

Électrotechnique, Module **E3** – Banc d'étude des **SLT** (**MDG99605**)
Travaux **Pratiques n°2** : le schéma **IT** (face B du banc)

Réponses aux questions [215 min. effectives – 100 pts]

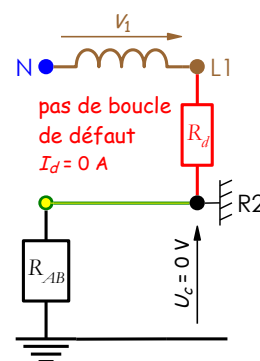
0. Questions préliminaires [15 min. – 5 pts]

- [1 pt] a) Par rapport au schéma TT, la différence structurelle majeure est l'**isolement du neutre** du transformateur. Il n'est pas relié à la Terre, ou seulement via une forte impédance ($>1000 \Omega$). [1 pt]
- [2 pts] b) **1^{er} option** : les masses des récepteurs sont reliées à la terre par une **prise de terre séparée** (de résistance R_B) de la prise de terre du CPI (de résistance R_A). [1 pt]
2^e option : les masses sont reliées à une **prise de terre commune** avec celle du CPI (R_{AB}). [1 pt]
- [2 pts] c) Le principal avantage d'utilisation du schéma IT est qu'il **garantit la continuité de service** au 1^{er} défaut d'isolement, contrairement à tous les autres schémas. [2 pts]

A – Cas d'un défaut simple [100 min. – 45 pts]

1. Détermination des tensions de contact [30 min. – 13 pts]

- [7 pts] a) Recopie du schéma B1 [2 pts]. L'appui sur S2 simule un **défaut d'isolement franc** ($R_D = 0 \Omega$) de **mode commun**, c'est-à-dire entre une phase et une masse (la tension mise en jeu est la tension simple du réseau). [1 pt]
La tension de contact vaut $U_{c2} = 0 \text{ V}$ [1 pt] car l'isolation du neutre supprime toute possibilité de boucle de défaut avec la terre : en la reliant avec la masse de R2, aucun courant ne circulerait [1 pt]. Schéma équivalent ci-contre [2 pts].
- [3 pts] b) Câblage du schéma et du multimètre : cf. fig. câblage B1 p. 4 [3 pts] (on utilise 2 résistors de 22Ω en parallèle pour obtenir $R_{AB} = 11 \Omega$).
- [1 pt] c) Appui sur S2 (expérimentation du défaut d'isolement). On mesure $U_{c2} \approx 0,03 \text{ V}$ (le neutre n'est pas totalement isolé de la terre : il y a un limiteur de surtension, le CPI et des fuites capacitives des conducteurs). [1 pt]
- [2 pts] d) Même si tous les récepteurs ont leur masse reliée par le conducteur PE, en cas de défaut d'isolement sur un récepteur, **les tensions de contacts restent nulles grâce à l'isolement du neutre** [1 pt]. Une personne en contact avec les masses ne court donc **aucun danger** : elle ne subira **aucun courant corporel** (ou très faible, car limité par l'impédance équivalente entre le neutre et la terre) [1 pt].



2. Fonctionnement du contrôleur permanent d'isolement (CPI) [20 min. – 10 pts]

- [3 pts] a) Mise en service du CPI [2 pts]. La valeur affichée ($\sim 500 \text{ k}\Omega$) indique la **résistance d'isolement du neutre du réseau par rapport à la terre** [1 pt].
- [2 pts] b) Valeur du seuil de résistance du réseau : cf. celle réglée avant le TP [1 pt]. Réglage à $1,5 \text{ k}\Omega$ [1 pt].
- [2 pts] c) Appui sur S2. Au bout de quelques sec., l'avertisseur sonne, la diode de défaut du CPI et le voyant séparé s'allument [1 pt] ; la valeur de la **résistance d'isolement affichée tombe à $0,0 \text{ k}\Omega$** [1 pt].
- [3 pts] d) La rotation du bouton du potentiomètre sur la graduation 8 augmente la résistance du défaut (donc la résistance d'isolement du réseau) à $R_d = 2,2 \times 8/10 = 1,76 \text{ k}\Omega$ ($> 1,5 \text{ k}\Omega$). Au bout de 5 secondes, le CPI cesse de signaler un défaut. [3 pts].

3. Recherches du défaut d'isolement à l'aide du CPI [30 min. – 12 pts]

- [2 pts] a) L'avertisseur sonne en l'absence de défaut grâce au **commutateur en va-et-vient** [1 pt] : selon qu'il y a un défaut ou non, le basculement du commutateur met en/hors tension l'avertisseur. [1 pt]
- [4 pts] b) En appuyant sur S2, on crée un défaut, dont on coupe la signalisation sonore avec le commutateur (mais le défaut persiste). En ouvrant Q32, on coupe la branche où se trouve le défaut, donc le défaut est exclu du réseau connecté au CPI. On se retrouve dans la situation où l'on a basculé le commutateur en l'absence de défaut, donc l'avertisseur sonne (comme à la question précédente). [2 pts] La reprise de la sonnerie signale donc que **le défaut se situe en aval du disjoncteur ouvert**. [2 pts]
- [3 pts] c) Pour localiser la branche en défaut, il suffit de basculer le commutateur pour éteindre la signalisation sonore après déclenchement du CPI, puis d'**ouvrir et refermer un à un les disjoncteurs, en partant de la source vers les récepteurs** [2 pts]. On finit ainsi par identifier le disjoncteur le plus bas qui provoque la reprise de la signalisation sonore : le défaut s'y trouve en aval. [1 pt]
- [3 pts] d) L'inconvénient majeur de cette méthode est la **rupture de service** qu'elle occasionne momentanément (lors de l'ouverture des disjoncteurs), la continuité de service étant essentielle en schéma IT. [2 pts]

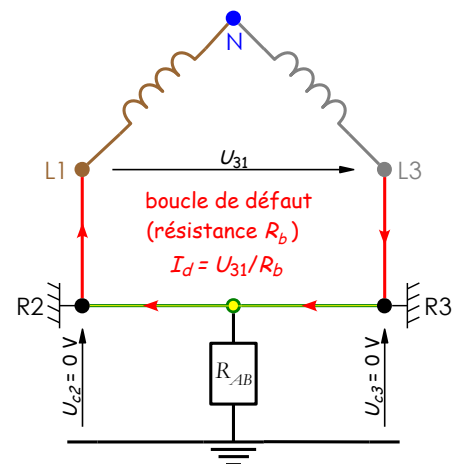
4. Recherches du défaut d'isolement à l'aide du kit mobile [20 min. – 10 pts]

- [3 pts] a) Branchement et mise en service du kit VigiloHM XGR-XRM : cf. fig. câblage B1 p. 4 [3 pts].
- [3 pts] b) Étalonnage récepteur XRM (pince branchée en sortie du générateur XGR) [3 pts] : une sensibilité faible suffit à obtenir la valeur maximale (18-19) sur le récepteur car le réseau est très petit.
- [4 pts] c) Procédure de localisation : on retrouve la valeur d'étalonnage partout dans la branche en défaut (car le réseau est tout petit) et presque 0 dans les autres branches (attendre suffisamment longtemps pour que la valeur se stabilise à chaque changement de fil sondé). [4 pts]

B – Cas d'un défaut double [100 min. – 50 pts]

5. Cas de deux défauts francs [50 min. – 27 pts]

- [6 pts] a) Recopie du schéma B2 [3 pts]. L'appui simultané sur S2 et S3 crée un **défaut d'isolement de mode différentiel** [1 pt], c'est-à-dire entre 2 conducteurs actifs (la tension mise en jeu est la tension composée). Schéma équivalent ci-contre [2 pts]
- [4 pts] b) $I_d = U_{31}/R_b = 230 / 1 = 230 \text{ A}$ [2 pts] : un ou plusieurs des disjoncteurs (de calibre inférieur à 16A) du réseau distribuant R2 vont s'ouvrir par **déclenchement magnétique**. La protection des conducteurs du réseau est donc assurée. [2 pts]
- [6 pts] c) Les tensions de contact masse/terre U_{c2} et U_{c3} sont nulles car la résistance du conducteur PE est nulle [2 pts] : aucun courant ne circulerait dans une boucle résistive connectée en parallèle. **Idem pour la tension de contact entre masses U_{c23}** . [1 pt]



En l'absence du conducteur PE, cette tension de contact entre masse serait égale à la tension composée du réseau [2 pts] (aucun circuit parallèle ne viendrait limiter le courant corporel !).

Grâce au conducteur PE, il n'y a donc **pas de danger pour les personnes en cas de contact indirect en régime IT**, même lors d'un double défaut franc. [1 pt]

- [8 pts] d) Câblage du schéma B2 cf. fig. p. 4 [3 pts], branchement et paramétrage de l'oscilloscope. [5 pts]
- [3 pts] e) Appui sur S2 et S3 : tout ou partie des disjoncteurs Q21, Q22, Q32 et Q33 disjonctent instantanément et simultanément (pas de sélectivité ampèremétrique) [1 pt]. Sur l'oscillogramme 1 p. 5), on mesure $\hat{I}_d > 100 \text{ A}$; la tension de contact reste limitée : $\hat{U}_{c2} < 2 \text{ V}$. [2 pts]

6. Cas avec un conducteur PE résistif (départ long) [50 min. – 23 pts]

[2 pts] a) Câblage du schéma B3 et branchement du multimètre (comme ampèremètre sur le calibre « mA ») en série avec le résistor de $1000\ \Omega$: cf. fig. câblage B3 p. 4. [2 pts]

[9 pts] b) Expérimentation d'un double défaut avec un contact phase-masse résistif et un conducteur PE résistif. Aucun disjoncteur ne se déclenche. [1 pt]

Sur l'oscillogramme 2 (cf. p. 5), on mesure le courant de défaut $I_d \approx 6,8\text{ A}$ et la tension de contact $U_{c2} \approx 57\text{ V}$. [2 pts].

La norme CEI 60 479 n'est pas respectée car $U_{c2} > 50\text{ V}$, la valeur de la tension limite conventionnelle de sécurité U_L (locaux secs) [1 pt]. La sécurité des personnes n'est pas assurée car la valeur de U_{c2} les expose à un courant corporel dangereux en cas de contact avec la masse de R2 [1 pt].

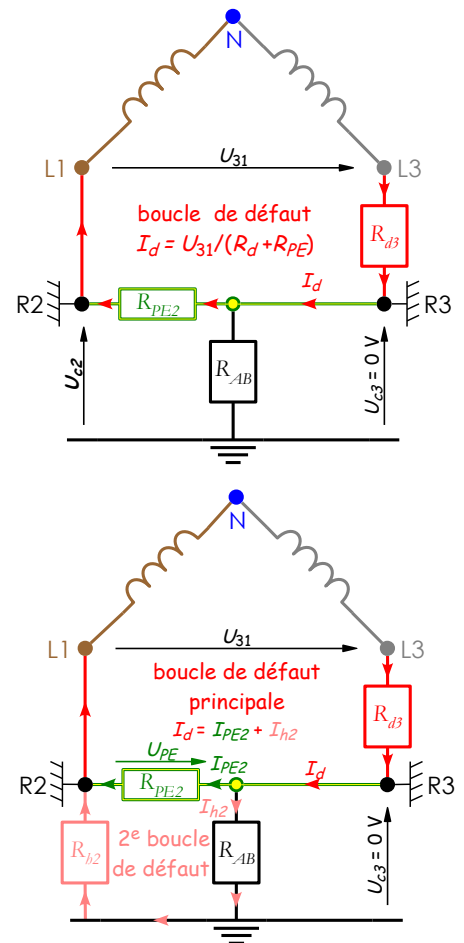
La sécurité des biens n'est pas non plus assurée car le défaut résistif sur R3, qui est une cause possible de départ d'incendie, va perdurer longtemps avant le déclenchement de Q32 ou Q33 [2 pts]. En effet, leur calibre $I_n = 6\text{ A}$ est à peine inférieur à l'intensité du courant de défaut $I_d = 6,8\text{ A}$ (rapport $I_d/I_n \approx 1,1$). D'après la courbe de déclenchement des disjoncteurs C60N (cf. notice p. 11), on obtient un temps de déclenchement t supérieur à 1 heure pour $I_d/I_n = 1,1$. [2 pts]

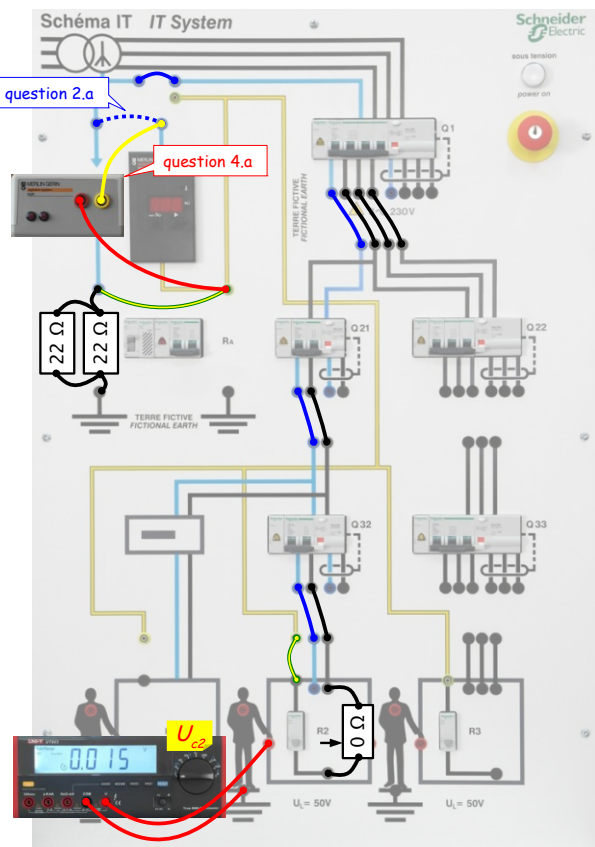
[4 pts] c) Avec le résistor de $1000\ \Omega$ simulant une personne en contact avec la masse de R2, on mesure un courant corporel $I_h \approx 0,055\text{ A}$ [2 pts]. Subi durant 5 secondes, ce courant se situe dans la zone AC-4.2 [2 pts] : probabilité de fibrillation ventriculaire comprise entre 5 et 50 % d'après la norme.

[5 pts] d) Une solution consiste à ajouter un dispositif différentiel à courant résiduel sur le départ long, ici par exemple celui associé au disjoncteur Q32 [2 pts] (déclencheur 30 mA) : cf. fig. p. 4. On obtient alors un déclenchement immédiat de Q32 dès qu'on appuie sur S2, quelle que soit la séquence d'appui sur les S (car c'est S2 qui crée la fuite sur la ligne d'alimentation de R2). [1 pt]

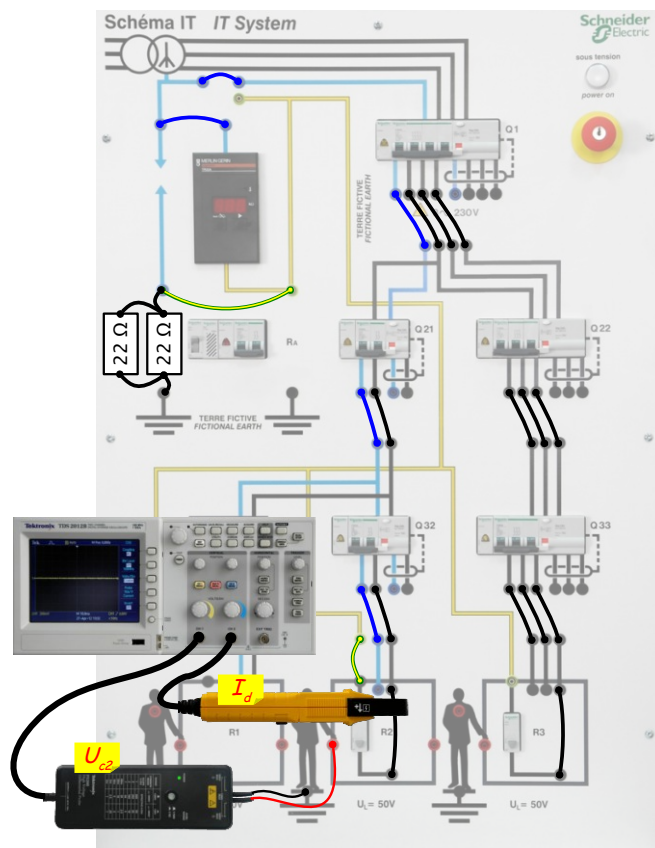
Cette solution empêche l'occurrence de la situation du double défaut résistif dangereuse pour les personnes et les biens. En revanche, elle compromet la continuité de service [2 pts] dès 1^{er} défaut d'isolement en aval de Q32. Elle doit donc être employée avec discernement, lorsqu'elle est vraiment nécessaire, ce qui impose de déterminer par calcul ou mesure la résistance du conducteur PE.

[3 pts] e) Décâblage et rangement [3 pts].

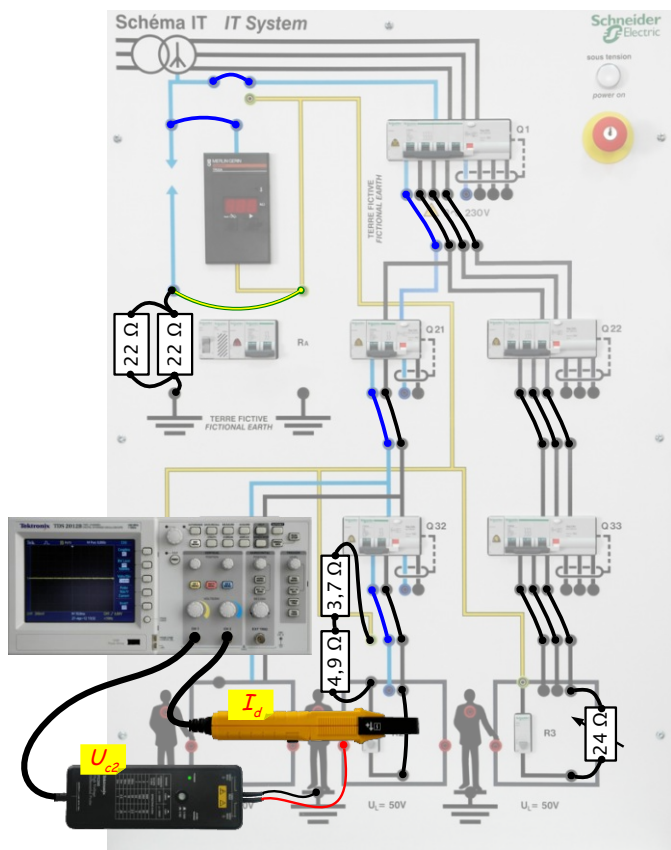




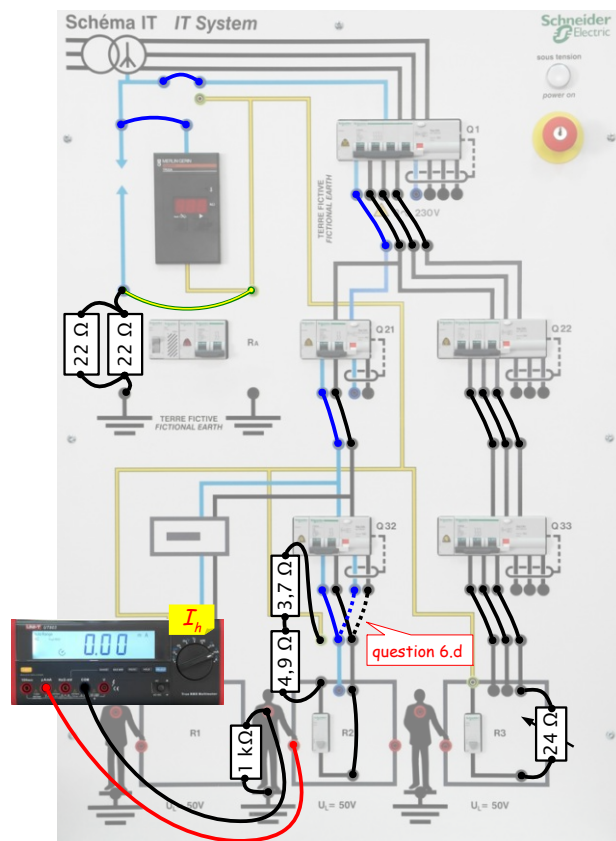
Câblage du schéma B1 (questions 1.b - 4.c)



Câblage du schéma B2 (question 5.d-5.e)



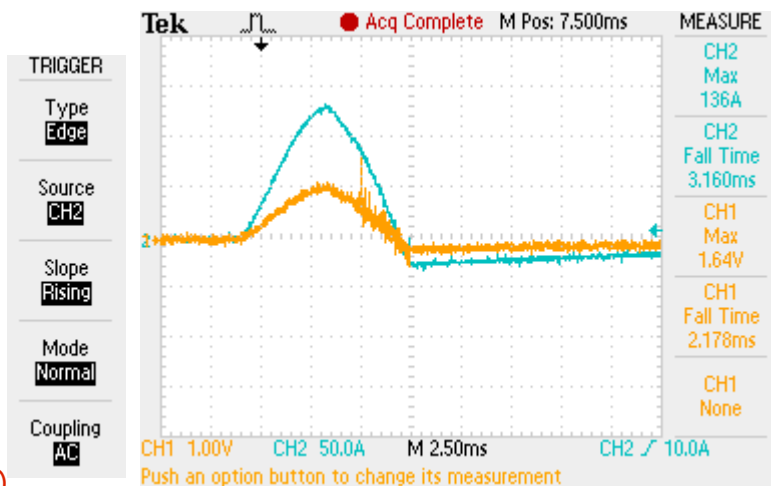
Câblage du schéma B3 (questions 6.a-6.b)



Modifications du schéma B3 (questions 6.c-6.d)

Oscillogramme 1

- sonde de tension : calibre 130 V
 - ▷ couplage AC
 - ▷ probe 50X Voltage
 - ▷ Volt/Div Fine (1V/Div)
- pince ampèremétrique : calibre 300 A
 - ▷ couplage AC
 - ▷ probe 1KA/V Current
 - ▷ Volt/Div Coarse (50A/Div)
- base de temps : 2,5 ms/Div
avance 7,5 ms
- déclenchement (« trigger »)
front montant 10A CH2 (cf. ci-contre)



Oscillogramme 2

- sonde de tension : calibre 130 V
 - ▷ couplage AC
 - ▷ probe 50X Voltage
 - ▷ Volt/Div Coarse (50V/Div)
- pince ampèremétrique : calibre 30 A
 - ▷ couplage AC
 - ▷ probe 10KA/V Current
 - ▷ Volt/Div Fine (4A/Div)
- Base de temps : 5 ms/Div
0 ms
- déclenchement (« trigger »)
 - ▷ Mode Auto (« run/stop »)

