

Électrotechnique, Module **E1** – Banc d'étude des **SLT** (**MDG99605**)

Travaux **Pratiques n°1** : les schémas **TT** et **TN** (face A du banc)

Réponses aux questions [220 min. effectives – 100 pts]

I – Étude du schéma TT [100 min. – 55 pts]

1. Questions préliminaires [10 min. – 2 pts]

[1 pt] a) La tension composée vaut $U = 230\text{ V}$ donc la tension simple vaut $V = U/\sqrt{3} = 133\text{ V}$ [1 pt]

[1 pt] b) D'après la notice p. 21, pour un local sec, $U_L = 50\text{ V}$. [1 pt]

2. Absence de mise à la terre des masses : étude des conséquences [60 min. – 23 pts]

[6 pts] a) Recopie du schéma A1. [1 pt]

Le résistor de $22\ \Omega$ simule la résistance de la prise de terre du neutre du transformateur [1 pt].

L'appui sur S2 simule un défaut d'isolement franc de mode commun (phase - masse) [1 pt].

Schéma électrique équivalent ci-contre [1 pt]. Aucun courant ne peut circuler car la boucle de défaut est ouverte ($I_d = 0\text{ A}$) [1 pt].

$U_{c2} = V_1 = 133\text{ V}$ (en triphasé usuel 400 V , $U_{c2} = 230\text{ V}$) [1 pt]

[2 pts] b) Câblage et branchement du voltmètre : cf. fig. câblage A1 p. 3 [2 pts]

[4 pts] c) On relève $U_{c2} \approx 137\text{ V}$, conformément au calcul [1 pt]. Aucun courant ne circule car le circuit est ouvert : la masse de R2, non reliée à la terre, est isolée [1 pt]. La norme n'est pas respectée car $U_{c2} > U_L$ [1 pt].

Aucun disjoncteur ne se déclenche car il n'y a pas de surintensité. [1 pt]

[3 pts] d) Câblage du résistor et de l'ampèremètre : cf. fig. câblage A1 p. 3 [1 pt]

Il s'agit un contact indirect (la personne ne touche pas un conducteur actif).

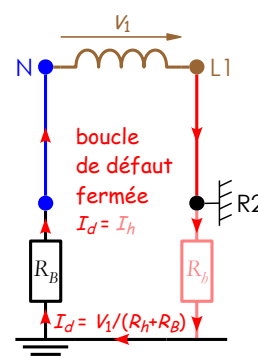
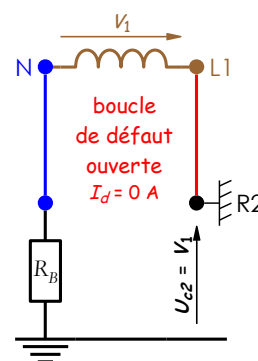
Schéma électrique équivalent ci-contre [1 pt].

$I_h = V_1/(R_h + R_B) = 130\text{ mA}$ (si $V_1 = 230\text{ V}$, $I_h = 225\text{ mA}$) [1 pt]

[4 pts] e) On relève $I_h \approx 137\text{ mA}$ conformément au calcul [1 pt].

Appliqué durant 2 s , ce courant est défini dans la zone **AC-4.3** : paralysie respiratoire et fibrillation cardiaque probable à plus de 50% [1 pt]. **Aucun disjoncteur ne se déclenche** (pas de surintensité) [1 pt]. Pour préserver la personne (rester dans la zone AC-2), il faudrait couper ce courant en moins de 20 ms [1 pt]

[4 pts] f) Avec le DDR, on obtient la même valeur pour U_{c2} . Q32 ne disjoncte pas à l'apparition du défaut d'isolement mais seulement par la détection d'un courant de fuite lors du contact de la personne avec la masse sous tension [2 pts]. La personne est donc électrisée entre le contact et la coupure effective (durant quelques ms). Si $V_1 = 230\text{ V}$, on est quand même dans la zone AC-3 (paralysie respiratoire). L'installation est donc dangereuse pour les personnes. [2 pts]



3. Nécessité de la protection par DDR avec mise à la terre des masses [50 min. – 30 pts]

- [4 pts] a) Utilisation de la prise de terre R_A : voir le schéma électrique A2 (caché dans le porte-folio) [1 pt]. Schéma électrique équivalent ci-contre [1 pt].

Un courant de fuite circule dans la boucle de défaut :

$$I_d = V_1 / (R_A + R_B) = 3 \text{ A (si } V_1 = 230 \text{ V, } I_d = 5,2 \text{ A) [1 pt]}$$

$$U_{c2} = R_A \cdot I_d = 66,5 \text{ V (si } V_1 = 230 \text{ V, } U_{c2} = 115 \text{ V) [1 pt]}$$

- [1 pt] b) Câblage et branchement de l'ampèremètre : cf. modif. câblage A1 p. 3 [1 pt]

- [4 pts] c) On relève $U_{c2} \approx 69 \text{ V}$ et $I_d \approx 3,1 \text{ A}$ [1 pt].

On a encore $U_{c2} > U_L$ (norme non respectée) [1 pt]

Aucun disjoncteur ne s'ouvre car I_d est inférieur au plus petit calibre I_n des disjoncteurs (6 A pour Q32) [2 pts].

- [6 pts] d) Câblage du résistor et de l'ampèremètre : cf. cf. modif. câblage A1 p. 3 [1 pt]

Schéma électrique équivalent ci-contre [1 pt]

La résistance de la boucle de défaut vaut $R_{eq} = R_B + R_h \cdot R_A / (R_h + R_A) = 43,5 \Omega$

donc $I_d = V_1 / R_{eq} \approx 3 \text{ A}$. On en déduit $U_{c2} = R_A \cdot I_d \approx 66 \text{ V}$

puis $I_h = U_{c2} / R_h = 66 \text{ mA}$ (si $V_1 = 230 \text{ V}$, $I_h = 116 \text{ mA}$) [4 pts]

- [2 pts] e) On relève $I_h \approx 67 \text{ mA}$ [1 pt] : ce courant corporel reste dangereux (dans la zone AC-4.2 pour 2 s d'exposition) même si la prise de terre des masses permet d'évacuer une partie du courant de défaut [1 pt].

- [2 pts] f) Câblage et réglage du relais différentiel de Q1 [2 pts].

- [4 pts] g) Avec ce défaut d'isolement franc dans R2, le relais différentiel se déclenche au seuil $I_{\Delta n} \leq 3 \text{ A}$ avant tout contact d'une personne avec la masse sous tension (prévention de toute électrisation) [1 pt]. L'inconvénient de ce système est que tout le réseau est hors service au moindre récepteur en défaut d'isolement [1 pt].

En ajoutant un résistor de 200Ω (juste avant S2), le relais ne se déclenche plus à 3 A ; il faut abaisser le seuil de sensibilité à $I_{\Delta n} = 1 \text{ A}$ [1 pt].

En conclusion, la sensibilité ne doit donc pas être trop basse, pour que le relais puisse détecter les défauts d'isolement résistifs [1 pt].

- [2 pts] h) Câblage de la distribution de R2 avec tous les DDR en respectant la règle de sélectivité verticale $I_{\Delta n \text{ amont}} > I_{\Delta n \text{ aval}} \times 2$: cf. fig. câblage A2, p.3. On a :

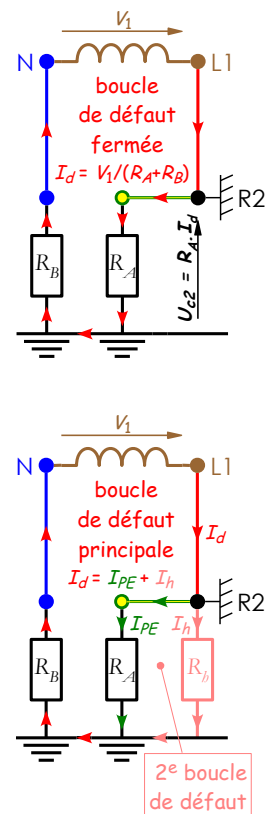
- Q32 : $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ (haute sensibilité)
- Q21 : $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$ (moyenne sensibilité)
- Q1 : $I_{\Delta n} = 1 \text{ A}$ (basse sensibilité) [2 pts].

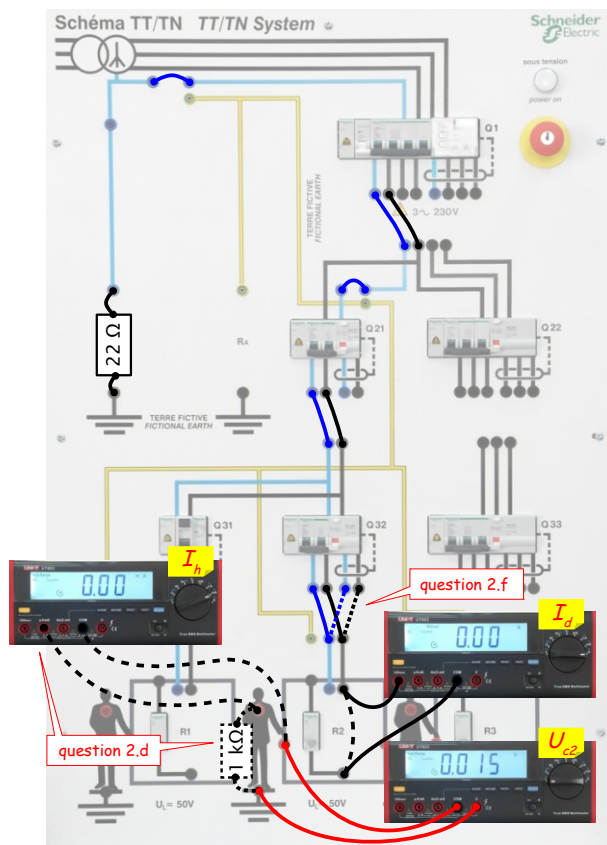
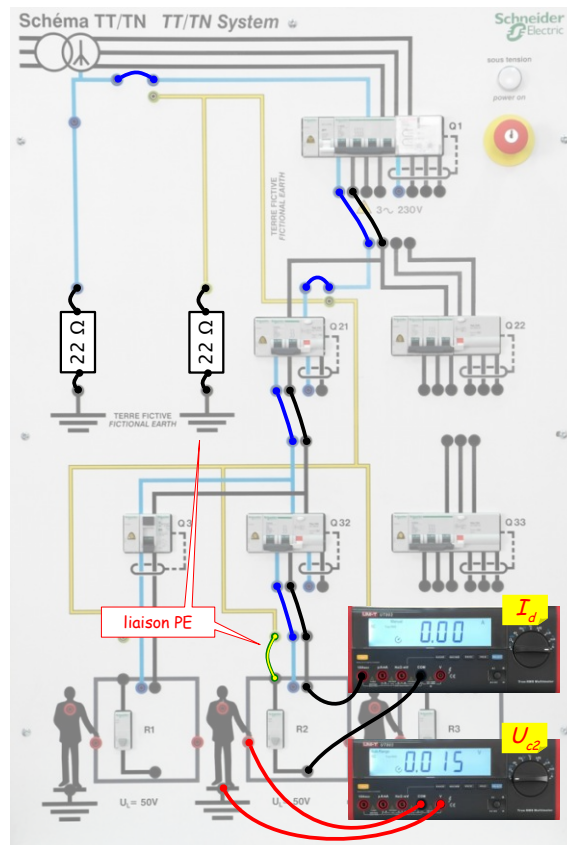
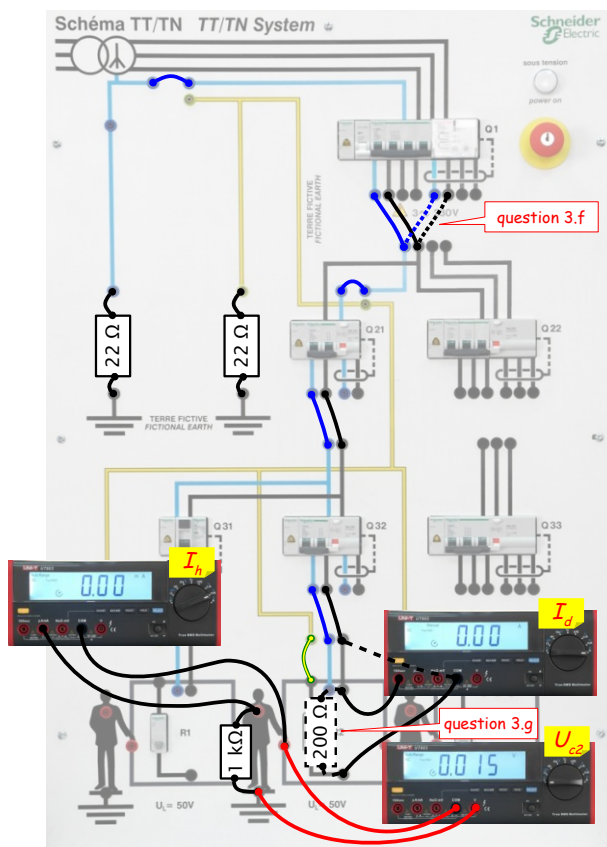
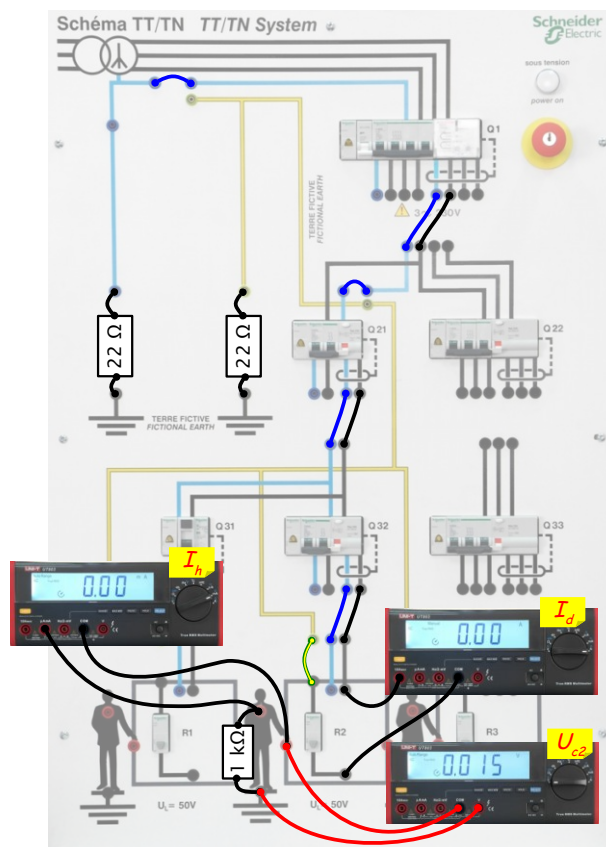
- [5 pts] i) À l'appui sur S2, seul Q32 se déclenche : les appareils réglés sont sélectifs. [1 pt]

La haute sensibilité du DDR de Q32 détecte les courants de fuite très faibles, la protection est assurée même si les résistances de terre sont élevées. [1 pt]

Tout contact direct (avec un conducteur actif) d'une personne en liaison avec la terre ou la masse de R2 crée également un courant de fuite et fait déclencher Q32. [1 pt]

Les DDR de Q21 et Q1 sont là pour protéger contre les défauts d'isolement des lignes en amont des récepteurs. [2 pts]




Câblage du schéma A1 (questions 2.b-2.f)

Modifications du schéma A1 (question 3.a)

Modifications du schéma A1 (questions 3.d – 3.g)

Câblage du schéma A2 (questions 3.h – 3.i)

II – Étude du schéma TN [100 min. – 45 pts]

4. Questions préliminaires [10 min. – 3 pts]

- [2 pts] a) En schéma TN, il n'y a pas de prise de terre locale ; les masses sont reliées au neutre du transformateur via le conducteur PEN (TN-C) ou PE (TN-S) [1 pt]. En principe, on n'emploie pas de DDR [1 pt] (sauf dans certains cas, abordés plus loin).
- [1 pt] b) Si les masses ne sont pas reliées au neutre, on obtient un schéma équivalent au schéma TT sans liaison des masses à la terre ; c'est une situation très dangereuse. [1 pt] (C'est pourquoi le conducteur PEN ne doit jamais être coupé en schéma TN-C.)

5. Principe de protection contre un défaut d'isolement franc [30 min. – 12 pts]

- [8 pts] a) Recopie du schéma A3 [1 pt]

Schéma équivalent ci-contre [2 pts].

L'appui sur S2 simule un défaut d'isolation franc de mode commun (phase-masse) [1 pt]. Les masses étant reliées au neutre, il en résulte un courant de court-circuit d'intensité très élevée ($R_b = 0,5 \Omega$) $I_d = V_1/R_b = 266 \text{ A}$ [1 pt].

La tension de contact U_{c2} est quasi nulle car le conducteur PE, de résistance quasi nulle, évacue presque tout le courant de défaut (seul un courant très faible passerait par une branche résistive en parallèle) [2 pts].

Un ou plusieurs disjoncteurs vont couper le courant par déclenchement magnétique quasi-instantané (0,02 s) [1 pt].

- [2 pts] b) Câblage du schéma A3 : cf. fig. p. 6 [2 pts].

- [2 pts] c) Q32 et Q22 disjonctent dès l'appui sur S2 (non sélectivité). [1 pt]

La sécurité des personnes est assurée car le défaut est détecté et l'appareillage réagit avant tout contact humain. De plus, $U_{c2} \approx 0 \text{ V}$ [1 pt].

6. Cas limites de protection [60 min. – 30 pts]

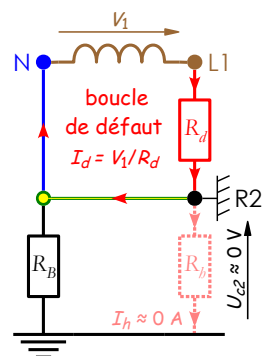
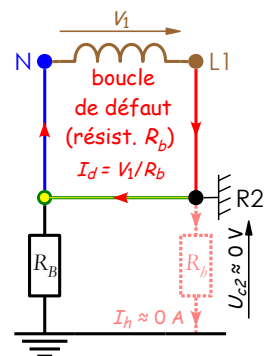
- [6 pts] a) Schéma équivalent ci-contre [1 pt].

On a $I_d = V_1/R_d \approx 5,5 \text{ A}$, $U_{c2} \approx 0 \text{ V}$ et $I_h \approx 0 \text{ A}$ pour la même raison qu'à la section 5 [1 pt].

Aucun disjoncteur ne va couper : le disjoncteur de plus petit calibre (Q32) est un C6 avec $I_{m1} = 42 \text{ A}$. [1 pt]

Ce défaut ne sera éventuellement détecté qu'à la mise en service du récepteur par déclenchement thermique du disjoncteur si ce dernier est dimensionné au plus juste contre les surcharges. [1 pt]

Il n'y a pas ici de risque d'électrocution pour les personnes en contact avec la masse, mais en revanche, tout défaut d'isolement résistif constitue un point d'échauffement, donc expose à un risque de départ d'incendie. [2 pts]



[2 pts] b) Ajout du rhéostat et branchement des 2 multimètres : cf modif. câblage A3 p. 6 [2 pts]

[1 pt] c) On relève $I_d \approx 5,4 \text{ A}$, $U_{c2} \approx 0,7 \text{ V}$ et $I_h \approx 0,6 \text{ mA}$ [1 pt]

[8 pts] d) Schémas équivalents ci-contre [1 pt].

Sans R_h , on a $I_d = V_1/R_{PE} \approx 5,5 \text{ A}$ et $U_{c2} = V_1 = 133 \text{ V}$ [1 pt].

Avec R_h , on a $I_h = V_1/(R_B + R_h) \approx 131 \text{ mA}$

(courant dans la zone A-C4 dès 500 ms d'exposition) [1 pt].

Modifications : cf. fig. p. 6 [1 pt]

On relève $I_d \approx 5,5 \text{ A}$, $U_{c2} \approx 130 \text{ V}$ et $I_h \approx 123 \text{ mA}$ [1 pt]

Aucun disjoncteur ne s'ouvre (même raison qu'au S6.a). [1 pt]

Ce défaut ne sera donc détecté que lors du contact accidentel d'une personne avec la masse et le courant I_h est insuffisant pour créer la moindre surcharge et déclencher une protection. Il y a donc un **risque d'électrocution** ! [2 pts]

[7 pts] e) En règle générale, la liaison au PE ne joue aucun rôle protecteur dans le cas d'un contact direct [1 pt] (il faudrait que la personne touche également la masse, et en schéma TN, par l'absence de DDR pour le détecter, ce contact supplémentaire ne ferait que répartir différemment dans le corps le courant de défaut).

Schéma équivalent ci-contre [1 pt]. Ce cas est analogue à un contact avec une masse sous tension (suite à un défaut d'isolement) et non reliée à la terre.

Comme au cas précédent, on a : $U_{c2} = V_1 = 133 \text{ V}$

et $I_d = I_h = V_1/(R_B + R_h) \approx 131 \text{ mA}$ (courant dans A-C4 dès 500 ms). [1 pt]

Modifications : cf. fig. p. 6. [1 pt]

On relève $U_{c2} \approx 132 \text{ V}$ et $I_h \approx 129 \text{ mA}$. [1 pt]

Aucun disjoncteur ne coupe. La personne est électrisée : elle risque l'**électrocution** si le contact est maintenu. [1 pt]

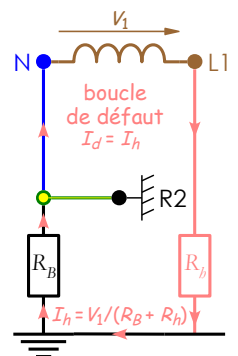
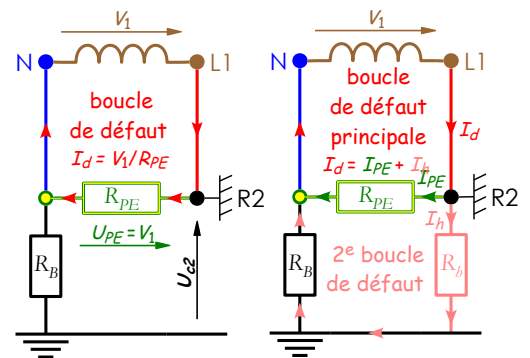
En schéma TT, le courant serait coupé par un DDR 30 mA en moins de 20 ms. [1 pt]

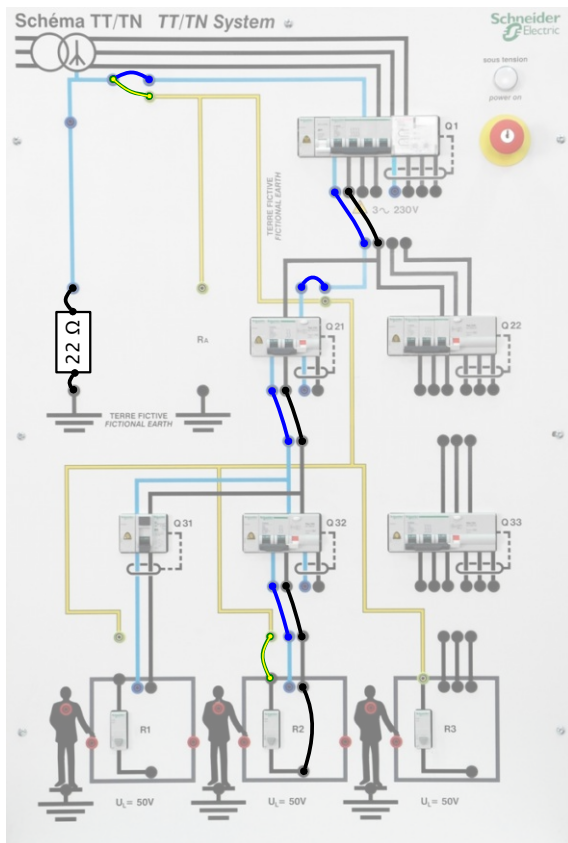
[2 pts] f) Pour réduire les risques liés aux 3 cas précédents (défaut résistif, conducteur PE résistif, contact direct), il suffit d'associer un **DDR haute sensibilité juste en amont du récepteur (Q32)**. Tous les courants de fuite dangereux ($> 30 \text{ mA}$) provoqueront son déclenchement. [1 pt]

Câblage du DDR. [1 pt]

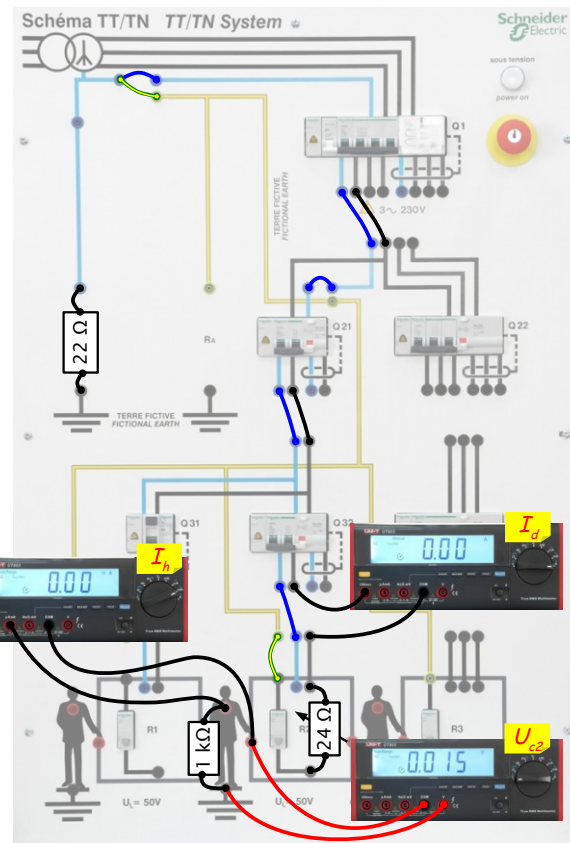
[2 pts] g) Tests : le DDR joue son rôle comme prévu dans les 3 cas précédents. [2 pts]

[2 pts] h) Rangement [2 pts].

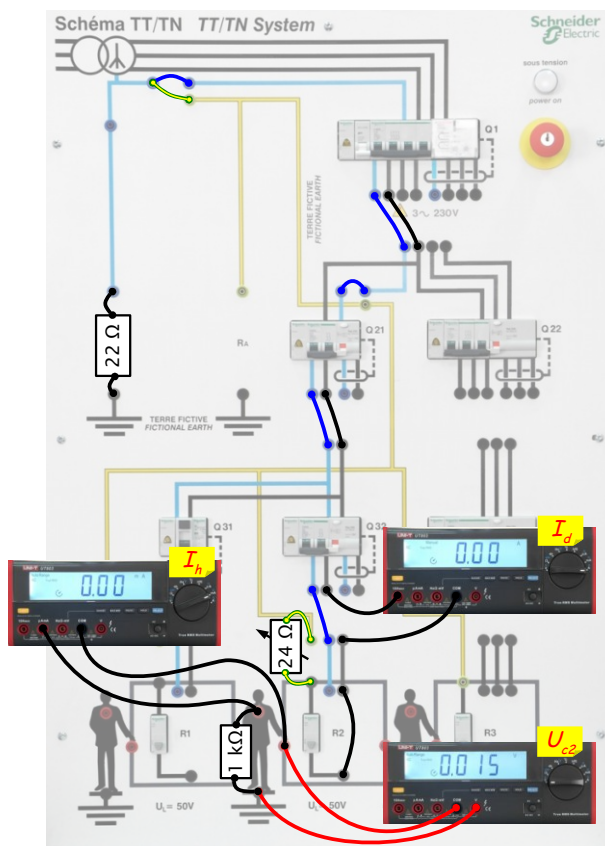




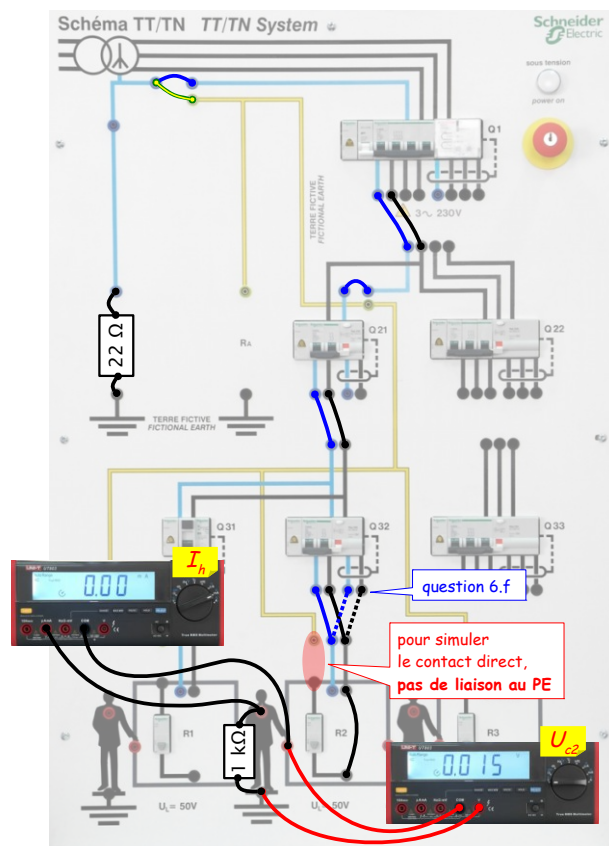
Câblage du schéma A3 (questions 5.b-5.c)



Modifications du schéma A3 (questions 6.b-6.c)



Modifications du schéma A3 (question 6.d)



Modifications du schéma A3 (questions 6.e-6.f)