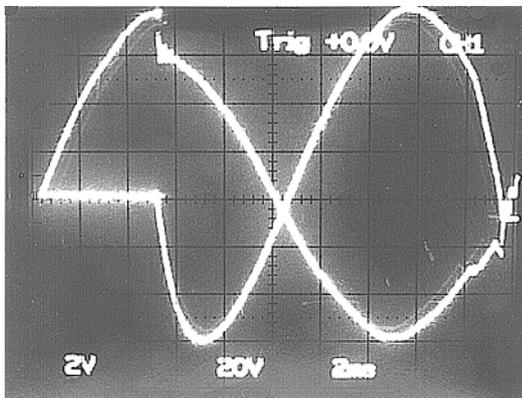
I_p , courant présumé = 90 A

$I_c = 80\text{ A}$, soit 56,5 Aeff

Temps de déclenchement : 14,4 ms

Aspect de limitation du courant de Q22.

Déclenchement de Q22.



Association Q21B et Q22B, essai 3

Régime dit symétrique

$I_p = 120\text{ A eff}$

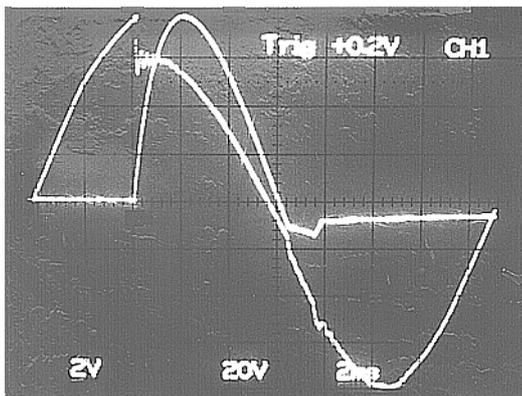
$I_c = 76\text{ A}$, soit 53,7 Aeff

tps = 6ms

Par études des courbes de déclenchement, il y aurait non sélectivité pour cette valeur de I_p . Q22 joue son rôle de limiteur, donc $I_c < I_p$.

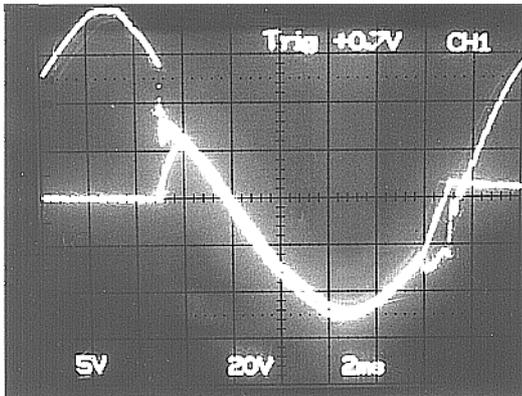
L'énergie est suffisante au bout de 6 ms pour faire déclencher Q22.

$\int i^2 dt$ de coupure de D2 < $\int i^2 dt$ de non-déclenchement de Q21.



TP3
7/7

La sélectivité : sélectivité à deux étages



□ Association Q21B et Q22C, essai 3

Régime dit intermédiaire

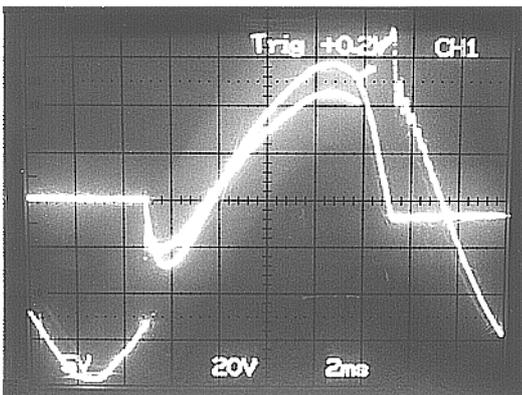
$I_p = 137 \text{ Aeff}$

$I_c = 125 \text{ A}$, soit $88,4 \text{ Aeff}$

$t_{ps} = 11,6 \text{ ms}$

Cas de non sélectivité pour cette association

Q21 et Q22 devraient déclencher. Par limitation, Q22 seul s'ouvre.



□ Association Q21D et Q22C, essai 2

Régime dit intermédiaire

$I_p = 269 \text{ A}$

$I_c = 145 \text{ A}$, soit $102,6 \text{ Aeff}$

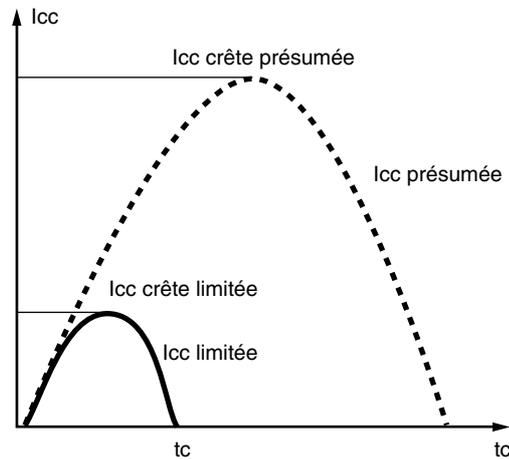
$t_{ps} = 10 \text{ ms}$

Aspect de limitation en courant de Q22.

Noter l'importance de la tension de l'arc, U_a

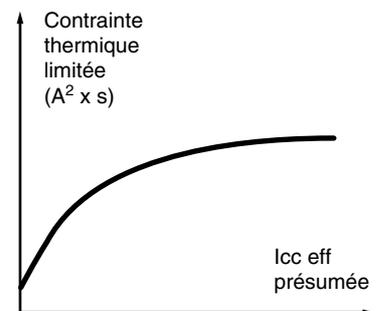
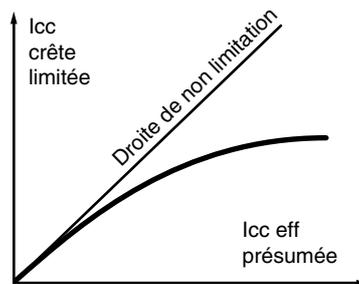
La limitation dans les protections magnéto-thermiques

■ Le pouvoir de limitation d'un disjoncteur traduit sa capacité plus ou moins grande à ne laisser passer sur court-circuit qu'un courant inférieur au courant de défaut présumé.

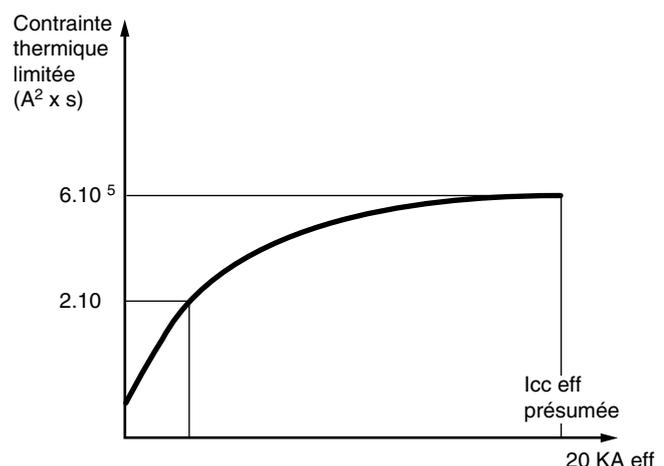
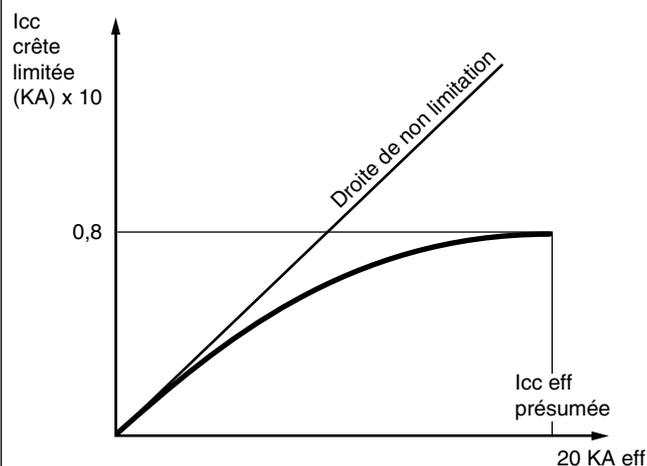


Cette caractéristique est traduite par les courbes de limitation donnant :

- l'intensité crête limitée I_c en fonction de l'intensité efficace de courant de court-circuit présumé I_p :
- la contrainte thermique limitée (du câble) en fonction de I_p (voir courbes K59 du Guide de la distribution).



Exemples :



■ Intérêts de la limitation

La limitation du courant de court-circuit implique pour conséquences :

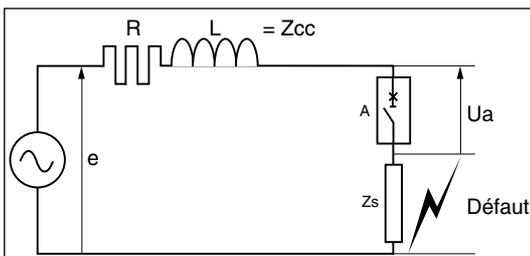
- une réduction de l'amplitude de I_{cc} ,
- une réduction du temps de passage de ce courant, dans le disjoncteur et l'installation.

Les avantages de la limitation sont :

- une économie sur la réalisation des disjoncteurs, si utilisée avec la technique de filiation,
- la minimisation des effets du courant de défaut dans l'installation (effets mécaniques, électromagnétiques et thermiques),
- la contribution à une amélioration de la protection de l'installation.

■ Principe :

Considérons le circuit minimal ci-contre, où :



U_a : tension de l'arc créé dès l'ouverture des contacts du disjoncteur A

Z_s : charge, lieu d'apparition du défaut

Z_{cc} : impédance du court-circuit

i : courant circulant dans la maille

e : f.e.m à l'apparition du court-circuit

- Pour un court-circuit franc, nous avons les équations suivantes :

$E = R \cdot i + L \cdot di/dt + U_a$, où **E** est la tension de source.

R.i pouvant être considéré comme négligeable devant **L.di/dt** :

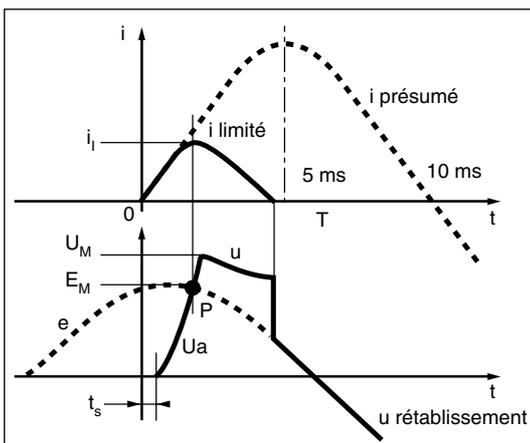
$e = L \cdot di/dt + U_a$, donc limitation atteinte plus facilement, et décroissance rapide de I_c

- Lorsque $di/dt = 0$, le courant i atteint sa valeur maxi (= valeur crête), soit pour **U_a = e**.

Voir l'interprétation dans les graphes ci-contre, où t_s est l'instant d'apparition de la tension U_a , soit dans le cas du disjoncteur, dès l'ouverture des contacts.

- En résumé, la limitation sera correcte lorsque :

U_a maxi = U_M > E_M (de la source)



■ **Conclusion** : Trois règles sont à respecter pour assurer une bonne limitation :

intervenir tôt • aller vite • aller haut

■ **Documents complémentaires** :

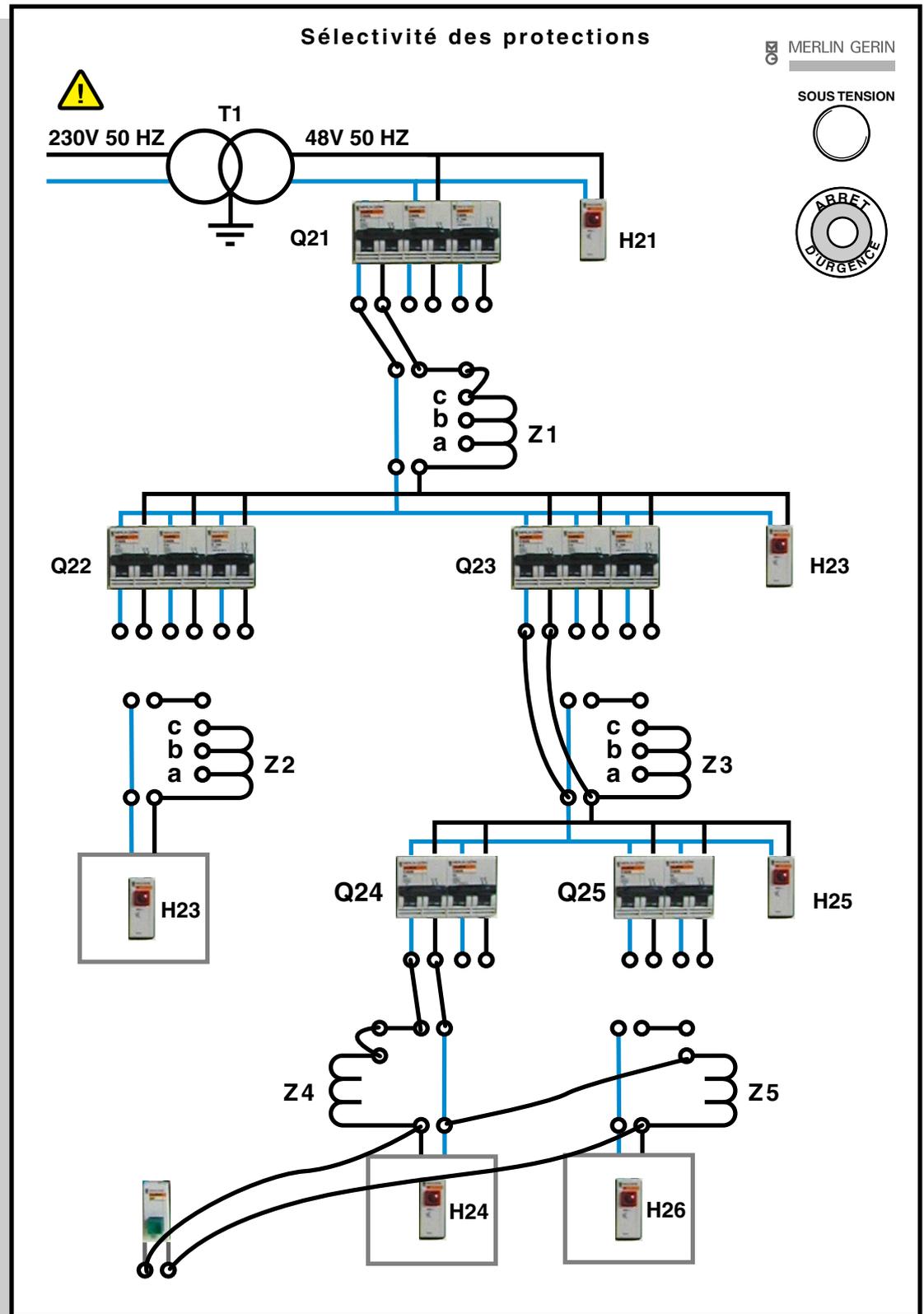
Cahier technique n°163 : «Coupure en BT par limitation du courant»

Guide de la distribution BT : courbes pages K58 et K59.

TP4
1/6

La coupure : sélectivité 3 étages - 1

Manipulation 3 - Exemple de câblage correspondant à l'association Q21B / Q23B / Q24B - essai n°1 ci-contre (I_{cc} présumé = 35 A)



TP4
2/6

La coupure : sélectivité 3 étages - 1

En suivant une démarche identique à celle suivie lors de la manipulation 2, on se propose d'étudier les cas de sélectivité à 3 étages : dans cette manipulation sera analysée l'association des disjoncteurs Q21, Q23 et Q24.

Les tableaux ci-dessous, présentent les 18 configurations possibles. Il n'est pas nécessaire de les réaliser en totalité. Choisir quelques configurations, et réaliser les manipulations.

■ Association Q21B, Q23 et Q24 :

1 - Sélectionner les valeurs de Icc, à l'aide des courbes de déclenchement de ces appareils pour simuler les 3 cas de sélectivité : totale, partielle et non-sélectivité. Prendre les valeurs de Icc dans la colonne configuration n°2.

essai Icc degré de sélectivité présumé

Q21B	Q23B	Q24 B	1	35 A	sélectivité totale
			2	45 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q24
			3	81 A	sélectivité part. entre Q21, Q23, Q24
			4	130 A	non sélectivité
	Q24 C	1	45 A	non sélectivité entre Q23 et Q24	
		2	69 A	"	
		3	126 A	non sélectivité entre Q21, Q23, Q24	
		4	162 A	"	
	Q23 C	Q24 B	1	52 A	sélectivité totale
			2	92 A	sélectivité part. entre Q21, Q23, Q24
			3	126 A	non sélectivité entre Q21, Q23 et Q24
			4	162 A	"
Q24 C		1	67 A	sélectivité partiel.entre Q21, Q23, Q24	
		2	112 A	non sélectivité entre Q21, Q23, Q24	
		3	130 A	"	
		4	162 A	"	
Q23 D	Q24 B	1	65 A	sélectivité partielle entre Q21, Q24	
		2	126 A	non sélectivité entre Q21, Q23	
		3	162 A	non sélectivité entre Q21, Q23, Q24	
		4	172 A	"	
	Q24 C	1	65 A	sélectivité partielle entre Q21, Q24	
		2	126 A	non sélectivité entre Q21, Q23	
		3	181 A	non sélectivité entre Q21, Q23, Q24	

2 - Câbler les impédances correspondantes, à l'aide du tableau récapitulatif en annexe.

3 - Mesurer, pour chaque association, les valeurs de : **Icc** crête, la tension **e** du réseau, le temps de déclenchement.

4 - Interpréter les résultats, en tenant compte de l'aspect de limitation du disjoncteur aval : essayer de retrouver, sur les oscillogrammes, les points théoriques développés dans le paragraphe 3.3.4 : le régime de courant Icc observé, le rôle de la tension de l'arc, les conséquences sur le courant.

Dans ce type d'association, où Im de Q21 est inférieur à Im de Q23, observer le comportement des disjoncteurs:

- lequel déclenche, et pourquoi, et sur quel type de déclencheur ?
- cas des associations Q21B / Q23C / Q24 et Q21B / Q23D / Q24.

TP4
3/6

La coupure : sélectivité 3 étages - 1

■ Autres associations

■ Association Q21 C, Q23 et Q24 :

Les valeurs de I_{cc} présumé sont toujours choisies dans la configuration n°2.

		essai présu.	I _{cc} présu.	degré de sélectivité	
Q21C	Q23 B	Q24 B	1	45 A	sélectivité partielle entre Q23, Q24
			2	69 A	non sélectivité entre Q23 et Q24
			3	172 A	"
	Q24 C	Q24 C	1	63 A	non sélectivité entre Q23 et Q24
			2	94 A	"
			3	140 A	"
	Q23 C	Q24 B	1	63 A	sélectivité totale
			2	94 A	non sélectivité entre Q23 et Q24
			3	140 A	non sélectivité entre Q21, Q23, Q24
	Q24 C	Q24 C	1	69 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q24
			2	140 A	non sélectivité entre Q23 et Q24
			3	181 A	non sélectivité entre Q21, Q23, Q24
Q23 D	Q24 B	1	52 A	sélectivité totale	
		2	162 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q24	
		3	181 A	sélectivité partielle entre Q21, Q23, Q24	
		4		pas de possibilité de test de non sélectivité	
Q24 C	Q24 C	1	104 A	sélectivité totale	
		2	162 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q24	
		3	181 A	sélectivité partielle entre Q21, Q23, Q24	
		4		pas de possibilité de test de non sélectivité	

Interprétation des essais :

Quel est le comportement du disjoncteur de tête Q21 dans ce type d'association ?

Dans le cas de l'association Q21 C, Q23 B et Q24, est-il possible d'assurer la sélectivité totale de l'installation ?

Justifier les réponses à l'aide des courbes de déclenchement et par l'interprétation des enregistrements.

■ Association Q21 D, Q23 et Q24 :

Les valeurs de lcc présumé sont toujours choisies dans la colonne configuration n°2 (lcc₂eff).

		essai	lcc	degré de sélectivité	
		présu.	présu.		
Q21D	Q23 B	Q24 B	1	45 A	sélectivité partielle entre Q23, Q24
			2	69 A	non sélectivité entre Q23 et Q24
			3	172 A	"
		Q24 C	1	53 A	non sélectivité entre Q23 et Q24
			2	130 A	"
			3	181A	"
	Q23 C	Q24 B	1	63 A	sélectivité totale
			2	104 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q24
			3	181 A	non sélectivité entre Q23 et Q24
		Q24 C	1	69 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q24
			2	140 A	non sélectivité entre Q23 et Q24
			3	181 A	non sélectivité entre Q23 et Q24
Q23 D	Q24 B	1	104 A	sélectivité totale	
		2	140 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q24	
		3	172 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q24	
		4		pas de possibilité de test de non sélectivité	
	Q24 C	1	104 A	sélectivité totale	
		2	140 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q24	
		3	172 A	non sélectivité entre Q23 et Q24	
		4		pas de possibilité de test de non sélectivité	

Interprétation des essais : mêmes questions que précédemment.

TP4
5/6

La coupure : sélectivité 3 étages - 1

■ Manipulation 3 - Exploitation des résultats

■ Lors des conclusions de la manipulation 2, les points suivants ont été abordés :

- par limitation du courant de court-circuit, I_{cc} réel est bien inférieur à I_{cc} présumé,
- les caractéristiques de I_{cc} (valeur maxi de I_{cc} et temps de déclenchement) dépendent :
 - de la valeur de l'angle d'enclenchement α ,
 - de l'influence de la tension de l'arc dans la limitation.

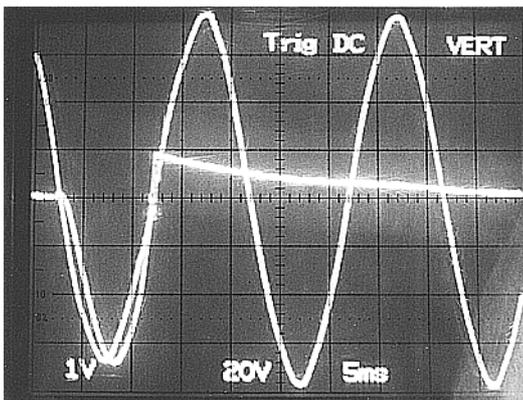
Ces points sont repris pour l'interprétation des résultats obtenus lors des manipulations 3.

■ Interprétation des enregistrements:

Les appareils de mesure sont identiques à ceux utilisés pour la manipulation 2 :

- Pince ampéremétrique de 400 A, associée à une résistance de 100 W \pm 1%. Valeur lue : 1 V correspond à 10 A.
- Oscilloscope à mémoire.

Remarque : pour l'ensemble des enregistrements suivants, la tension du réseau primaire étant de 240 V \pm 10%, la tension du secondaire mesurée est, par conséquent, de 50 V \pm 10%.



Association Q21B, Q23B et Q24B, essai 1

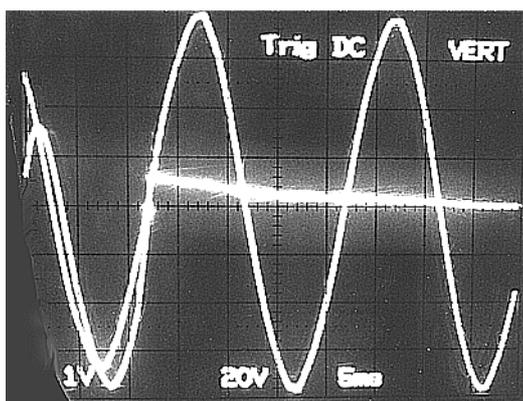
Régime dit asymétrique

I_p , courant présumé = 35 Aeff

I_c , courant mesuré = 34 Â, soit 24 Aeff

t_{ps} , temps de déclenchement = 10 ms

Déclenchement de Q24 seul, donc sélectivité assurée.



Même association, même essai

Régime dit intermédiaire (présence de petite boucle)

I_p = 35 Aeff

I_c = 38 Â, soit 27 Aeff

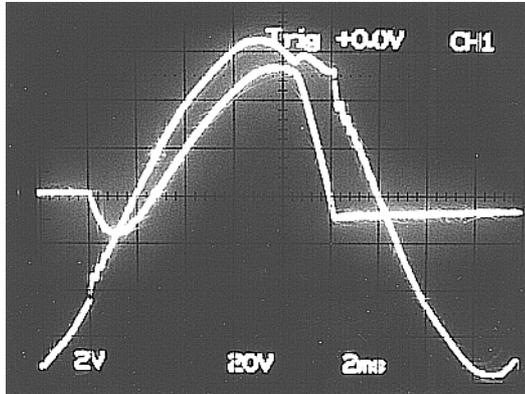
t_{ps} = 15 ms

Déclenchement de Q24 seul, donc sélectivité

Noter l'influence de α , angle d'enclenchement, sur la coupure de I_c , par rapport à l'enregistrement précédent.

TP4
6/6

La coupure : sélectivité 3 étages - 1



□ Association Q21B, Q23B et Q24B, essai 4

Régime intermédiaire (présence de petite boucle)

$I_p = 130 \text{ Aeff}$

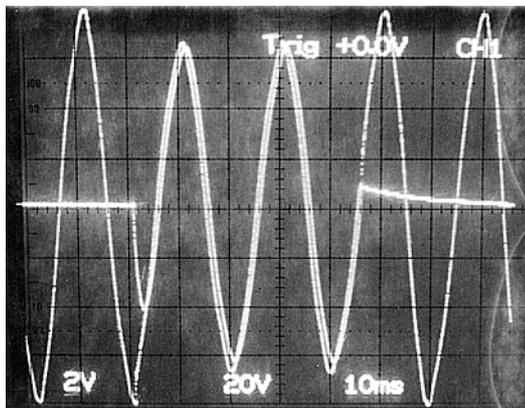
$I_c = 53 \text{ A}$, soit $37,5 \text{ Aeff}$

$t_{ps} = 10 \text{ ms}$

Déclenchement de Q24.

Mise en évidence de la limitation du courant dès que de la tension de l'arc est supérieure à U_n . La coupure est effective à la 2^{ième} demi-onde de I_c , après sa valeur maximum.

Sélectivité totale



□ Association Q21C, Q23B et Q24C, essai 1

Régime intermédiaire, avec petite boucle

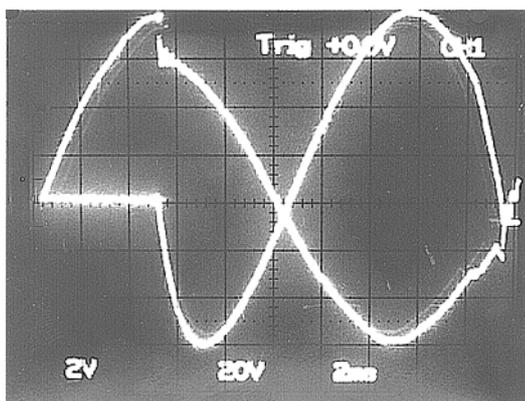
$I_p = 63 \text{ Aeff}$

$I_c = 64 \text{ A}$, soit 45 Aeff

$t_{ps} = 44 \text{ ms}$

Cas de non sélectivité entre Q23 et Q24,

Déclenchement de Q23.



□ Association Q21C, Q23D et Q24C, essai 3

régime intermédiaire, avec petite boucle

$I_p = 181 \text{ Aeff}$

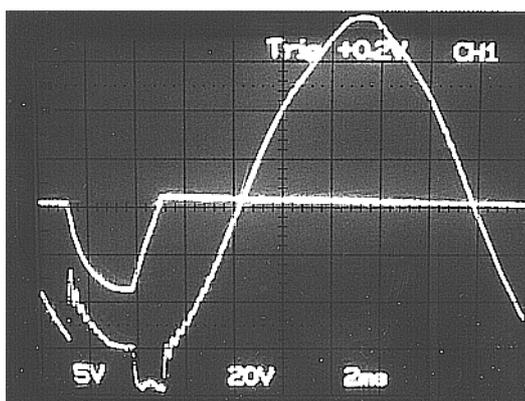
$I_c = 100 \text{ A}$, soit 71 Aeff

$t_{ps} = 9,8 \text{ ms}$

Déclenchement de Q4.

La coupure se produit avant U_n crête (tension du réseau) et le maxi de I_c ; donc meilleure limitation.

Sélectivité totale



□ Association Q21D, Q23B et Q24B, essai 3

régime asymétrique

$I_p = 172 \text{ Aeff}$

$I_c = 90 \text{ A}$, soit 64 Aeff

$t_{ps} = 3,8 \text{ ms}$

Déclenchement de Q23 et Q24.

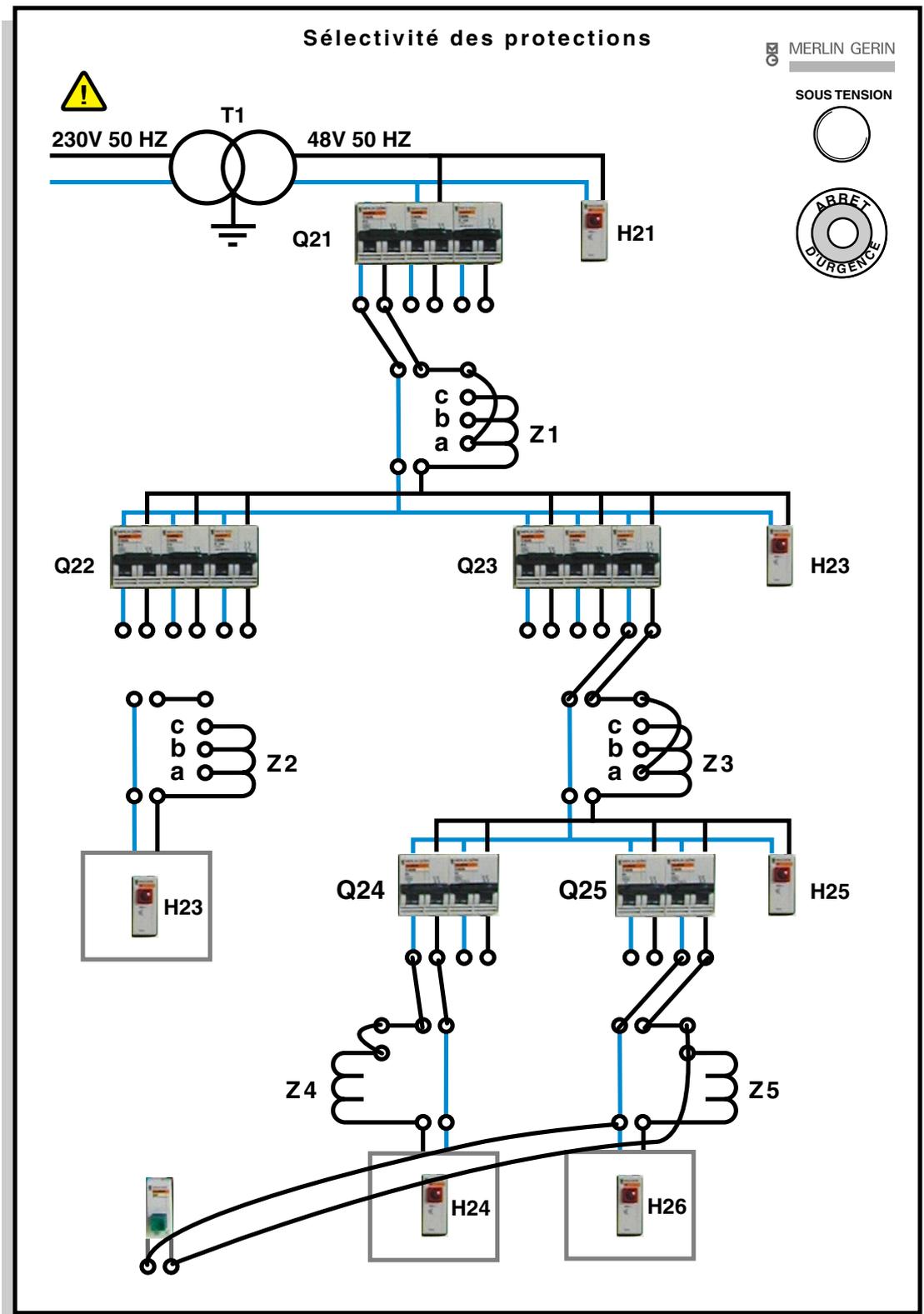
Cas de non sélectivité.

Même constat que précédemment : amélioration de la limitation par coupure avant U_n crête et le maxi de I_c .

TP5
1/5

La coupure : sélectivité 3 étages - 2

Manipulation 4 - Exemple de câblage correspondant à l'association Q21B / Q23D / Q25C - essai n°3 ci-contre (Icc présumé = 141 A)



La coupure : sélectivité 3 étages - 2

De façon identique à la manipulation 3, on souhaite étudier la sélectivité entre les disjoncteurs Q21, Q23 et Q25. Les tableaux suivants présentent les 18 configurations possibles.

Les objectifs de ces manipulations sont de détecter les divers degrés de sélectivité en fonction des configurations câblées.

■ Association Q21 B, Q23 et Q25 :

1 - Prendre les valeurs de I_{cc} dans la colonne configuration n°3 (I_{cc3eff}).

		essai I_{cc}		degré de sélectivité	
		prévu			
Q21B	Q25B	Q25B	1	35 A	sélectivité totale
			2	44 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q25
			3	61 A	non sélectivité entre Q23 et Q25
			4	141 A	non sélectivité entre Q21, Q23 et Q25
	Q25C	Q25C	1	35 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q25
			2	52 A	non sélectivité entre Q23 et Q25
			3	88 A	sélectivité part. entre Q21, Q23, Q25
			4	141 A	non sélectivité entre Q21, Q23 et Q25
	Q25C	Q25B	1	66 A	sélectivité totale
			2	105 A	sélectivité part. entre Q21, Q23, Q25
			3	141 A	non sélectivité entre Q21, Q23 et Q25
		Q25C	1	66 A	sélectivité totale
2			105 A	sélectivité part. entre Q21, Q23, Q25	
3			141 A	non sélectivité entre Q21, Q23 et Q25	
Q25D	Q25B	1	66 A	sélectivité totale	
		2	114 A	non sélectivité entre Q21 et Q25	
		3	141 A	sélectivité part. entre Q21, Q23, Q25	
		4	154 A	non sélectivité entre Q21, Q23 et Q25	
Q25C	Q25C	1	66 A	sélectivité totale	
		2	114 A	non sélectivité entre Q23 et Q25	
		3	141 A	sélectivité part. entre Q21, Q23, Q25	
		4	154 A	non sélectivité entre Q21, Q23 et Q25	

2 - Interpréter les résultats des enregistrements :

Que peut-on déduire des essais relatifs à Q21 B, Q23 D et Q25 ?

Note : pour la valeur de $I_{cc3} = 154 A$, on considère que Q23 doit agir sur déclencheur magnétique (I_{cc3} proche de I_m maxi).

TP5
3/5

La coupure : sélectivité 3 étages - 2

■ Autres associations

■ Association Q21C, Q23 et Q25 :

1 - Prendre les valeurs de I_{cc} dans la colonne configuration n°3 (I_{cc3eff}).

			essai présu.	I_{cc} présu.	degré de sélectivité		
Q21C	Q23 B	Q25 B	1	35 A	sélectivité totale		
			2	47 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q25		
			3	117 A	non sélectivité entre Q23 et Q25		
			4	154 A	sélectivité partielle entre Q21, Q23 et Q25		
	Q25 C	Q25 C	1	35 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q25		
			2	52 A	non sélectivité entre Q23 et Q25		
			3	154A	sélectivité partielle entre Q21, Q23 et Q25		
			4		pas de possibilité de test de non sélectivité		
	Q23 C	Q25 B	Q25 B	1	35 A	sélectivité totale	
				2	105 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q25	
				3	154 A	sélectivité partielle entre Q21, Q23 et Q25	
				4		pas de possibilité de test de non sélectivité	
		Q25 C	Q25 C	Q25 C	1	66 A	sélectivité totale
					2	105 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q25
					3	154 A	sélectivité partielle entre Q21, Q23 et Q25
					4		pas de possibilité de test de non sélectivité
Q23 D	Q25 B	Q25 B	1	103 A	sélectivité totale		
			2	125 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q25		
			3	154 A	sélectivité partielle entre Q21, Q23 et Q25		
			4		pas de possibilité de test de non sélectivité		
	Q25 C	Q25 C	Q25 C	1	103 A	sélectivité totale	
				2	125 A	sélectivité partielle entre Q23 et Q25	
				3	154 A	sélectivité partielle entre Q21, Q23 et Q25	
				4		pas de possibilité de test de non sélectivité	

2 - Interpréter les résultats :

Dans ce type d'association, assure-t-on une sélectivité totale dans tous les cas ?

Note : pour la valeur de $I_{cc3} = 154 A$, dans ces associations, on considère que Q21 agit sur déclencheur thermique.

TP5
4/5

La coupure : sélectivité 3 étages - 2

■ Association Q21 D, Q23 et Q25 :

1 - Les valeurs de lcc sont à choisir dans la colonne configuration n°3 (lcc3eff).

		essai	lcc	degré de sélectivité
		présu.	présu.	
Q21D	Q23 B	Q25 B	1	33 A sélectivité totale
			2	45 A sélectivité partielle entre Q23 et Q25
			3	139 A non sélectivité entre Q23 et Q25
	Q23 C	Q25 C	1	33 A sélectivité totale
			2	49 A non sélectivité entre Q23 et Q25
			3	39A non sélectivité entre Q23 et Q25
	Q23 C	Q25 B	1	63 A sélectivité totale
			2	92 A sélectivité partielle entre Q23 et Q25
			3	139 A non sélectivité entre Q23 et Q25
	Q23 D	Q25 C	1	63 A sélectivité totale
			2	92 A sélectivité partielle entre Q23 et Q25
			3	139 A non sélectivité entre Q23 et Q25
Q23 D	Q25 B	1	88 A sélectivité totale	
		2	121A sélectivité partielle entre Q23 et Q25	
		3	pas de possibilité de test de non sélectivité	
Q23 D	Q25 C	1	88 A sélectivité totale	
		2	121 A sélectivité partielle entre Q23 et Q25	
		3	pas de possibilité de test de non sélectivité	

2 - Interprétation des résultats : même questions que précédemment.

TP5
5/5

La coupure : sélectivité 3 étages - 2

■ Exploitation des résultats

Les interprétations des graphes sont identiques à celles de la manipulation n°3.

■ Association Q21B, Q23B, Q5B ; essai n° 2

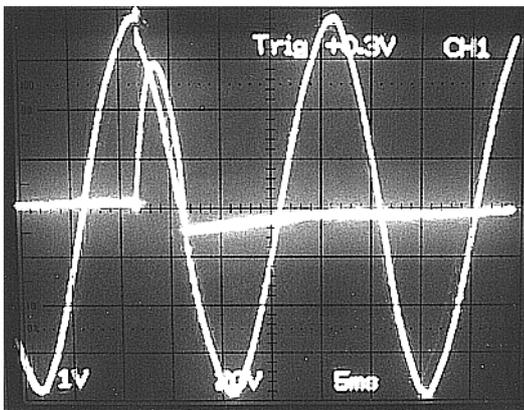
Régime symétrique

$I_p = 44 \text{ Aeff}$

$I_c = 30 \text{ A}$, soit 21 Aeff

$t_{ps} = 5 \text{ ms}$

Déclenchement de Q25



■ Association Q21B, Q23B, Q25C

Régime intermédiaire

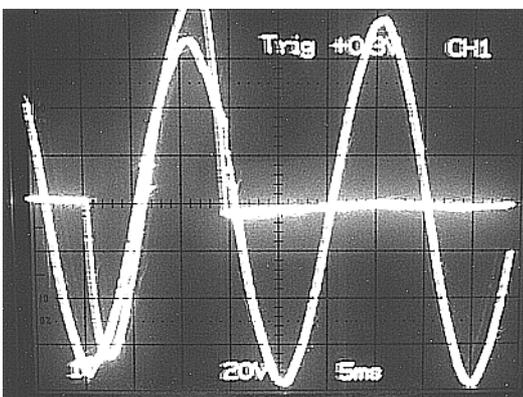
$I_p = 44 \text{ Aeff}$

$I_c = 48 \text{ A}$, soit 34 Aeff

$t_{ps} = 14 \text{ ms}$

Déclenchement de Q25

Les conditions d'essai sont identiques à celles de l'enregistrement précédent. Seule, la courbe de Q25 est modifiée. L'énergie nécessaire au déclenchement, pour la courbe C, est plus importante (donc t_{ps} plus grand).



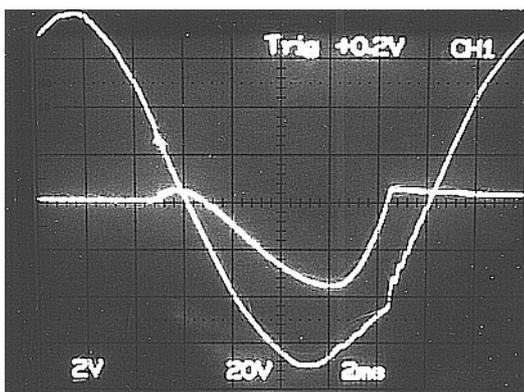
■ Association Q21B, Q23D, Q25B

Régime intermédiaire

$I_p = 35 \text{ Aeff}$

$I_c = 36 \text{ A}$, soit 25 Aeff

$t_{ps} = 9,4 \text{ ms}$



3.5 La coupure par l'arc

Documents à exploiter : Cahier technique n°154 «Technique de coupure des disjoncteurs Basse Tension».

■ La nature selfique d'un circuit électrique, mais aussi les variations du courant à couper, génèrent dès l'ouverture du circuit des f.c.e.m qui contribuent à son maintien.

L'arc électrique se forme dès la séparation des contacts. La coupure exploite une des propriétés électriques de l'arc : sa tension U_a . Cette tension d'arc sera très spécifique à chaque type de matériel.

L'extinction de cet arc est effective lorsque le courant devient et reste nul.

■ Considérons une boucle de circuit parcourue par un courant (soit nominal, soit de surcharge, soit de court-circuit). À l'ouverture des contacts, l'expression de la loi d'Ohm généralisée est :

$$e - R.i - L.di/dt - U_a = 0$$

Les conditions d'extinction de l'arc sont aussi celles du courant.

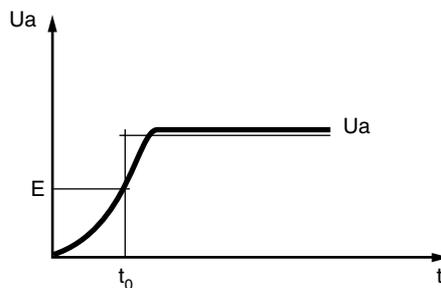
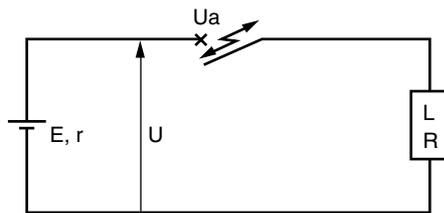
Conditions de coupure du courant :

Par souci de simplification, les conditions de coupure sont étudiées sous une tension continue.

$$e = E$$

Le courant sera forcé vers la valeur nulle dès que $U_a > E$

Il y aura coupure dès l'instant où le courant passe par zéro (voir C.T 154, chapitre 4).

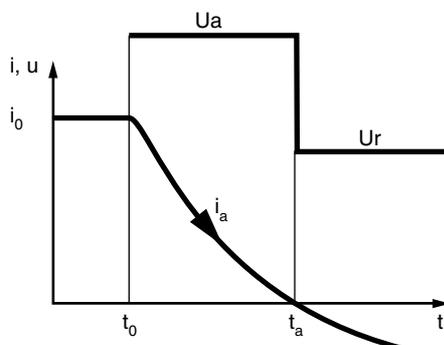


L'origine des repères correspond à l'ouverture des contacts.

$$U_a = 0$$

$$I_0 = E / R$$

À t_0 , la tension de l'arc U_a devient supérieur à E , i décroît



Il y a coupure dès l'instant où i passe par zéro, soit à t_a = temps de coupure.

Ce temps peut être obtenu par résolution de l'équation de la loi d'Ohm généralisée.

■ Les conditions de coupure sous **une tension alternative monophasée** diffèrent des précédentes par la prise en compte de la tension de régénération de l'arc (U_d).

□ Si $U_a \geq E$, alors i est forcé vers zéro, indépendamment du déphasage φ .

□ Si $U_a \ll E$, la coupure est conditionnée par la vitesse de régénération de l'arc et par la tension du réseau. Il y a coupure si, au zéro de courant, $U_a > U_r$ tension du réseau. Dans ce cas $U_d > U_r$, il y a donc coupure. Sinon l'arc peut se ré-amorcer.

Dans le cas de coupure avec limitation (voir contenu du chapitre 3), la tension d'arc doit nécessairement devenir plus grande que la tension du réseau, quel que soit le régime de courant :

□ en **régime symétrique**, coupure sous courant présumé lorsque $U_a > U_n \sqrt{2}$,

□ en **régime asymétrique**, coupure meilleure car $U_a > U_r$ avant le maxi de tension,

□ en **régime intermédiaire**, la coupure peut-être effective sur la seconde demi-onde du courant.

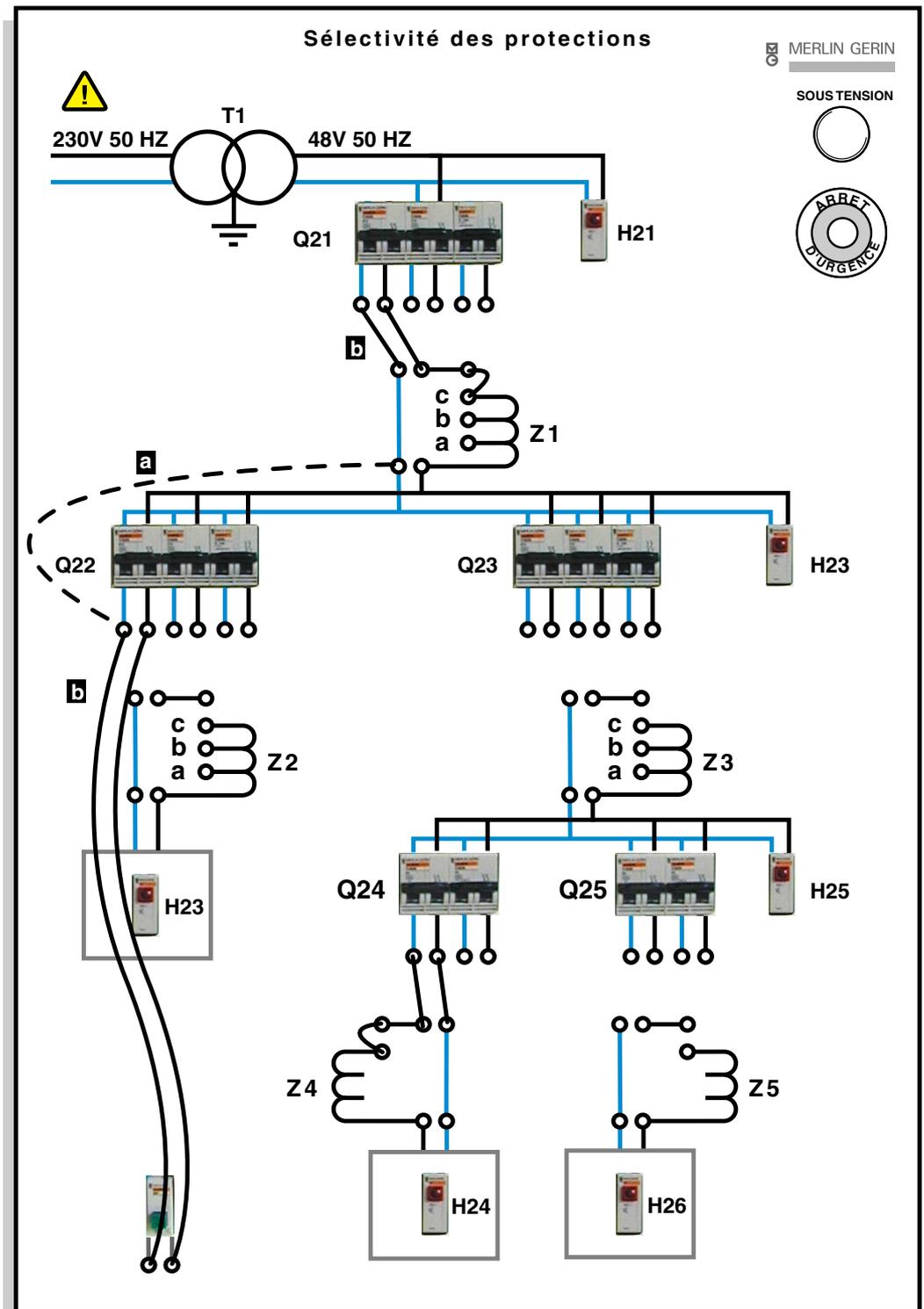
TP6
1/3

La coupure par l'arc visualisation de la tension de l'arc

Configuration de câblage : n°1, Q21B et Q22B, Icc présumé = 136 A

a Coupure sur 1 pôle de Q22 - Obligation de relier l'autre pôle du disjoncteur

b Coupure sur 2 pôles de Q22



TP6
2/3

La coupure par l'arc visualisation de la tension de l'arc

a Visualisation de la tension de l'arc sur un seul pôle

- 1 - Câbler suivant le schéma Q22B.
- 2 - Essayer de mesurer :
 - les temps t_0 et t_a ,
 - la tension U_a
- 3 - Observer le type de régime du courant I_{cc} et les conséquences sur U_a et t_a .

Pour recommencer la manipulation, prendre soin d'espacer les essais de 5 mn (dissipation thermique du disjoncteur).

b Visualisation de la tension de l'arc sur 2 pôles

- 1 - Câbler suivant le schéma ci-contre, variante «b».
- 2 - Faire les mêmes mesures que précédemment.
- 3 - Que vaut dans ce cas la tension de l'arc par rapport à la valeur mesurée sur 1 pôle ?

note : on observe la tension $U_r + TTR$, sur les graphes, où TTR est la Tension Transitoire de Rétablissement. Ces oscillations de tension sont créées par les capacités parasites et les constantes L et R du circuit.

TP6
3/3

La coupure par l'arc visualisation de la tension de l'arc

■ Exploitation des résultats

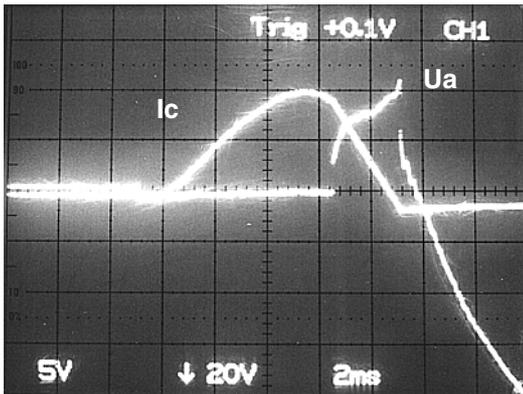
■ Exploitation sur 1 pôle :

Régime dit intermédiaire - Coupure sur la 2ème boucle.

i_c : calibre 5 V (1 V = 10 A)

U_a : calibre 20 V

I_{cc} présumé : 136 Aeff



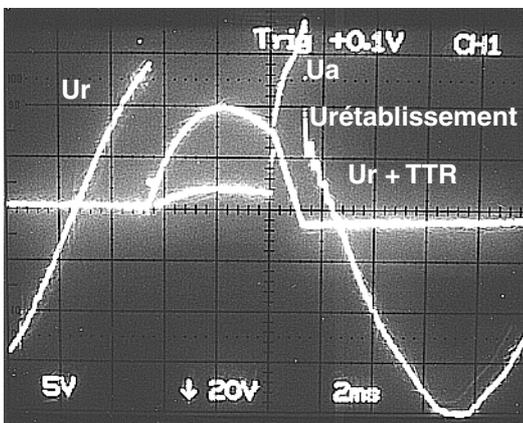
■ Exploitation sur 2 pôles :

Régime asymétrique

i_c : calibre 5 V (1 V = 10 A)

U_a : calibre 20 V

I_{cc} présumé : 136 Aeff



3.6 Annexe

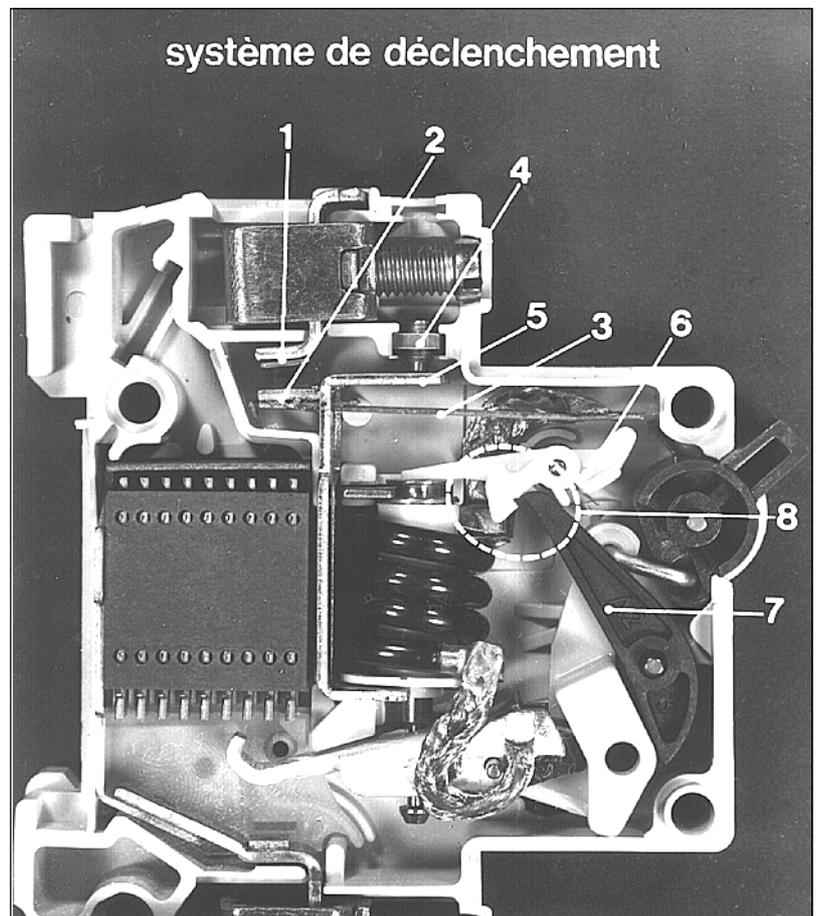
■ Sommaire

	page
Disjoncteurs - Technologie	101
Disjoncteurs - Courbes de déclenchement	102
Détermination d'un courant de court-circuit	107
Utilisation du banc	109

Disjoncteurs - Technologie

■ Coupe d'un disjoncteur magnéto-thermique

- 1 - contact fixe
- 2 - contact mobile
- 3 - bilame assurant le déclenchement thermique
- 4 - 5 - réglage du déclencheur thermique
- 6 - biellette du déclencheur thermique
- 7 - dispositif d'accrochage mécanique
- 8 - dispositif de déclenchement rapide



Disjoncteurs - Courbes de déclenchement

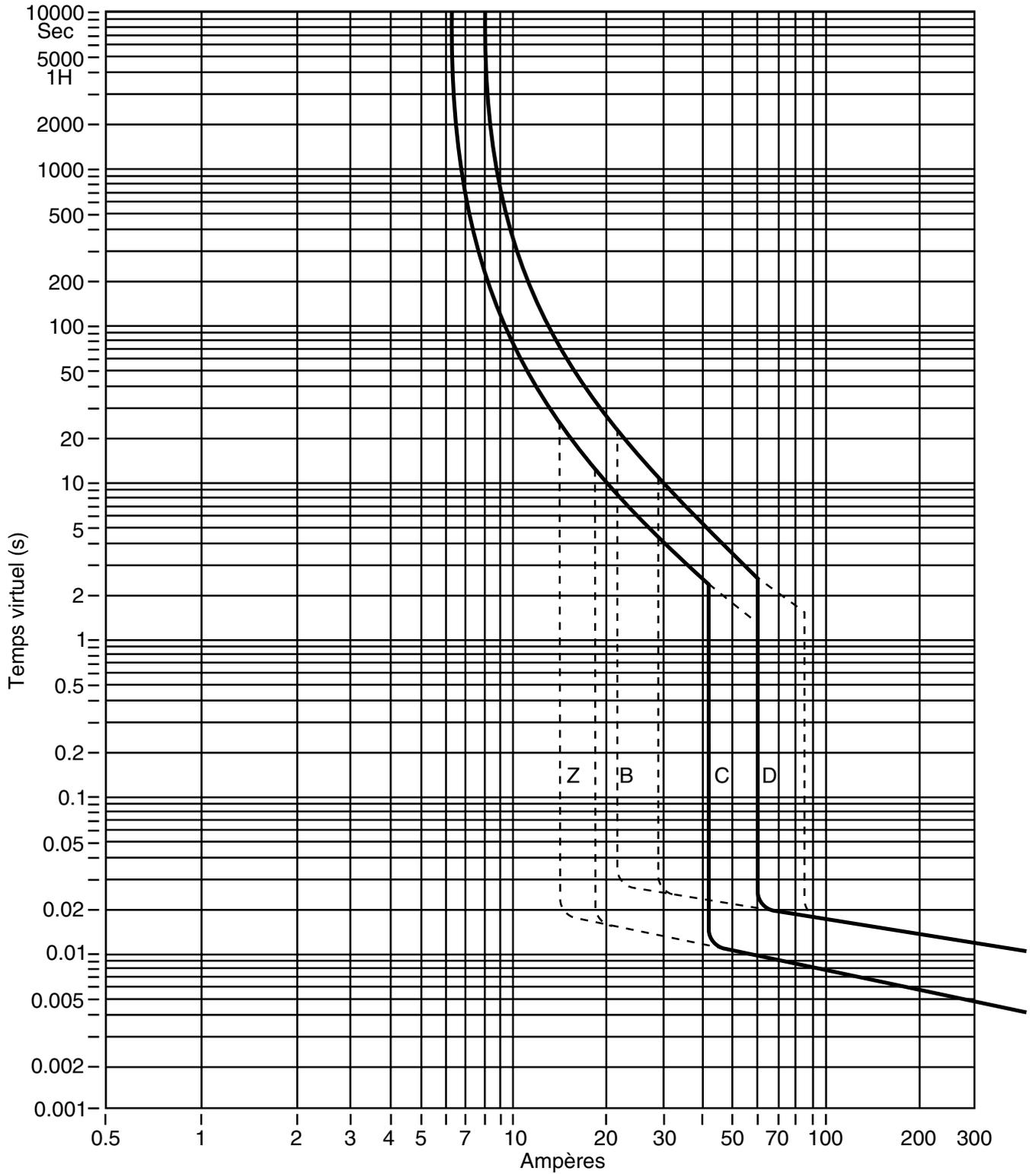
■ Les courbes de déclenchement ci-après concernent les disjoncteurs magnéto-thermiques utilisés sur ce banc, c'est à dire de calibre 4 A, 6 A, 10 A et 20 A.

■ **Rappel** : Le seuil de déclenchement **I_m** n'est pas réglable sur ces disjoncteurs, mais déterminé par les courbes B, C et D (dans notre cas) en fonction du courant nominal **I_n** :

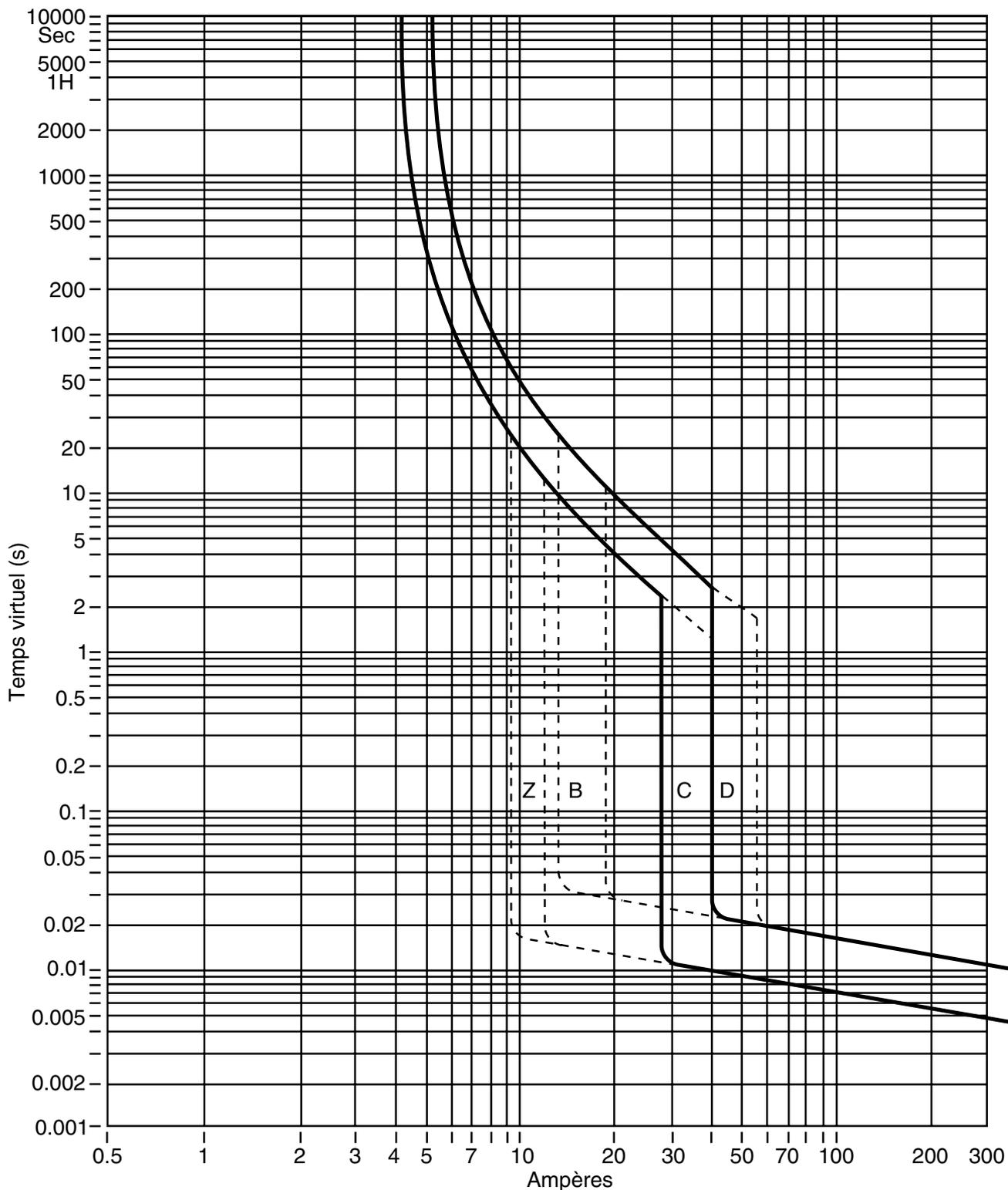
Courbe B	Courbe C	Courbe D
seuil bas	seuil standard	seuil haut
$3,2 I_n \leq I_m \leq 4,8 I_n$	$7 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	$10 I_n \leq I_m \leq 14 I_n$

■ Les caractéristiques répondent à la CEI 947.2, à 40 °C et sous 50 Hz.

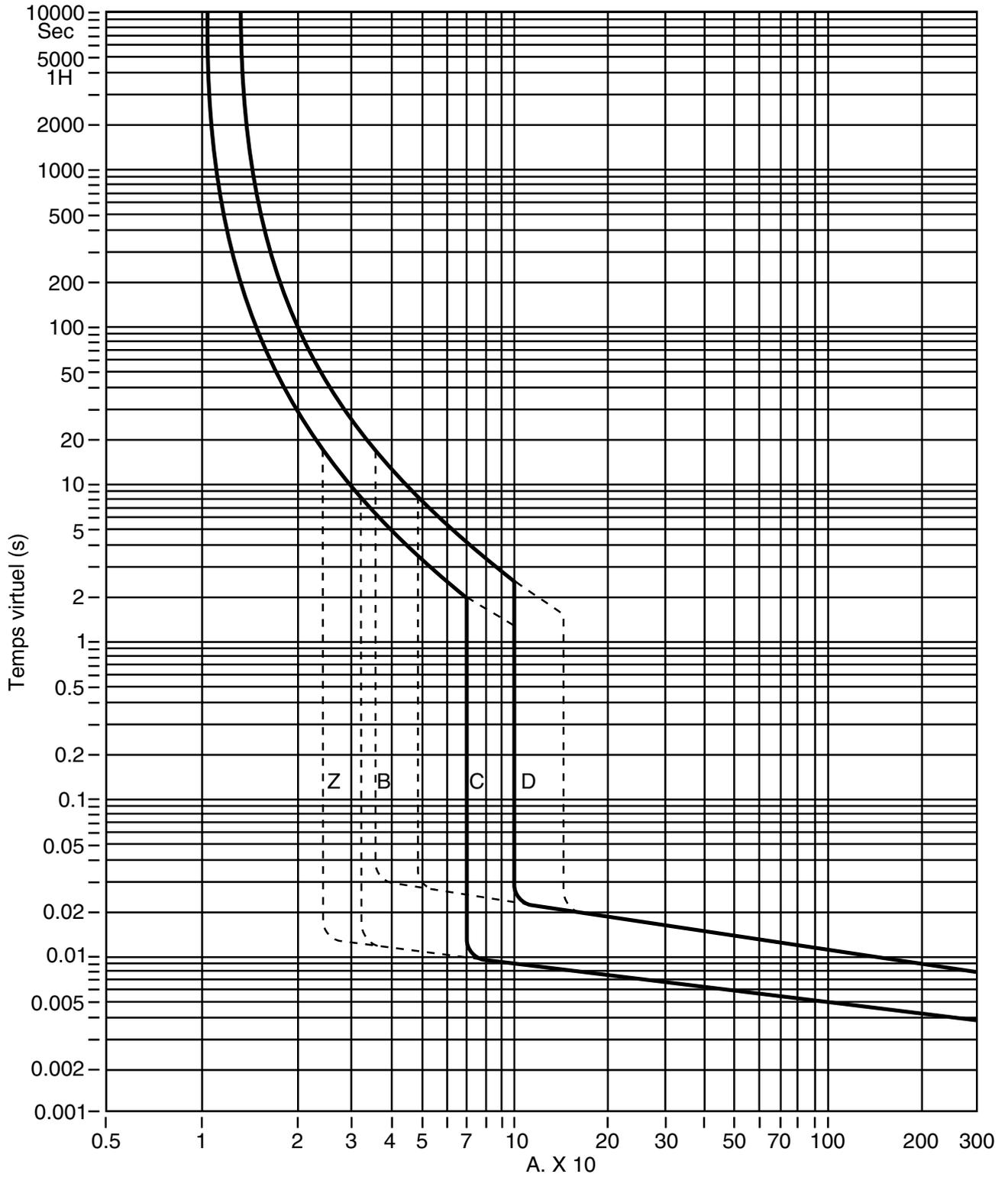
C 60N - Calibre 4 A



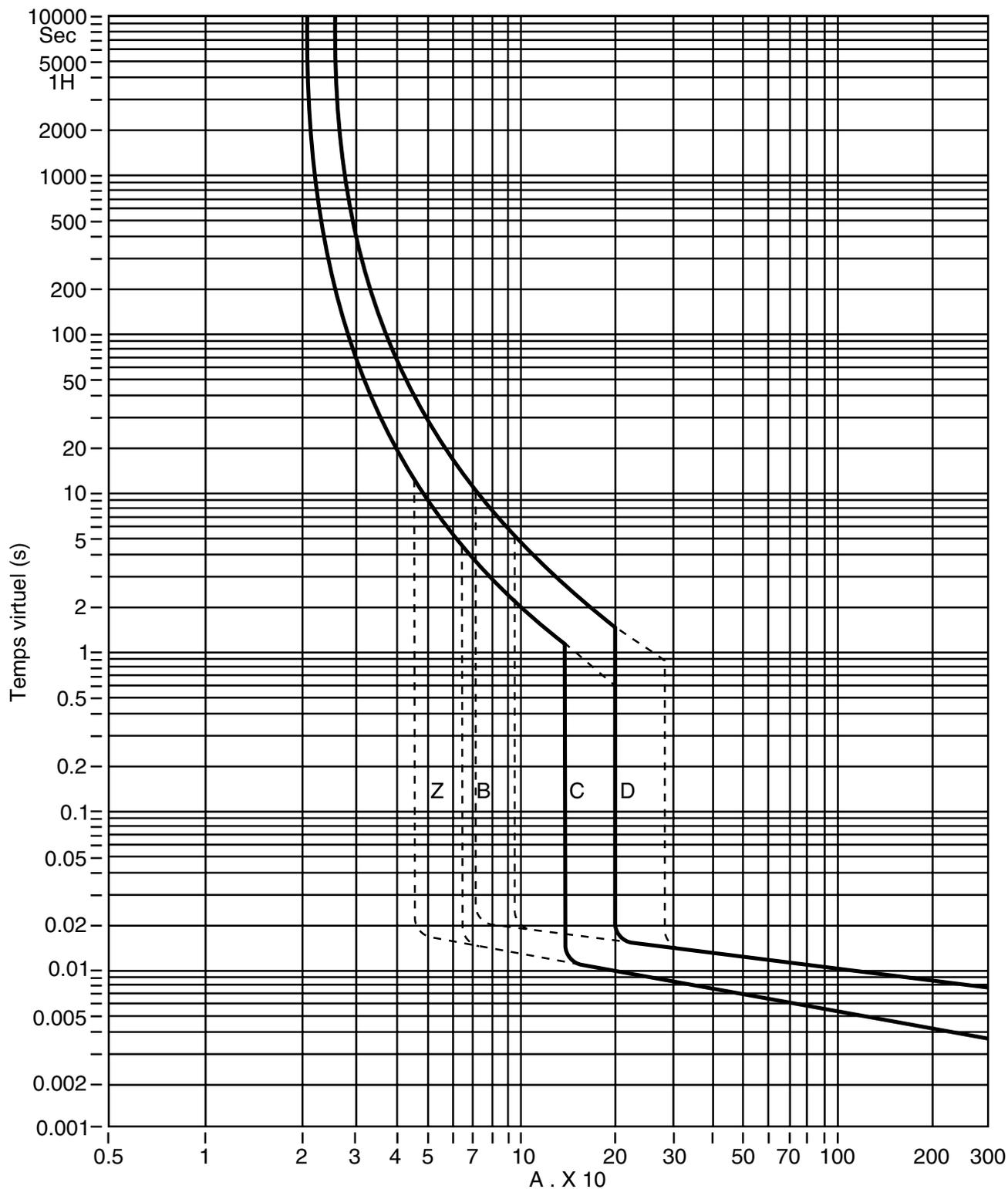
C 60N - Calibre 6 A



C 60N - Calibre 10 A

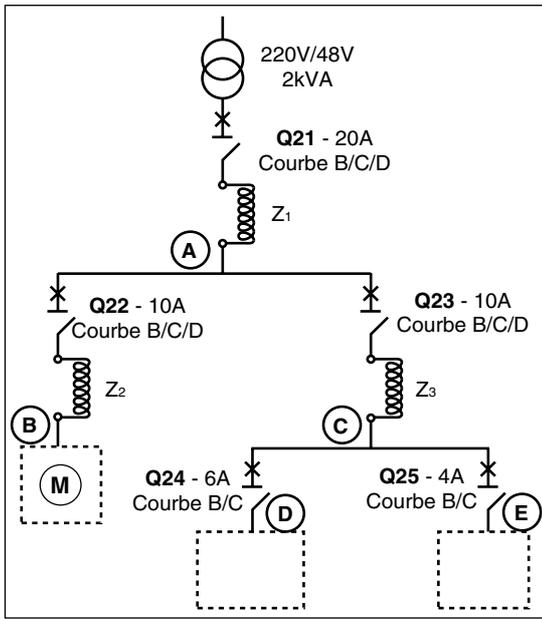


C 60N - Calibre 20 A



Détermination d'un courant de court-circuit

Les calculs suivants illustrent la Méthode des impédances. Ils sont effectués d'après le cahier technique n°158, chapitre 2, et utilisent les caractéristiques des divers éléments du banc.



■ Définitions :

- Z_{cc} : impédance équivalente à toutes les impédances parcourues par le courant I_{cc} du générateur jusqu'au point de défaut (de la source et des lignes),
- I_{cc} : intensité de court-circuit,
- U_{20} : tension à vide du transformateur au secondaire,
- S_n : puissance apparente du transformateur,
- U_{cc} : tension de court-circuit d'un transformateur, exprimé en %,
- P_{cc} : pertes joule totales
- I_2 : courant secondaire nominal

■ Impédance du réseau amont :

Soit un poste source 230 V, de puissance 100 kVA :

$Z_a = U^2 / S_{cc}$ où U est la tension composée du réseau non chargé

$$Z_a = 230^2 / (100 \cdot 10^3) = 0,53 \Omega$$

$$X_a = 0,98 \times Z_a \text{ en BT, soit : } X_a = 0,52 \Omega$$

$$R_a = 0,2 \times Z_a \text{ pour une puissance inférieure à 150 kVA, soit : } R_a = 0,10 \Omega$$

Cette impédance doit être «ramenée» au secondaire du transformateur afin de déterminer les impédances totales. Soit Z_a' cette impédance :

$$Z_a' = U_s^2 / S_{cc} = k^2 U^2 / S_{cc} = k^2 Z_a$$

k étant le rapport de transformation

$$Z_a' = (48 / 230)^2 \times 0,53 = 0,0212 \Omega = 21,2 \text{ m}\Omega$$

$$X_a' = 0,98 \times Z_a' = 20,7 \text{ m}\Omega$$

$$R_a' = 0,2 \times Z_a' = 4,2 \text{ m}\Omega$$

$$(X_a' \approx Z_a')$$

■ Impédance du transformateur :

$$Z_s = U_{cc} \times U_{20}^2 / S_n \quad \text{ici } U_{cc} = 7,5 \%$$

$$Z_s = 0,075 \times 48^2 / 480 = 360 \text{ m}\Omega$$

480VA est la puissance permanente du transformateur installé dans le banc, 2000 VA étant la puissance en pointe.

$$Z_s \text{ (en pointe)} = 0,075 \times 48^2 / 2000 = 86,4 \text{ m}\Omega$$

C'est cette dernière valeur qui sera retenue dans la suite des calculs.

$$R_s = P_{cc} / I_2^2 = 1,8 \cdot 10^{-2} \times 2 \cdot 10^3 / (41,6)^2 = 20,8 \text{ m}\Omega$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 83,8 \text{ m}\Omega$$

■ Autres impédances :

Liaisons par câble

$$R_L = 0,0225 \times L / 2,5$$

pour un conducteur en cuivre, de longueur L, de section 2,5 mm² à température de 20°C.

$$X_L = 0,15 \times L \text{ en m}\Omega \text{ (dépend du mode de pose choisi)}$$

Cette impédance est simulée ici par selfs Z1 à Z5.

Contacts (disjoncteurs)

$$D1 = 7,35 \text{ m}\Omega ; D2 = D3 = 19,6 \text{ m}\Omega ; D4 = 100 \text{ m}\Omega ; D5 = 150 \text{ m}\Omega$$

Leur impédance est considérée comme purement résistive :

$$Z_D = R_D$$

■ Exemple - calcul des impédances au point C du synoptique :

Les impédances de ligne sont à ce point Z1 et Z3, chacune câblées en position c :

$$Z1 = 260 + 75 j ; Z3 = 170 + 72 j$$

Les impédances des liaisons sur le banc sont ici négligées. La valeur de l'impédance au point C est donc :

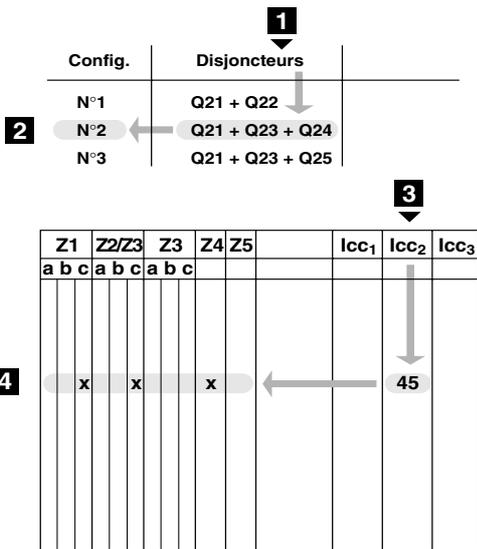
$$Z_{cc}^2 = (X_{a'} + X_s + X_{D1+D3} + X_{Z1} + X_{Z3})^2 + (R_{a'} + R_s + R_{Z1} + R_{Z3})^2$$

Nous avons donc au point C :

$$Z_{cc} \approx 536 \text{ m}\Omega$$

$$I_{cc} = U_s / Z_{cc} = (48 / 536) \times 10^3 \approx 90 \text{ A}$$

Utilisation du banc



■ Sauf pour utilisations particulières du banc demandées aux élèves, le câblage des manipulations s'effectue en exploitant le «Tableau des valeurs de Icc» de la page ci-contre comme suit :

(voir exemple ci-contre)

1. On choisit une association de disjoncteurs (dans notre exemple, le choix est Q21B, Q23B, Q24B).

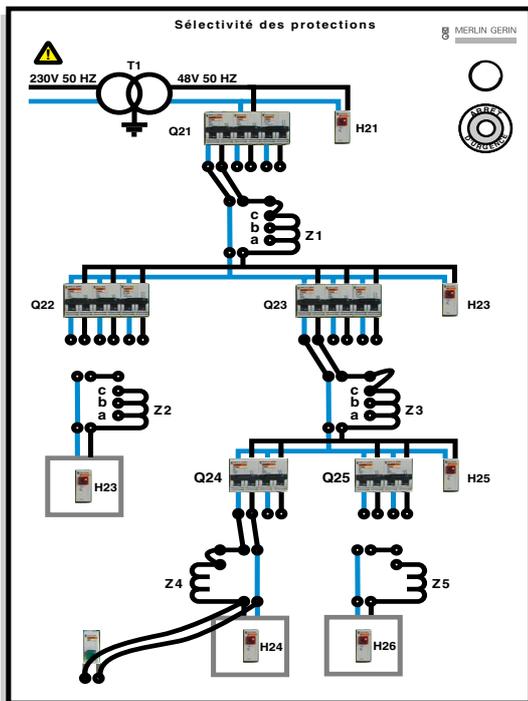
2. On en déduit le numéro de la «configuration de câblage», correspondant dans le tableau à une colonne des valeurs de Icc pré-calculées (colonne n° 2 dans l'exemple).

3. On choisit dans la colonne en question une valeur de Icc (45 Aeff dans l'exemple).

4. On en déduit le mode de câblage des impédances Z1 à Z5 (les valeurs de Z2 et Z3 étant identiques, elles sont regroupées dans une seule colonne).

5. On procède alors au câblage correspondant ; ici nous avons :

- disjoncteurs : Q21B, Q23B, Q24B,
- impédances : Z1c, Z3c (= Z2c), Z4.



■ **Tableau des valeurs de lcc**

■ Le tableau présente diverses combinaisons de câblage en série des bobines et des valeurs correspondantes de lcc, selon 3 types de configurations.

Chaque configuration correspond à une association de disjoncteurs (sélectivité à 2 ou 3 étages) d'impédance déterminée.

Z1			Z2 (Z3)			Z3			Z4	Z5	Z bobines mΩ	lcc1 eff A	lcc2 eff A	lcc3eff A
a	b	c	a	b	c	a	b	c						
x											80 + 12 j	269	181	154
	x										170 + 50 j	180	140	125
		x									260 + 75 j	136	115	105
x			x								130 + 22 j	220	162	141
x				x							180 + 43 j	178	140	125
x					x						250 + 84 j	137	115	105
	x		x								220 + 59 j	154	126	114
	x			x							270 + 81 j	132	112	103
	x				x						340 + 122 j	108	94	88
		x	x								310 + 84 j	120	104	97
		x		x							360 + 106 j	106	94	88
		x			x						430 + 147 j	90	81	77
x			x						x		508 + 304 j	70	63	61
x				x					x		558 + 326 j	65	59	57
x					x				x		628 + 367 j	58	54	52
	x		x						x		598 + 342 j	61	57	54
	x			x					x		648 + 364 j	57	53	51
	x				x				x		718 + 404 j	52	49	47
		x	x						x		688 + 367 j	55	52	50
		x		x					x		738 + 389 j	52	49	47
		x			x				x		808 + 430 j	48	45	44
x									x		458 + 295 j	74	67	64
	x								x		548 + 332 j	65	60	57
		x							x		638 + 358 j	58	54	52
			x						x		428 + 292 j	77	69	66
				x					x		478 + 313 j	71	65	62
					x				x		548 + 354 j	64	59	56
			x			x					100 + 18 j	246	172	148
				x			x				200 + 62 j	162	130	117
					x			x			340 + 144 j	105	92	86
		x							x	x	1016 + 640 j	37	35	35

configuration de câblage	disjoncteurs en série	impédance mΩ
N°1 (Icc 1)	Q21 + Q22	27
N°2 (Icc 2)	Q21 + Q23 + Q24	127
N°3 (Icc 3)	Q21 + Q23 + Q25	177

■ Impédance du transformateur

$Z_{\text{transformateur}} = 20,6 + 80,6 j. (m\Omega)$

■ Impédance totale de l'installation :

$Z_T = \Sigma$ des impédances des sous-ensembles

= Z bobines + Z disjoncteurs + Z transformateur.



Institut Schneider Formation
CITEF S.A.
2/4, 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.