

# À TENSION, DANGER !

**est un document multisupport comportant  
deux éléments complémentaires :**

**une vidéocassette  
et un cédérom**

La vidéocassette est destinée à une projection collective et le cédérom est son outil d'exploitation : les activités qu'il propose incitent l'élève à la mémorisation et à la réflexion, à partir des images, en l'empêchant d'être un spectateur passif.

Dans cette première édition du cédérom, le document imprimable d'exploitation pédagogique du vidéogramme est livré sous la forme d'un fichier au format PDF dans lequel les textes des exercices sont le plus souvent présentés sur une seule page, afin d'en faciliter l'extraction.

Dans une seconde édition, le document d'exploitation pédagogique du vidéogramme comportera une partie multimédia. Il s'adressera à la fois :

- au professeur, pour la préparation d'une activité pédagogique : à cet effet, une partie lui sera particulièrement réservée ;
- à l'élève, en situation de travail individuel guidé : des liens hypertextes lui permettront de naviguer entre différents thèmes illustrés par des extraits de la vidéocassette.

**L'utilisation rationnelle du cédérom  
ne peut se faire  
qu'en relation  
avec le visionnage du vidéogramme**

# SOMMAIRE

<b>OBJECTIF GÉNÉRAL .....</b>	<b>4</b>
<b>CONTENU DU VIDÉOGRAMME .....</b>	<b>5</b>
<b>EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Électropsychose .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Le bal des électrons .....</b>	<b>10</b>
<b>3. La grande boucle .....</b>	<b>13</b>
<b>4. Aux frontières de Fresnel .....</b>	<b>23</b>
Première partie de la séquence .....	23
Deuxième partie de la séquence .....	28
<b>5. Fool contact .....</b>	<b>30</b>
<b>6. Les règles de l'art .....</b>	<b>49</b>
Première partie de la séquence .....	49
Deuxième partie de la séquence .....	51
Troisième partie de la séquence .....	53
<b>Conclusion .....</b>	<b>54</b>
<b>COMPLÉMENTS SCIENTIFIQUES .....</b>	<b>55</b>
<b>1. Conductivité des milieux .....</b>	<b>55</b>
<b>2. Classe d'un appareil .....</b>	<b>57</b>
<b>3. Disjoncteur différentiel .....</b>	<b>59</b>
<b>4. Principe de protection dans le régime TT .....</b>	<b>65</b>
<b>5. Code de la signalisation lumineuse .....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>68</b>



# OBJECTIF GÉNÉRAL

**Le document illustre les deux préceptes suivants :**

**«Le courant électrique est dangereux.  
Le corps humain ne doit jamais constituer un élément du circuit électrique»**

**«La mise en conformité des équipements protège des dangers de l'électricité.  
Mais, attention ! Même invisible, le risque demeure.  
Restons vigilants. Respectons les procédures.»**

Un accident grave résulte le plus souvent de la conjonction d'un défaut matériel et d'une erreur humaine. En matière de sécurité électrique, le manquement à une ou plusieurs règles est porteur de dangers parfois mortels.

Les progrès scientifiques et techniques permettent d'améliorer la sécurité des utilisateurs de l'énergie électrique en satisfaisant à des normes de plus en plus restrictives. Cependant, le risque nul n'existe pas, et si la mise en conformité des matériels est nécessaire, elle ne dispense pas l'opérateur d'exercer une vigilance renforcée par l'analyse et la compréhension des données scientifiques à l'origine des risques d'accident.

En suscitant une *prise de conscience des risques* liés à l'utilisation de l'électricité dans l'enseignement expérimental de Physique, ce document multisupport ne cherche pas à alarmer mais, au contraire, il participe à *l'éducation des futurs citoyens* en général et à la *formation des élèves techniciens en électricité* en particulier.

# CONTENU DU VIDÉOGRAMME

<b>TITRE de la SÉQUENCE</b>	<b>THÈME</b>	<b>DURÉE</b>
<b>1. Électropsychose</b>	Mise en scène de cinq accidents électriques	<b>2 min 47 s</b> (de 0 à 2 min 47 s)
<b>2. Le bal des électrons</b>	Animation en images de synthèse	<b>3 min 10 s</b> (de 2 min 47 s à 5 min 57 s)
<b>3. La grande boucle</b>	Explication de l'animation	<b>1 min 45 s</b> (de 5 min 57 s à 7 min 42 s)
<b>4. Aux frontières de Fresnel</b>	Qu'y-a-t-il derrière la prise de courant ?	<b>1 min 24 s</b> (de 7 min 42 s à 9 min 06 s)
<b>5. Fool contact</b>	Explication des accidents	<b>5 min 02 s</b> (de 9 min 06 s à 14 min 08 s)
<b>6. Les règles de l'art</b>	Prévention des risques par le respect des procédures	<b>4 min 48 s</b> (de 14 min 08 s à 18 min 56s)

# EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE DU VIDÉOGRAMME

Tout en étant construit selon une suite logique, le film est découpé en différentes séquences, repérées par un titre et pouvant être exploitées de manière non linéaire : c'est en quelque sorte une banque d'images éventuellement utilisable séquence par séquence. Ainsi, «Électropsychose», «Les règles de l'art» ou «La grande boucle» peuvent être utilisées indépendamment les unes des autres. «Le bal des électrons», «La grande boucle» et «Aux frontières de Fresnel» peuvent même être utilisées hors du contexte de la notion de risque.

TITRE DE LA SÉQUENCE	OBJECTIF
1. Électropsychose	Sensibilisation aux risques électriques
2. Le bal des électrons	Présentation sommaire de l'électricité
3. La grande boucle	Initiation aux éléments d'un circuit électrique
4. Aux frontières de Fresnel	Visualisation du transport de l'électricité
5. Fool contact	Compréhension des risques
6. Les règles de l'art	Appropriation des procédures de sécurité

**Des regroupements de séquences sont envisageables, comme par exemple :**

REGROUPEMENTS POSSIBLES	OBJECTIF
2. La ronde des électrons 3. La grande boucle	Introduction à l'électricité
3. La grande boucle 4. Aux frontières de Fresnel	Compréhension de la distribution de l'électricité
4. Aux frontières de Fresnel 5. Fool contact	Compréhension de l'origine des risques électriques
1. Électropsychose 5. Fool contact	Rationalisation du comportement face aux risques électriques
5. Fool contact 6. Les règles de l'art	Rationalisation du comportement face aux risques électriques

L'exploitation d'une séquence peut nécessiter plusieurs projections successives entrecoupées d'arrêts repérés par la présence d'une icône en bas à droite de l'image (deux personnages miniaturisés issus de l'animation). Chaque arrêt permet au professeur d'exploiter la séquence immédiatement antérieure et parfois de préparer les élèves à la séquence suivante.

À cet effet, pour chacune d'elles, vous trouverez ci-après : le descriptif précis des séquences (matérialisant ainsi les intentions des auteurs), des exemples de questionnaires (construits pour l'exploitation des images), des exercices d'approfondissement du thème et des compléments scientifiques.

# 1. Électropsychose

## Descriptif

Cette séquence met en scène cinq accidents issus de situations familières aux élèves. Certaines sont tirées de la vie courante et d'autres de la vie scolaire. Les accidents survenus en milieu industriel, non envisagés ici, sont traités dans d'autres ouvrages (Cf. *Bibliographie*).

### Accident n° 1

*À la maison : changement de l'ampoule d'un lampadaire.*

L'ampoule du lampadaire claque. L'utilisateur, dans la pénombre, entreprend immédiatement de la changer. Cela s'avère ici très délicat : contraint d'utiliser ses deux mains pour ôter l'ampoule qui s'est cassée, il est malencontreusement amené à toucher des parties métalliques restées sous tension. Il reçoit une décharge électrique et s'électrocute.

### Accident n° 2

*En salle de TP de Sciences physiques : branchement d'un cordon d'alimentation.*

L'élève n'a pas remarqué que le cordon de l'oscilloscope est endommagé et que des conducteurs sont partiellement dénudés. Quand il branche la prise sur le socle, sa main entre en contact avec la tension du secteur. L'élève reçoit une décharge électrique et s'électrocute.

### Accident n° 3

*En salle de TP de Physique appliquée : câblage d'un moteur électrique.*

L'élève effectue le câblage en vue de l'essai d'un moteur asynchrone alimenté par le réseau triphasé du secteur. Peu vigilant, il utilise différents types de cordons : notamment un cordon de type mâle-mâle et un cordon de sécurité partiellement endommagé. Après avoir mis le montage sous tension il effectue une modification du câblage du bornier : à cet effet, il débranche simultanément les deux fils décrits ci-dessus en prenant chacun d'eux dans une main. Il reçoit une décharge électrique et s'électrocute.

### Accident n° 4

*À la maison : utilisation d'un appareil ménager (appareil à raclette).*

L'appareil à raclette est muni d'un cordon normalisé «2 P + T». Comme la seule prise de courant disponible dans la salle à manger ne présente pas de raccord à la terre, l'utilisatrice, pour régler son problème de connectique, se munit d'un prolongateur à deux fils uniquement. Tout en conversant, très étourdiment, pour vérifier que l'appareil commence à chauffer, elle pose une main sur une partie métallique de l'appareil. Elle reçoit une décharge électrique et s'électrocute.

### Accident n° 5

*En salle de TP de Sciences physiques : utilisation d'un oscilloscope.*

Durant une séance de travaux pratiques d'électronique, un élève doit observer en concordance de temps deux signaux issus d'une maquette alimentée en très basse tension. Gêné, semble-t-il, par un problème de masse (générateur et oscilloscope de classe I, régime de neutre du laboratoire

TT), l'élève débranche l'oscilloscope, munit la prise secteur d'un adaptateur "séparateur de terre" avant de brancher de nouveau l'appareil. Continuant le TP, à un moment, l'élève touche une partie métallique de la carcasse de l'oscilloscope, reçoit une décharge électrique et s'électrocute.

La séquence se termine par une mosaïque de cinq images qui symbolisent l'ensemble des accidents et par un texte rédigé comme suit:

**« Le courant électrique est dangereux.  
Le corps humain ne doit jamais constituer un élément du circuit électrique. »**



Ce texte est accompagné d'une icône en bas à droite qui suggère un premier arrêt dans la projection visant à une exploitation pédagogique.

## Exploitation pédagogique

Son objectif est une première approche de la compréhension des accidents. À cette fin, on s'efforcera de sensibiliser les élèves avant la projection de façon à les rendre intellectuellement actifs. Ainsi, on pourra ensuite leur faire rechercher les erreurs à l'origine de chacun des accidents, en les classant en deux catégories : erreurs humaines (non-respect des procédures) et défauts matériels (installation non conforme), comme le suggère l'exercice suivant. L'analyse scientifique détaillée des causes des accidents est renvoyée à la séquence "Fool contact".

### Exercice 1 : (tous publics)

Après avoir regardé une première fois la totalité de la séquence « Électropsychose », il est possible de visionner à nouveau chaque accident : les élèves doivent alors, pour chacun, répondre à deux questions (cf. tableaux suivants).

*N.B. : La sécurité intéressant tous les utilisateurs de l'énergie électrique, cet exercice s'adresse à tous les publics, du collège au lycée. Cependant, le professeur, selon le niveau de ses élèves, pourra, soit se contenter de leur faire dresser la liste des matériels suspects et des gestes dangereux en sollicitant uniquement leur sens de l'observation, soit leur donner, pour une séance suivante, un sujet de réflexion sur les précautions à prendre pour éviter chacun des accidents (en anticipant donc un peu sur l'exploitation de la séquence "Fool contact" qui pourrait alors apparaître comme le corrigé du présent exercice).*

**L'EXPLOITATION DE CETTE SÉQUENCE ÉTANT TERMINÉE  
ON POURRA REPRENDRE LA PROJECTION DU FILM.**

## Exercice 1

### Y a-t-il erreur humaine ou matérielle ?

Accident n°1	
Accident n°2	
Accident n°3	
Accident n°4	
Accident n°5	

### Pourquoi y a-t-il accident ?

Accident n°1	
Accident n°2	
Accident n°3	
Accident n°4	
Accident n°5	

## 2. Le bal des électrons

(animation d'images de synthèse)

### Descriptif

Les électrons sont représentés sous forme de petits personnages.

À l'occasion de "la fête de l'Ampère", pour leur grand bal, ils ont engagé deux orchestres ayant des conceptions très différentes de la musique : car, si les électrons ne savent danser que la ronde, ils sont néanmoins capables de s'adapter à plusieurs rythmes.

La fête bat son plein. Installé dans le kiosque, le premier orchestre joue son répertoire : les électrons tournent régulièrement, toujours dans le même sens.

Non loin de là, le second orchestre, un groupe rock, piaffe en attendant son tour. Perdant patience, il monte à l'assaut de l'estrade pour remplacer le premier groupe. Les électrons sont entraînés aussitôt dans une ronde très .... alternative.

Dès lors, les musiciens évincés essayent de troubler la fête en arrêtant la ronde : ouverture d'un pont-levis, puis déversement de gravats sur la passerelle. Mais le destin s'acharne à contrecarrer leur entreprise : la chaîne retenant le pont-levis casse, la pluie balaie les gravats. Seul le chewing-gum déposé sur la passerelle met un terme à la fête en stoppant les électrons !

*N.B. : Comme ce vidéogramme n'a pas vocation à se substituer à un cours d'électricité, de nombreuses propriétés de l'électricité (vitesse des charges électriques, fusible, effet diode, arc électrique, étincelle disruptive, etc.) n'ont pas été mises en image. Volontairement, les auteurs se sont limités aux images nécessaires à l'illustration du thème du risque électrique, en privilégiant notamment la notion de maille fermée, celle de conducteur et le rôle de l'eau.*



La séquence se termine par une mosaïque de cinq images qui symbolisent les principales péripéties de l'animation et par une image fixe accompagnée d'une icône en bas à droite qui suggère un second arrêt dans la projection visant à une exploitation pédagogique.

### Exploitation pédagogique

Pour les jeunes élèves débutants, l'aspect attractif de l'animation réside surtout dans la mise en scène et peut servir de point de départ à une révision de ce qu'ils ont déjà vu en classe à propos du courant électrique continu ou alternatif : l'exploitation se fera alors avec le secours de la séquence suivante, c'est-à-dire "La grande boucle" (exercice 3.1).

#### Exercices 2.1, 2.2. (public des élèves techniciens)

Exercices d'évaluation de connaissances sur l'électricité.

### Exercice 2.1.

Questionnaire d'identification des éléments de l'animation : proposer un équivalent physique pour chacun.

<b>SYMBOLE (élément de l'animation)</b>	<b>INTERPRÉTATION (de cet élément)</b>
Le kiosque à musique et les musiciens	
Les danseurs de la ronde	
Le pont-levis	
Le chemin	
Les gravats	
Le sol mouillé	
Le chewing-gum	
Le premier orchestre	
Le second orchestre (groupe rock)	

### Exercice 2.2.

Questionnaire d'identification des actions observables dans l'animation : proposer une signification physique pour chacune.

<b>ACTIONS OBSERVABLES</b>	<b>INTERPRÉTATION</b>
Le changement de musique et de la danse associée.	
La levée du pont-levis.	
L'arrêt de la musique, les électrons continuant néanmoins de danser sur place.	
Le déversement des gravats sur le pont.	
La danse des électrons sur place alors que le circuit est coupé.	
La glissade des électrons sur les gravats mouillés.	
Le double mouvement des électrons.	

### 3. La grande boucle

#### Descriptif

Cette séquence reprend, sous forme schématisée, les principales péripéties de l'animation et chaque schéma électrique comporte, en incrustation, la séquence vidéo correspondante. On peut distinguer les sous-séquences suivantes :

- circuit alimenté par un générateur continu, interrupteur fermé, ampoule éclairée. En incrustation, on voit les électrons danser une ronde toujours dans le même sens ;
- circuit alimenté par un générateur alternatif (relié au secteur EDF), interrupteur fermé, ampoule éclairée. En incrustation, on voit les électrons danser une autre sorte de ronde d'un côté puis de l'autre ;
- circuit alimenté par un générateur alternatif, interrupteur ouvert, ampoule éteinte. En incrustation, on voit les électrons cesser leur ronde et danser sur place ;
- circuit alimenté par un générateur alternatif et comportant une résistance, interrupteur fermé, ampoule faiblement éclairée. En incrustation, on voit que les gravats déversés sur la passerelle gênent la ronde des électrons ;
- circuit alimenté par un générateur alternatif et comportant un court-circuit, interrupteur fermé, ampoule fortement éclairée. En incrustation, on voit que la pluie, qui a rendu le chemin très humide, facilite la ronde des électrons ;
- circuit alimenté par un générateur alternatif et comportant une forte résistance, interrupteur fermé, ampoule éteinte. En incrustation, on voit que le chewing-gum déposé sur la passerelle interrompt la ronde des électrons.

La séquence se termine par un texte rédigé comme suit :

**«Pour qu'un courant circule, le circuit doit être fermé,  
donc constitué par des milieux électriquement conducteurs»**



Ce texte est accompagné d'une icône en bas à droite qui suggère un troisième arrêt dans la projection visant à une exploitation pédagogique.

## Exploitation pédagogique

### Exercice 3.1. (tous publics)

Exercice pour une séquence d'apprentissage destinée surtout aux débutants.

Le professeur peut faire étudier successivement chacun des circuits schématisés, en utilisant le questionnaire du tableau ci-dessous qui permet de donner des clefs pour l'interprétation de l'animation précédente (Le bal des électrons). Dans les classes de collège, cette schématisation est à mettre en relation avec les expériences correspondantes que les élèves peuvent réaliser à l'aide du matériel dont ils disposent usuellement (pile, générateur sinusoïdal de 12 V symbolisé sur le schéma par l'expression « secteur EDF », cordons, ampoule, interrupteur ...).

### Exercice 3.2. (public des élèves techniciens)

Pour ces élèves, qui ont déjà effectué les exercices 2.1 et 2.2, la séquence de " La grande boucle " constitue une correction. L'exercice qui suit leur permet d'aller plus loin dans le raisonnement.

### Exercices 3.3, 3.4, 3.5. (public des élèves techniciens)

Exercices d'apprentissage portant sur les grandeurs électriques.

### Exercices 3.6, 3.7, 3.8. (tous publics)

Exercices d'apprentissage élémentaire portant sur les grandeurs électriques.

**L'EXPLOITATION DE CETTE SÉQUENCE ÉTANT TERMINÉE  
ON POURRA REPRENDRE LA PROJECTION DU FILM.**

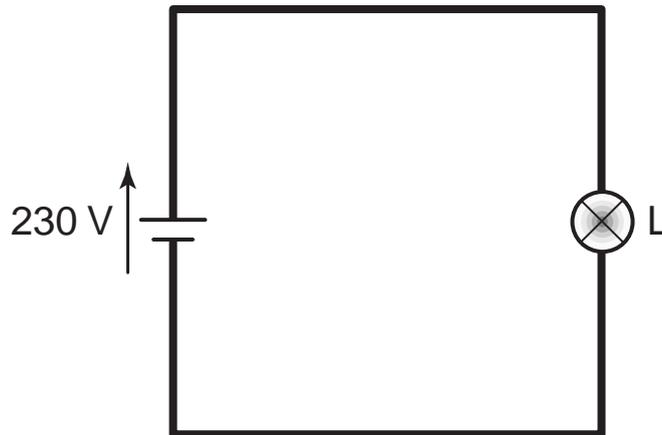
**Exercice 3.1.**

<b>TYPE DE CIRCUIT</b>	<b>Quel est l'état de l'ampoule et pourquoi ? Quelle est la situation correspondante du « bal des électrons » ?</b>
Pile + fil + interrupteur fermé	
Secteur EDF + fil + interrupteur fermé	
Secteur EDF + fil + interrupteur ouvert	
Secteur EDF + fil + interrupteur fermé + résistance forte	
Secteur EDF + fil + interrupteur fermé + résistance très faible	
Secteur EDF + fil + interrupteur fermé + isolant	

**Exercice 3.2.**

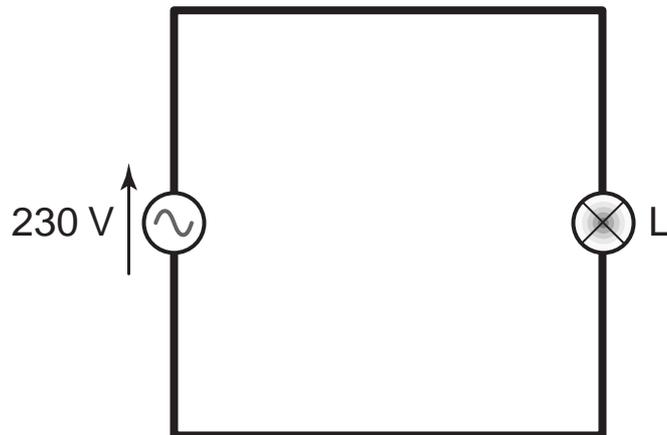
<b>QUESTION</b>	<b>RÉPONSE</b>
L'eau du robinet facilite-t-elle le passage du courant électrique ?	
L'être humain est-il un conducteur de l'électricité ?	
Les risques d'électrocution sont-ils plus grands si l'on a les mains mouillées ?	
Citer des conducteurs électriques.	
Citer des isolants électriques.	
En quelle matière les cordons d'alimentation des appareils électriques sont-ils faits ?	
Les cordons d'alimentation des appareils électriques sont-ils recouverts d'une gaine isolante ?	
Quelle est la matière qui recouvre les connecteurs HI-FI de haut de gamme ?	
En quelle matière les boîtiers des appareils électriques sont-ils faits ?	
Quels sont les porteurs de charges dans un métal ?	
Quels sont les porteurs de charges dans un électrolyte ?	
Quelle est la valeur de la tension du secteur alternatif ?	

**Exercice 3.3.**



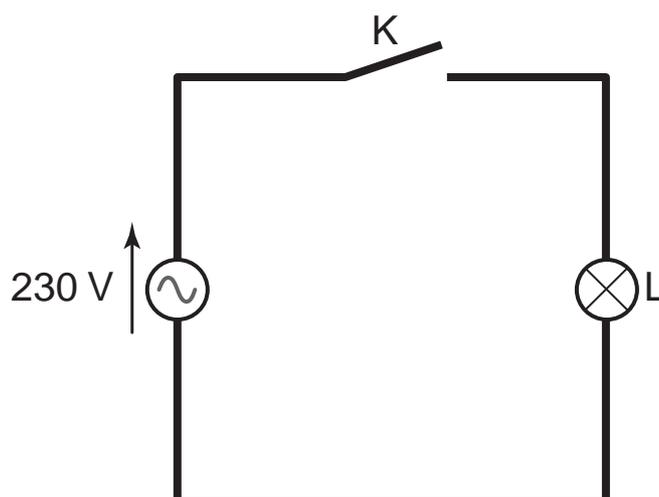
- a – La valeur efficace de la tension d'un générateur à courant continu est de 230 V. Quelle est la valeur crête de la tension ? Quelle est sa valeur moyenne ?
- b – La valeur efficace de l'intensité du courant débité dans une lampe est de 10 A. Quelle est la valeur crête de l'intensité de ce courant ? Quelle est sa valeur moyenne ?
- c – Le générateur alimente une lampe L. Déduire de ce qui précède la valeur de la résistance et celle de la puissance consommée par cette lampe.

**Exercice 3.4.**



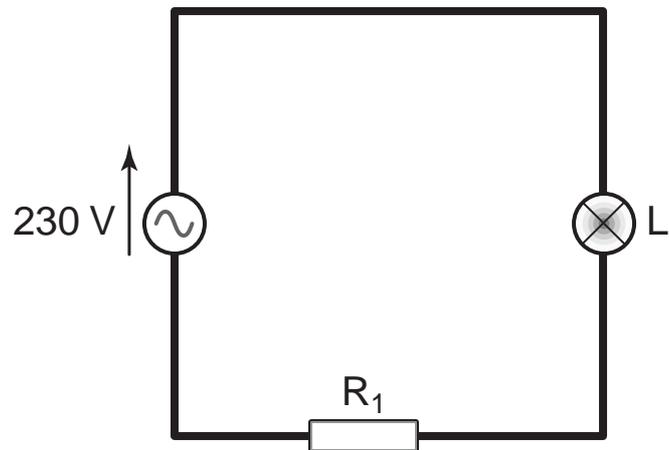
- a – La valeur efficace de la tension du secteur est de 230 V. Quelle est la valeur crête de la tension ? Quelle est sa valeur moyenne ?
- b – La valeur efficace de l'intensité du courant débité dans la lampe est de 10 A. Quelle est la valeur crête de ce courant ? Quelle est sa valeur moyenne ?
- c – Déduire de ce qui précède la valeur de la résistance de la lampe et de la puissance consommée par ladite lampe.

**Exercice 3.5.**



1. Dans un circuit, quand l'interrupteur est ouvert, quelle est la valeur de l'intensité du courant ? Dans ce cas que vaut la résistance du circuit ? Pourquoi peut-on assimiler un interrupteur ouvert à un isolant ?
  
2. On suppose que l'inductance du circuit vaut 200 mH et que l'ouverture de l'interrupteur se fait en 0,1 ms.
  - a – Déterminer la tension induite aux bornes de l'interrupteur.
  
  - b – Donner le nom du phénomène qui provoque cette tension.
  
  - c – Expliquer pourquoi il ne faut jamais allumer la lumière quand on entre dans une pièce d'où se dégage une odeur de gaz de ville.

**Exercice 3.6.**

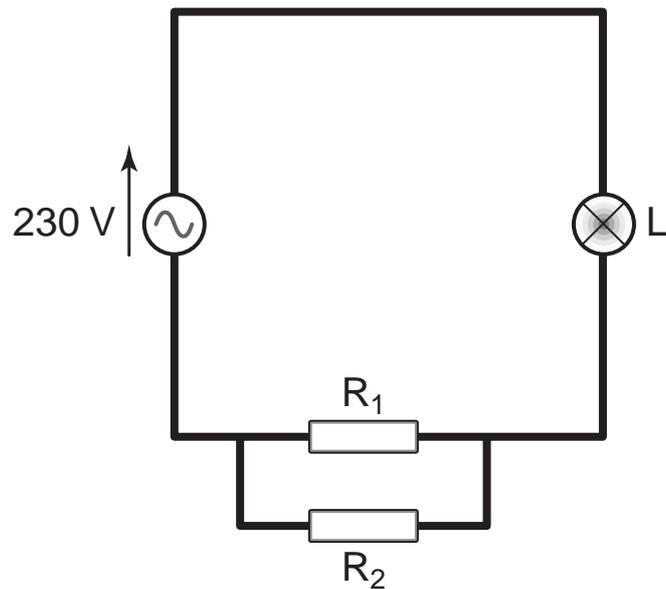


La résistance de la lampe L est de  $23 \Omega$ . La résistance  $R_1$  vaut  $1 \text{ k}\Omega$ .

a – Quelle est l'intensité du courant dans le circuit ?

b – Quelle est la puissance consommée par la lampe ?

**Exercice 3.7.**



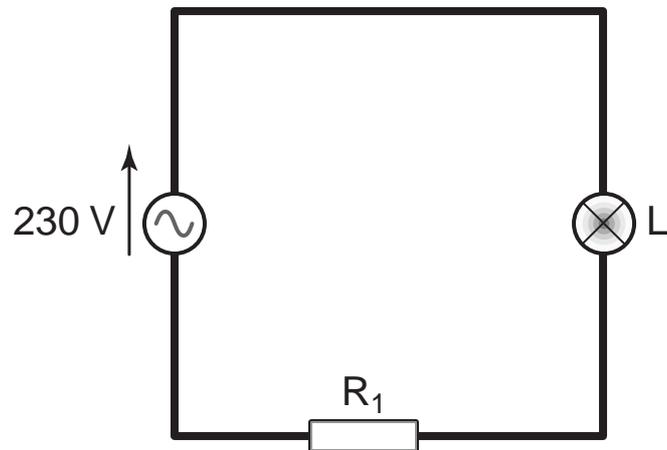
La résistance de la lampe L est de  $23 \Omega$ . La résistance  $R_1$  vaut  $1 \text{ k}\Omega$ .  
On branche en parallèle sur  $R_1$  une résistance  $R_2$  égale à  $0,1 \Omega$ .  
a – Quelle est la résistance équivalente de l'ensemble  $R_1 R_2$  ?

b – Quelle est la résistance équivalente du circuit ?

c – Quelle est l'intensité du courant dans le circuit ?

d – Quelle est la puissance consommée par la lampe ?

**Exercice 3.8.**



La résistance de la lampe L est de  $23 \Omega$ , la résistance  $R_1$  vaut  $100 \text{ M}\Omega$ .

a – Quelle est l'intensité du courant dans le circuit ?

b – Quelle est la puissance consommée par la lampe ?

c – À quoi peut-on assimiler un isolant ?

## 4. Aux frontières de Fresnel

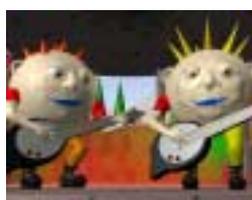
### Première partie de la séquence

#### Descriptif

Un circuit électrique est constitué d'une source (le générateur), d'une maille fermée (les cordons électriques) et d'un récepteur. Dans beaucoup de cas, la source est branchée dans une « prise de courant ». Mais qu'y a-t-il en amont ? Qu'y a-t-il derrière cette « prise de courant » ?

Pour répondre à cette question, le film nous entraîne dans un rapide voyage permettant de suivre le transport de l'énergie électrique depuis son point de production (une centrale EDF) jusqu'à son point de consommation (une prise murale permettant le branchement des appareils chez l'utilisateur). Ce voyage permet de rencontrer successivement :

- une centrale ;
- des pylônes portant les lignes de Moyenne Tension (10 kV) ;
- un transformateur élévateur situé à la sortie de la centrale ;
- des pylônes portant les lignes de Haute Tension, (220 kV, 3 fils) : ces lignes relient les principales centrales (thermiques, nucléaires et hydroélectriques) entre elles et participent à l'interconnexion nationale et internationale ;
- un transformateur abaisseur ;
- des pylônes portant les lignes de Moyenne Tension : ces lignes assurent le transport régional de l'électricité, l'alimentation des centres de redistribution et des complexes industriels ;
- un transformateur abaisseur situé dans le quartier de l'utilisateur ;
- des pylônes portant les lignes de Basse Tension à 3 fils ;
- un sectionneur (destiné à isoler une partie du réseau pour permettre des travaux sur la ligne) ;
- un pylône portant un transformateur permettant de passer de la Basse Tension à 3 fils à la Basse Tension à 4 fils (le secondaire de ce transformateur est couplé, soit en étoile, soit en zigzag, de façon à pouvoir tirer le Neutre) ;
- un pylône portant les lignes de Basse Tension à 4 fils (les trois Phases et le Neutre) : ces lignes assurent la distribution aux usagers domestiques, aux petits industriels ;
- une arrivée de la ligne à domicile (2 fils) ;
- le disjoncteur différentiel de l'utilisateur ;
- une prise murale chez l'utilisateur.



La première partie de séquence se termine donc par un retour à la prise de courant initiale, avec une icône invitant à un arrêt en vue de l'exploitation suivante.

## Exploitation pédagogique

### Exercice 4.1. (public des élèves techniciens)

Exercice d'exploitation des images.

Il s'agit de faire identifier par les élèves les différentes lignes et les différents transformateurs rencontrés. L'enseignant pourra, s'il le souhaite, s'arrêter à chaque image pour apporter des commentaires complémentaires.

*N.B. : Ce voyage de la centrale à la prise de courant est une séquence qui peut être très utile pour l'introduction d'un cours d'électrotechnique car, à elle seule, elle justifie les points essentiels des programmes usuels de Physique appliquée à l'Électrotechnique.*

### Exercice 4.2. (tous publics)

Exercice permettant de tester des connaissances d'ordre culturel.

Faire répondre au questionnaire ci-dessous en relation avec les centrales et la distribution de l'énergie électrique.

*N.B. : Ce voyage de la centrale à la prise de courant est utile dans toute section et à tout niveau pour illustrer la manière dont est distribuée l'énergie électrique en France, (les élèves doivent savoir que l'énergie est transportée sous Haute Tension).*

### Exercice 4.3. (tous publics)

Exercice permettant de tester des connaissances d'ordre culturel.

### Exercices 4.4, 4.5, 4.6. (public des élèves techniciens)

Exercices avec applications numériques.

**L'EXPLOITATION DE CETTE SÉQUENCE ÉTANT TERMINÉE  
ON POURRA REPRENDRE LA PROJECTION DU FILM.**

**Exercice 4.2.**

<b>QUESTION</b>	<b>RÉPONSE</b>
Les lignes Haute Tension sont suspendues aux pylônes par des isolants. En quelle matière sont-ils faits ?	
En quelle matière les lignes aériennes EDF sont-elles faites ? Pourquoi ?	
Les lignes aériennes EDF sont-elles recouvertes d'une gaine isolante ? Pourquoi ?	
Pourquoi ne faut-il pas toucher des lignes électriques tombées sur le sol ?	
En touchant une ligne aérienne avec une perche métallique, on risque de s'électrocuter. Pourquoi ?	
Un petit oiseau posé sur une ligne électrique n'est pas électrocuté. Pourquoi ?	
Un grand oiseau posé sur une ligne électrique risque l'électrocution. Pourquoi ?	

**Exercice 4.3.**

<b>QUESTION</b>	<b>RÉPONSE</b>
Quels sont les générateurs permettant de disposer de l'énergie électrique dans une automobile ?	
Citer le nom du générateur permettant de disposer de l'énergie électrique sur une bicyclette.	
Citer le nom du générateur permettant d'alimenter en énergie électrique une lampe de bureau.	
Citer le nom du générateur permettant de disposer d'énergie électrique dans une calculatrice solaire.	
Citer le nom du générateur permettant de disposer d'énergie électrique dans une station spatiale.	
Citer le nom du générateur permettant d'alimenter en énergie électrique une montre à quartz.	
Donner le nom du générateur qui fait fonctionner les appareils électriques de la maison.	
Citer quelques récepteurs dans une voiture automobile.	
Dresser la liste des centrales électriques de votre région en fonction de leur source d'énergie.	

#### Exercice 4.4.

Deux lignes A et B transportent une puissance électrique élevée. La ligne A est une ligne Très Haute Tension de 400 kV entre phases. La ligne B est une ligne Basse Tension de 400 V entre phases.

- a – Calculer le rapport entre les intensités  $I_A$  et  $I_B$  des courants de ligne.
- b – Sachant que la section d'un conducteur est proportionnelle à l'intensité du courant qu'il véhicule, quel est le rapport entre les sections  $S_A$  et  $S_B$  des conducteurs des deux lignes ? En déduire la raison pour laquelle EDF met ses lignes de longue distance en Très Haute Tension.

#### Exercice 4.5.

L'énergie électrique est transportée sous Très Haute Tension (400 kV entre phases).

- a – Quelle est l'ordre de grandeur de la Moyenne Tension fournie par un alternateur du réseau EDF ?
- b – Pourquoi ne peut-on pas produire le courant sous Très Haute Tension ?
- c – Quel appareil effectue la conversion Moyenne Tension - Très Haute Tension ?

#### Exercice 4.6.

L'énergie électrique est transportée sous Très Haute Tension (400 kV entre phases).

- a – Quelle est la valeur de la tension entre Phase et Neutre fournie au particulier par EDF ?
- b – Pourquoi le particulier n'est-il pas directement alimenté par la THT ?
- c – Quel appareil effectue la conversion Très Haute Tension - Basse Tension ?

## 4. Aux frontières de Fresnel

### Deuxième partie de la séquence

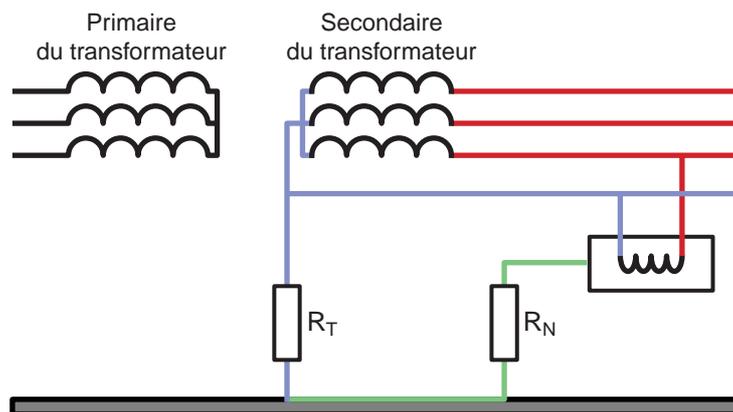
#### Descriptif

Ici, on schématise l'alimentation de la prise en se limitant aux seuls éléments suivants : transformateur, ligne 4 fils, disjoncteur différentiel. Cela permet de mettre en place le vocabulaire de base : Phase, Neutre, Terre. Cette schématisation sera largement utilisée dans la séquence «Fool contact».

Les symboles utilisés sont les suivants :

- couleur rouge pour les fils de Phase ;
- couleur bleue (couleur normalisée) pour le fil de Neutre ;
- double couleur vert-jaune (couleur normalisée) pour le conducteur de Terre (dans les schémas de ce document, il a été symbolisé par un trait vert).

*N.B. : les couleurs utilisées sur le schéma sont également les couleurs utilisées pour l'isolant des cordons dans la séquence du vidéogramme.*



Une icône apparaît en bas à droite du schéma et invite à un arrêt sur image, en vue de l'exploitation suivante.

#### Exploitation pédagogique

##### Exercice 4.7. (public des élèves techniciens)

Exercice d'exploitation des images

##### Exercice 4.8. (public formation continue)

Exercice sur le transformateur d'alimentation de la prise de courant.

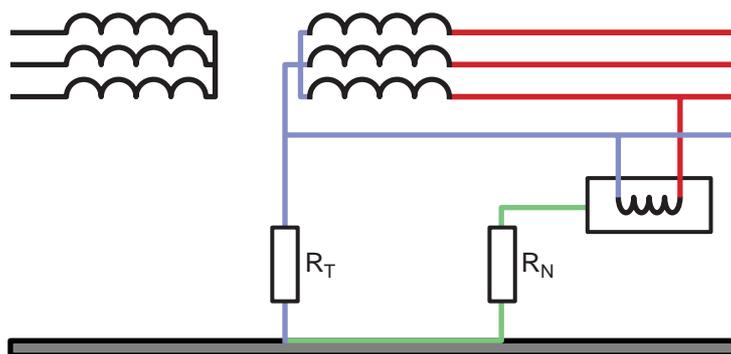
**L'EXPLOITATION DE CETTE SÉQUENCE ÉTANT TERMINÉE  
ON POURRA REPRENDRE LA PROJECTION DU FILM.**

### Exercice 4.7.

- a – Dans une installation en régime de Neutre TT, que signifient les lettres TT ?
- b – Identifier les différents éléments du schéma du vidéogramme en précisant leur rôle (arrêt sur image).
- c – Dans la séquence "Aux frontières de Fresnel", quel est le transformateur représenté sur le schéma ?

### Exercice 4.8.

- a – Quel est le couplage du primaire et celui du secondaire du transformateur ? Peut-on justifier ce choix de couplage ?
- b – Le fait de tirer le Neutre est-il obligatoire en régime TT ? Pourquoi ?
- c – Si la tension du secondaire est égale à la tension du primaire, à quoi le transformateur sert-il ?



## 5. Fool contact

### Avertissement

L'objectif de cette séquence est l'explication scientifique des cinq accidents décrits dans «Électropsychose». Cette analyse nécessite la connaissance de la structure de l'alimentation d'une prise (d'où la séquence «Aux frontières de Fresnel»).

*N.B. : L'utilisation de certains schémas peut s'avérer délicate avec les élèves débutant en électricité (élèves de collègue ou élèves de seconde) : la schématisation accessible à leurs connaissances commence généralement en aval du mur portant la prise de courant (il suffit alors au professeur de leur masquer la partie gauche de l'écran symbolisant le système de distribution afin de simplifier l'exposé).*

Les accidents n°1 ("Changement de l'ampoule d'un lampadaire") et n°4 ("Utilisation d'un appareil à raclette") sont des accidents domestiques : il est donc très important de leur accorder une grande place, et cela, quel que soit le public.

L'accident n° 5 ("Utilisation d'un oscilloscope") doit être complètement décrit dans toutes les filières des lycées, le mode de manipulation dénoncé ayant trop souvent été utilisé, jusqu'à des époques encore toutes récentes.

Tous les schémas doivent être exploités à fond avec les élèves des filières technologiques et professionnelles, tout particulièrement ceux du secteur *Génie électrotechnique*, en s'appuyant sur la formation que ces élèves ont reçue par ailleurs sur le régime de Neutre. L'ensemble de la séquence peut constituer le support d'un cours interactif.

Chaque accident est schématisé pour faire comprendre pourquoi l'utilisateur était en grand danger d'électrocution : repérage du cheminement du courant électrique, place de l'opérateur dans la maille, rôle éventuel du disjoncteur différentiel.

Une icône invitant à l'arrêt dans la projection est placée volontairement avant que le film explique les précautions qu'il aurait fallu prendre pour éviter les accidents. Ainsi, il convient que l'élève identifie le type de contact (compréhension de l'origine des accidents) et propose une protection active ou/et passive, par anticipation des images suivantes qui joueront donc un rôle de correction.

## Accident n° 1

### À la maison : changement de l'ampoule d'un lampadaire

#### Descriptif

L'utilisateur néglige la précaution élémentaire qui consiste à "couper le courant" autrement dit à mettre l'installation hors tension. Avec une main, il touche le conducteur de Phase et avec l'autre le conducteur de Neutre : le schéma montre que l'utilisateur de toute évidence est soumis à la tension du secteur EDF, soit ici, 230 V. Dans cette situation, l'installation reste sous tension et l'utilisateur risque l'électrocution, car le disjoncteur différentiel ne réagit pas.



**(arrêt avant que la solution soit apportée)**

#### Exploitation pédagogique

##### Exercice 5.1.1. (tous publics)

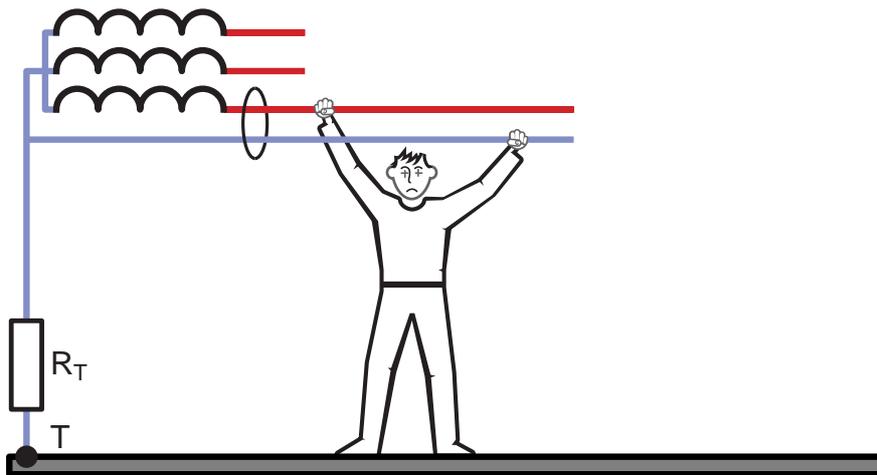
Exercice d'exploitation immédiate des images.

##### Exercice 5.1.2. (public des élèves techniciens)

Exercice d'illustration de l'accident n°1 (contact direct entre deux conducteurs actifs).

**L'EXPLOITATION DE CETTE SÉQUENCE ÉTANT TERMINÉE  
ON POURRA REPRENDRE LA PROJECTION DU FILM.**

**Exercice 5.1.1.**



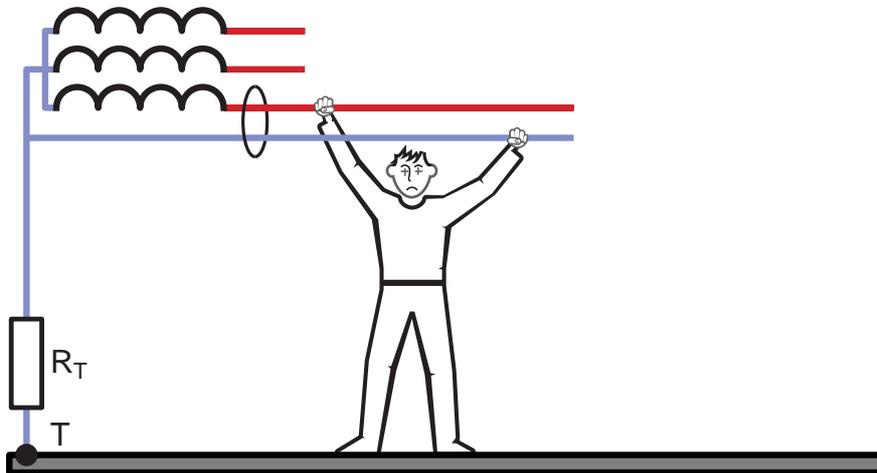
- a – Tracer sur le schéma la maille parcourue par le courant.
- b – Répondre ensuite au questionnaire ci-dessous.

QUESTION	RÉPONSE
Est-ce un contact direct ou indirect ?	
Le disjoncteur différentiel se déclenche-t-il ? Pourquoi ?	
Quelle précaution aurait-il fallu prendre pour éviter l'accident ?	

### Exercice 5.1.2.

Contact direct entre deux conducteurs actifs.

La source de tension est la prise de courant. Lorsque l'ampoule "claque", le circuit devient ouvert. La victime, en mettant les mains sur la douille, devient un des éléments du circuit qu'elle referme. Dans ce cas d'accident, le disjoncteur différentiel n'assure pas la protection de l'utilisateur.



- a – La résistance entre la main gauche et la main droite de la victime est de  $1000 \Omega$ . La tension entre les deux conducteurs est de  $230 \text{ V}$ . Quel est la valeur de l'intensité du courant traversant le corps de la victime ?

Sachant qu'un courant passant dans la zone du cœur peut être mortel à partir de  $50 \text{ mA}$ , que peut-on en conclure ?

- b – La résistance entre la main droite et les pieds de la victime est de  $1000 \Omega$ . La résistance du sol entre les pieds de la victime et le point T est égale à  $50 \Omega$ . La résistance de Terre  $R_T$  est de  $50 \Omega$ . La victime est chaussée, la résistance de ses semelles est de  $10 \text{ k}\Omega$ .

Calculer le courant de défaut.

Que fait le disjoncteur différentiel ?

## Accident n° 2

### En salle de TP : branchement d'un cordon d'alimentation

#### Descriptif

L'élève branche le cordon d'un appareil de mesure normalisé dans une prise de courant normalisée, la tension secteur étant disponible sur la paillasse. Il faut remarquer que cette situation de laboratoire est identique à une situation domestique : chez soi, on ne coupe pas au compteur, on ne "coupe pas le courant" chaque fois que l'on branche la fiche de l'aspirateur ou de la lampe de bureau dans une prise de courant !

Mais ici, l'isolant du cordon est partiellement déchiré et les fils de cuivre sont accessibles. L'accident peut arriver si l'élève touche avec ses doigts le fil de Phase. Le schéma montre que la maille se referme par le conducteur de Terre à travers l'élève qui est donc soumis à la tension du secteur EDF, soit ici 230 V, pendant un certain temps durant lequel il est traversé par un courant qui peut être important. Le schéma montre que, dans cette situation, le disjoncteur différentiel peut détecter un courant de fuite et met l'installation électrique hors tension. Mais, en attendant ce déclenchement, l'élève aura néanmoins reçu une décharge électrique susceptible de l'électrocuter.



**(arrêt avant que la solution soit apportée)**

### Exploitation pédagogique

#### Exercice 5.2.1. (tous publics)

Exercice d'exploitation immédiate des images du vidéogramme.

#### Exercice 5.2.2. (public des élèves techniciens)

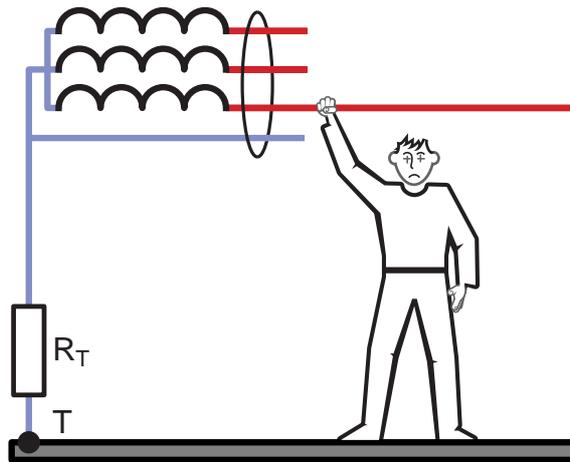
Exercice d'exploitation des images du vidéogramme.

#### Exercice 5.2.3. (public des élèves techniciens)

Exercice d'illustration de l'accident n° 2 (contact direct entre un conducteur actif et la Terre).

**L'EXPLOITATION DE CETTE SÉQUENCE ÉTANT TERMINÉE  
ON POURRA REPRENDRE LA PROJECTION DU FILM.**

**Exercice 5.2.1.**



- a – Tracer sur le schéma la maille parcourue par le courant.
- b – Répondre ensuite au questionnaire ci-dessous.

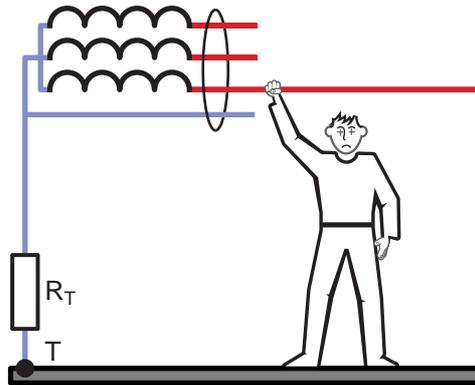
QUESTION	RÉPONSE
Est-ce un contact direct ou indirect ?	
Le disjoncteur différentiel se déclenche-t-il ?	
Quelles précautions aurait-il fallu prendre pour éviter l'accident ?	



### Exercice 5.2.3.

Contact direct entre un conducteur actif et la Terre.

La source de tension est la prise de courant. Lorsque l'élève branche l'oscilloscope à l'aide d'un cordon d'alimentation défectueux, sa main entre au contact d'un conducteur actif sous tension. Le circuit se referme par la Terre (voir schéma ci-dessous). Dans ce cas très précis, le disjoncteur différentiel met l'installation hors tension puisque, dans un laboratoire de Travaux Pratiques, il doit être réglé à 30 mA.



La résistance entre la main droite et les pieds de la victime est de  $1000 \Omega$ . La résistance du sol entre les pieds de la victime et le point T est de  $50 \Omega$ . La résistance de Terre  $R_T$  est de  $50 \Omega$ . La victime est chaussée. La résistance de ses semelles est de  $2 \text{ k}\Omega$ .

a – Calculer le courant de défaut. Que fait le disjoncteur différentiel ?

b – Sachant qu'un courant passant dans la zone du cœur peut être mortel à partir de 50 mA, que peut-on en conclure ?

## Accident n° 3

*En salle de TP de Physique appliquée : branchement d'un moteur électrique*

### Descriptif

Effectuant par étourderie une intervention sur un montage sous tension, l'élève met ses deux mains en contact avec un conducteur de Phase, l'une par l'intermédiaire d'un cordon mâle-mâle et l'autre par l'intermédiaire d'un cordon de sécurité détérioré : le schéma montre de toute évidence que l'élève est soumis à la tension du secteur EDF, soit ici, 400 V. Dans cette situation, le disjoncteur différentiel ne peut détecter aucun courant de fuite : l'installation reste donc sous tension et l'élève s'électrocute.



*(arrêt avant que la solution soit apportée)*

### Exploitation pédagogique

#### **Exercice 5.3.1.** *(tous publics)*

Exercice d'exploitation immédiate des images du vidéogramme.

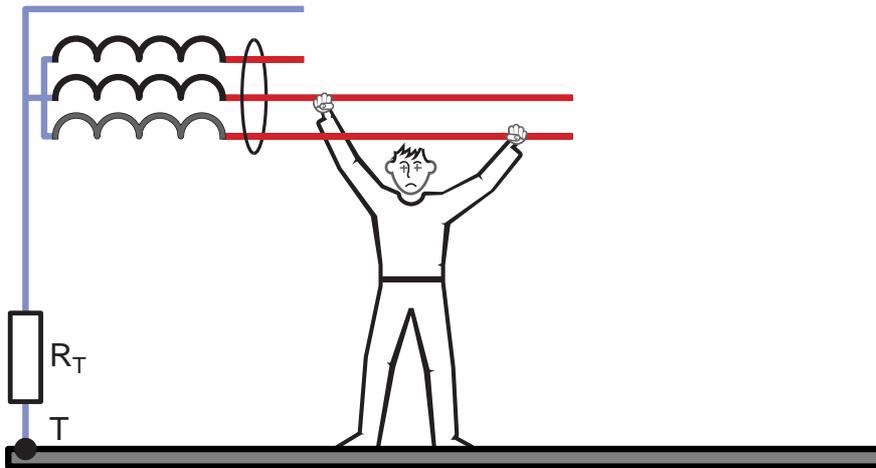
#### **Exercice 5.3.2.** *(public des élèves techniciens)*

Exercice d'illustration de l'accident n° 3 (contact direct entre deux conducteurs actifs).

**L'EXPLOITATION DE CETTE SÉQUENCE ÉTANT TERMINÉE  
ON POURRA REPRENDRE LA PROJECTION DU FILM.**

**Exercice 5.3.1.**

La situation est rappelée par le schéma ci-dessous.



- a – Tracer sur le schéma la maille parcourue par le courant.
- b – Répondre ensuite au questionnaire ci-dessous.

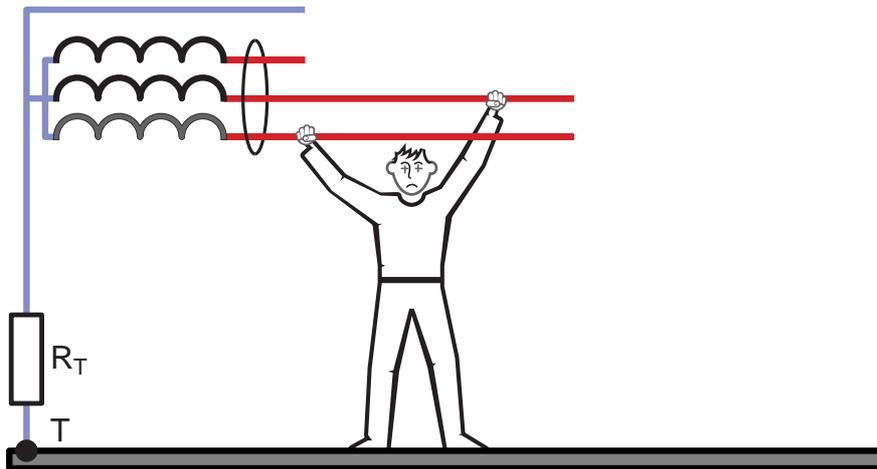
QUESTION	RÉPONSE
Est-ce un contact direct ou indirect ?	
Le disjoncteur différentiel se déclenche-t-il ?	
Quelles précautions aurait-il fallu prendre pour éviter l'accident ?	

*N.B. : En Basse Tension, si l'utilisation de cordons de sécurité est obligatoire (contacts directs interdits), il ne faut pas oublier qu'une modification de montage doit se faire hors tension : **l'utilisation de cordons de sécurité ne doit pas empêcher la vigilance.***

### Exercice 5.3.2.

Contact direct entre deux conducteurs actifs.

La source de tension est l'alimentation de la paillasse. L'élève veut modifier le montage sous tension. Sa main droite entre en contact avec une des phases et sa main gauche en contact avec une autre. L'élève referme le circuit en devenant un de ses éléments. Le disjoncteur différentiel ne pourra probablement détecter aucun courant de fuite. L'installation reste donc sous tension et l'utilisateur risque l'électrocution.



- a – La résistance entre la main gauche et la main droite de la victime est de  $1000 \Omega$ . La tension entre les deux conducteurs est de  $400 \text{ V}$ .

Quelle est la valeur de l'intensité du courant traversant le corps de la victime ?

Sachant qu'un courant passant dans la zone du cœur peut être mortel à partir de  $50 \text{ mA}$ , que peut-on en conclure ?

- b – La résistance entre la main droite et les pieds de la victime est de  $1000 \Omega$ . La résistance du sol entre les pieds de la victime et le point T est de  $50 \Omega$ , la résistance de Terre  $R_T$  est de  $50 \Omega$ . La victime est chaussée, la résistance de ses chaussures est de  $20 \text{ k}\Omega$ .

Calculer le courant de défaut. Que fait le disjoncteur différentiel ?

*Note : la résistance des semelles de chaussures peut dépasser les  $30 \text{ k}\Omega$ .*

## Accident n° 4

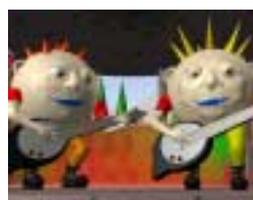
### À la maison : utilisation d'un appareil ménager (appareil à raclette)

#### Descriptif

La maîtresse de maison résout son problème de connectique (cordon de longueur insuffisante) en utilisant un prolongateur à deux fils uniquement, qui permet le raccord de l'appareil à raclette (manifestement de classe I) à la prise Phase-Neutre disponible dans la salle à manger. Pour que l'électrocution se produise, il faut d'abord qu'un défaut interne dans l'appareil vienne mettre sa carcasse au potentiel de la Phase et que, de plus ici, le revêtement en Téflon recouvrant une partie électriquement conductrice soit détérioré (car le Téflon est un isolant électrique).

Le schéma montre que la maille se referme par la Terre à travers la maîtresse de maison qui est donc soumise à la tension du secteur EDF, soit ici 230 V, pendant un certain temps durant lequel elle est traversée par un courant qui peut être important. Le schéma montre que, dans cette situation, le disjoncteur différentiel aurait pu détecter un courant de fuite et mettre hors tension l'installation électrique, si ce disjoncteur avait eu une sensibilité de 30 mA, mais ce n'est ici probablement pas le cas (les prises dans cette maison sont dépourvues de Terre ce qui montre que l'installation électrique est un peu ancienne) et un disjoncteur différentiel réglé sur une précision de 500 mA a peu de chances de mettre l'installation hors tension.

Cette électrocution est rendue impossible si le conducteur de Terre de l'appareil est connecté à l'installation : le schéma montre alors que, dans cette situation, le disjoncteur différentiel peut détecter un courant de fuite et donc mettre hors tension l'installation électrique, *avant* que la maîtresse de maison touche l'appareil. La « Raclette party » est reportée à une date ultérieure car une sérieuse réparation de l'appareil s'impose, mais on évite l'accident !



**(arrêt avant que la solution soit apportée)**

### Exploitation pédagogique

#### Exercice 5.4.1. (tous publics)

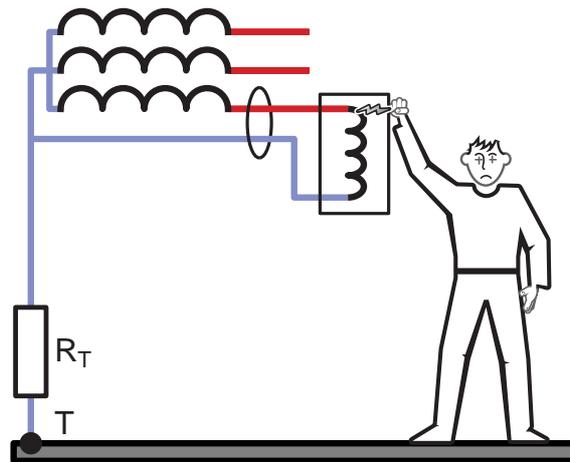
Exercice d'exploitation immédiate des images du vidéogramme.

#### Exercice 5.4.2. (public des élèves techniciens)

Exercice d'illustration de l'accident n° 4 (contact indirect entre un conducteur et la Terre).

**L'EXPLOITATION DE CETTE SÉQUENCE ÉTANT TERMINÉE  
ON POURRA REPRENDRE LA PROJECTION DU FILM.**

**Exercice 5.4.1.**



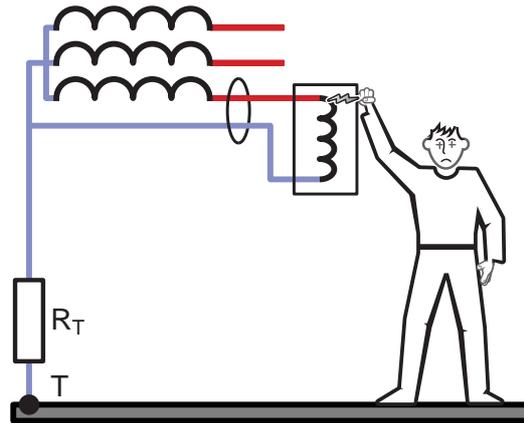
- a – Tracer sur le schéma la maille parcourue par le courant.
- b – Répondre ensuite au questionnaire ci-dessous.

QUESTION	RÉPONSE
Est-ce un contact direct ou indirect ?	
Le disjoncteur différentiel se déclenche-t-il ?	
Quelles précautions aurait-il fallu prendre pour éviter l'accident ?	

### Exercice 5.4.2.

Contact indirect entre un conducteur et la Terre.

La source de tension est la prise de courant. Lorsque la maîtresse de maison touche l'appareil à raclette, sa main droite est au contact d'une masse métallique portée au potentiel de la Phase. Le circuit se referme par la Terre (voir schéma). Dans ce cas très précis, le disjoncteur différentiel ne met pas l'installation hors tension puisque, dans une maison dont la construction n'est pas postérieure à 1995, il y a de fortes probabilités pour qu'il soit réglé à 500 mA.



La résistance entre la main droite et les pieds de la victime est de  $1000 \Omega$ . La résistance du sol entre les pieds de la victime et le point T est de  $50 \Omega$ . La résistance  $R_T$  est de  $50 \Omega$ . La tension est de  $230 \text{ V}$ . Un courant passant dans la zone du cœur peut être mortel à partir de  $50 \text{ mA}$ . Le disjoncteur différentiel est réglé à  $500 \text{ mA}$ .

a – La victime est chaussée, la résistance des semelles est de  $50 \Omega$ .

- Calculer le courant passant dans le corps de la victime.
- Que risque la victime ?
- Comment le disjoncteur différentiel réagit-il ?

b – La victime est chaussée, la résistance des semelles est de  $10 \text{ k}\Omega$ .

- Calculer le courant passant dans le corps de la victime.
- Que risque la victime ?
- Comment le disjoncteur différentiel réagit-il ?

## Accident n° 5

### En salle de TP de Sciences physiques : utilisation d'un oscilloscope

#### Descriptif

L'élève veut résoudre son problème de référence commune lors de l'observation simultanée de certains signaux en isolant de la Terre un oscilloscope de classe I. Pour que l'électrocution se produise, il faut qu'un défaut interne dans l'appareil vienne mettre sa carcasse au potentiel de la Phase. (Il faut signaler que l'enveloppe externe d'un oscilloscope est de plus en plus souvent plastifiée, mais, malgré cela, il peut subsister des parties métalliques accessibles).

Le schéma montre que la maille se referme par la Terre à travers l'élève : celui-ci est donc soumis à la tension du secteur EDF, soit ici 230 V, pendant un certain temps durant lequel il est traversé par un courant qui peut être important. Le schéma montre en outre que, dans cette situation, le disjoncteur différentiel va pouvoir détecter un courant de fuite et donc mettre hors tension l'installation électrique. Dans l'attente de ce déclenchement, l'élève aura néanmoins reçu une décharge électrique susceptible de l'électrocuter.

Cette électrocution est rendue impossible si le conducteur de Terre de l'oscilloscope est connecté à l'installation : le schéma montre alors que, dans cette situation, le disjoncteur différentiel peut détecter un courant de fuite et donc mettre hors tension l'installation électrique, avant que l'élève ne touche l'appareil. Il est évident que l'oscilloscope doit être réparé.

**Remarque 1 :** Il est parfois possible que ce courant de fuite ne soit pas suffisant pour déclencher le différentiel et, dans ce cas, malgré la bonne connexion, l'utilisateur peut recevoir une décharge électrique.

**Remarque 2 :** Comme il est interdit d'isoler de la Terre un appareil de classe I, il est donc nécessaire de rechercher les méthodes adaptées aux mesures que l'on doit effectuer.



**(arrêt avant que la solution soit apportée)**

#### Exploitation pédagogique

##### Exercice 5.5.1. (tous publics)

Exercice d'exploitation immédiate des images du vidéogramme.

##### Exercice 5.5.2. (public des élèves techniciens)

Exercice d'illustration de l'accident n° 5 (contact indirect entre un conducteur et la Terre)

#### Exercices de synthèse

##### Exercice 5.6.1. (public des élèves techniciens)

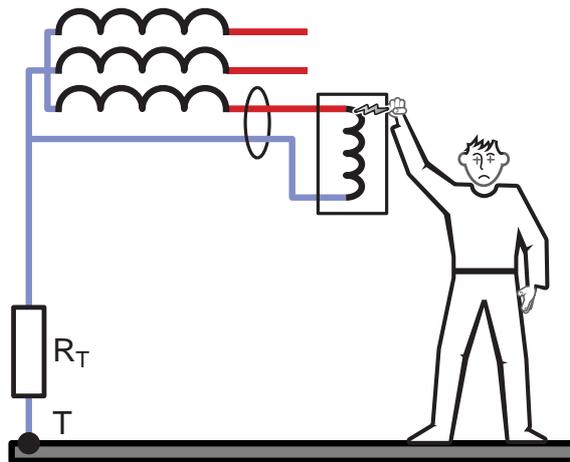
Exercice portant sur l'ensemble de la séquence n° 5 « Fool contact ».

##### Exercice 5.6.2. (public formation continue)

Exercice portant sur le disjoncteur différentiel.

**L'EXPLOITATION DE CETTE SÉQUENCE ÉTANT TERMINÉE  
ON POURRA REPRENDRE LA PROJECTION DU FILM.**

**Exercice 5.5.1.**



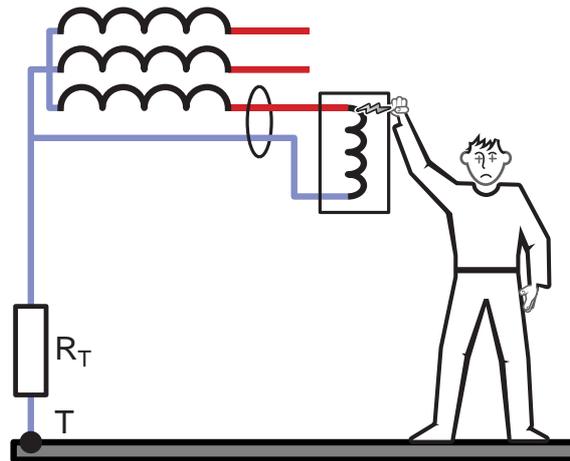
- a – Tracer sur le schéma la maille parcourue par le courant.
- b – Répondre ensuite au questionnaire ci-dessous.

<b>QUESTION</b>	<b>RÉPONSE</b>
Est-ce un contact direct ou indirect ?	
Le disjoncteur différentiel se déclenche-t-il ?	
Quelles précautions aurait-il fallu prendre pour éviter l'accident ?	

### Exercice 5.5.2.

Contact indirect entre un conducteur et la Terre.

La source de tension est la prise de courant. Lorsque l'élève touche l'oscilloscope, sa main droite entre en contact avec une masse métallique portée au potentiel de la Phase. Le circuit se referme par la Terre. Dans cette situation, le disjoncteur différentiel met l'installation hors tension puisque dans un laboratoire de Travaux Pratiques, il doit être réglé à 30 mA.



La résistance entre la main droite et les pieds de la victime est de  $1000 \Omega$ . La résistance du sol entre les pieds de la victime et le point T est de  $50 \Omega$ . La résistance  $R_T$  est de  $50 \Omega$ . La tension est de  $230 \text{ V}$ . Un courant passant dans la zone du cœur peut être mortel à partir de  $50 \text{ mA}$ .

- a – La victime est chaussée, la résistance des semelles est de  $50 \Omega$ .
- Calculer le courant passant dans le corps de la victime. Que risque-t-elle ?
  - Comment le disjoncteur différentiel réagit-il ?
- b – La victime est chaussée, la résistance des semelles est de  $10 \text{ k}\Omega$ .
- Calculer le courant passant dans le corps de la victime. Que risque-t-elle ?
  - Que fait le disjoncteur différentiel ?

### Exercice 5.6.1.

Répondre au questionnaire d'évaluation présenté dans le tableau ci-dessous :

<b>QUESTIONS POUR ALLER PLUS LOIN</b>	<b>RÉPONSES</b>
Le disjoncteur différentiel protège-t-il des chocs électriques par contact direct ?	
Le disjoncteur différentiel protège-t-il des chocs électriques par contact indirect ?	
Est-on électriquement protégé si on est isolé du sol ?	
À partir des accidents traités dans le vidéogramme, expliquer la différence entre un contact direct et un contact indirect.	
Les cordons électriques récents possèdent des fiches dont les broches sont isolées sur une partie de leur longueur. Quel est le danger ainsi évité ?	
A-t-on le droit de connecter un appareil de classe I dans une fiche à deux connecteurs ? Pourquoi ?	
Qu'est ce qu'une prise de courant à éclisses ? Quel est son intérêt ?	
Quels éléments d'une installation domestique permettent de protéger les personnes des dangers du courant électrique ?	
Pourquoi est-il dangereux de tirer sur le cordon d'alimentation d'un appareil électrique ?	

**Exercice 5.6.2.**

a – À l'aide du théorème d'Ampère expliquer pourquoi il existe un champ **B** dans le circuit magnétique en cas de courant de défaut. Quelle est dans ce cas l'action du champ **B** dans la bobine secondaire ?

b – Pourquoi ce disjoncteur différentiel ne fonctionne-t-il pas en courant continu ?

c – Que pourrait-on faire pour avoir un disjoncteur différentiel fonctionnant avec du continu ?  
À quelle difficulté va-t-on se heurter ?

## 6. Les règles de l'art

Le but poursuivi n'est pas d'être exhaustif sur les procédures, mais de donner des conseils à partir d'une situation concrète prise comme exemple : ici, durant une séance de Travaux Pratiques d'électrotechnique, deux élèves doivent effectuer les essais usuels sur un moteur asynchrone triphasé. La séquence comporte trois parties : mauvais câblage, bon câblage et décâblage.

### Première partie de la séquence

#### Descriptif

Lors de la première partie de la séquence n° 6, les élèves se montrent très étourdis et peu soigneux dans leur travail de câblage (bien qu'ils ne soient pas débutants). Leur professeur, appelé à vérifier le montage, se montrant fort mécontent du résultat obtenu, leur commande de recommencer le câblage.

*N.B. : Il est probable que les élèves n'en sont pas à leurs premiers apprentissages sinon le professeur aurait précisé les motifs de sa désapprobation.*

Décontenancés, les élèves imaginent alors les conséquences dramatiques qu'aurait pu générer leur imprudence.

Une icône en bas à droite de l'image invite à un arrêt dans la projection en vue de l'exploitation suivante, qui vise essentiellement à recenser "les mauvais gestes" des élèves.

*N.B. : Les auteurs ont pris le parti de ne pas montrer en temps réel la scène correspondant à la mauvaise façon de câbler, afin de privilégier la scène suivante consacrée aux "bons gestes", scène qui est elle-même renforcée par le dialogue entre les deux élèves.*



Une icône en bas à droite de l'image invite à un arrêt dans la projection en vue de l'exploitation suivante qui vise essentiellement à recenser « les mauvais gestes » des élèves.

### Exploitation pédagogique

#### Exercices 6.1.1, 6.1.2. (public des élèves techniciens)

Exercice d'exploitation des images du vidéogramme.

#### Exercice 6.1.3. (public des élèves techniciens)

Exercice d'anticipation des images suivantes.

Il ne peut se concevoir qu'après correction de l'exercice 6.1.2.

La deuxième partie de la séquence peut être considérée comme une correction de cet exercice.

**L'EXPLOITATION DE CETTE SÉQUENCE ÉTANT TERMINÉE  
ON POURRA REPRENDRE LA PROJECTION DU FILM.**

### Exercice 6.1.1.

Pourquoi le professeur se montre-t-il mécontent ? Pourquoi refuse-t-il de déconsigner le poste ? Et pourquoi commande-t-il aux élèves de recommencer leur travail ?

### Exercice 6.1.2.

L'arrêt sur image montre que, rétrospectivement, la jeune élève a très peur en revoyant toutes les erreurs commises et imagine les très graves conséquences que certaines auraient pu entraîner si le poste avait été sous tension. En se mettant à la place de la jeune élève du film, trouver toutes ces erreurs (17, qu'elles soient réellement commises ou qu'elles soient hypothétiques d'après les images).

### Exercice 6.1.3.

Dresser la liste des procédures correctes à appliquer lors du câblage de ce moteur asynchrone (parfois, il suffit d'inverser certaines procédures incorrectes).

## 6. Les règles de l'art

### Deuxième partie de la séquence

#### *Descriptif*

Ayant pris conscience des suites graves de leur légèreté et de leur manque de sens des responsabilités, les élèves décident d'appliquer au mieux les procédures qui leur ont déjà été enseignées. Au cours de la seconde partie de la séquence, on les voit maintenant effectuer avec ordre et méthode, en les commentant, les différentes opérations de câblage. Le professeur revient vérifier et cette fois, accepte de déconsigner le poste. Les élèves peuvent alors effectuer les différentes mesures demandées.



Une icône en bas à droite de l'image invite à un arrêt dans la projection afin de corriger l'exercice 6.1.3. effectué par anticipation, et de permettre l'exploitation suivante.

#### *Exploitation pédagogique*

##### **Exercice 6.2.1.** *(public des élèves techniciens)*

Exercice d'exploitation des images du vidéogramme.

##### **Exercice 6.2.2.** *(public des élèves techniciens)*

Exercice préparatoire au visionnage de la séquence suivante, celle du décâblage.

**L'EXPLOITATION DE CETTE SÉQUENCE ÉTANT TERMINÉE  
ON POURRA REPRENDRE LA PROJECTION DU FILM.**

### Exercice 6.2.1.

En visionnant la seconde partie de la séquence n° 6, compléter éventuellement la liste des bonnes procédures dressée lors de l'exercice 6.1.3. Vérifier que toutes les bonnes procédures ont été bien mises en œuvre par les élèves du film. Expliquer en quoi ces procédures contribuent à améliorer la sécurité de l'opérateur.

### Exercice 6.2.2.

Anticiper le décâblage et répondre aux questions suivantes :

- a – Quelle est la première chose à faire avant de commencer le décâblage ?
- b – Dresser la liste des procédures correctes pour effectuer un décâblage.

## 6. Les règles de l'art

### Troisième partie de la séquence

#### *Descriptif*

Au cours de la troisième partie de la séquence, la manipulation étant terminée, les élèves décident de décâbler le moteur. Après avoir consigné le poste, ils effectuent, avec ordre et méthode, les différentes opérations.



*(arrêt avant que la solution soit apportée)*

#### *Exploitation pédagogique*

##### *Exercice 6.3. (public des élèves techniciens)*

En visionnant la troisième partie de la séquence n° 6, faire éventuellement compléter par les élèves leur liste des bonnes procédures de décâblage dressée lors de l'exercice 6.2.2. Leur faire vérifier que toutes les bonnes procédures ont bien été mises en œuvre par les élèves du film.

Leur faire expliquer en quoi ces procédures contribuent à améliorer la sécurité de l'opérateur.

## Conclusion

Le film s'achève sur l'inscription à l'écran des phrases suivantes qui résument bien les deux leçons principales que l'on peut en retirer :

**« La mise en conformité des équipements protège des dangers de l'électricité.**

**Mais, attention ! Même invisible, le risque demeure.**

**Restons vigilants. Respectons les procédures. »**

Malgré le respect des "Règles de l'art", un certain nombre de défauts subsistent encore, certains dus aux élèves, d'autres dus aux équipements du laboratoire.



La dernière icône placée en bas à droite des phrases suggère comme ultime exercice possible de dresser une liste de ces défauts. Ainsi, c'est une façon supplémentaire d'insister sur la notion de vigilance, toujours nécessaire, même si les précautions prises paraissent suffisantes.

# COMPLÉMENTS SCIENTIFIQUES

## 1. Conductivité des milieux

Un courant électrique est un déplacement de charges électriques sous l'effet d'une différence de potentiel. Selon le milieu considéré, ces charges peuvent être des ions ou des électrons.

### 1.1. Milieu humide

L'eau que l'on trouve dans les milieux naturels n'est pas pure, elle contient différents ions, par exemple : chlorure, sulfate, nitrite, nitrate pour les anions et calcium, magnésium, sodium, potassium, fer pour les cations.

Dans une électrolyse, les ions seront attirés par les électrodes de signe opposé. Cette expérience est limitée dans le temps lorsque les électrodes sont connectées à une source de tension continue car, au bout d'une certaine durée, tous les ions seront au contact de l'électrode électriquement opposée. Lorsque la source de tension est alternative, les ions sont successivement attirés par une électrode puis par l'autre. Ce phénomène n'est plus limité dans le temps. Ce qui explique la plus forte dangerosité du courant alternatif par rapport au courant continu.

**Le corps humain est un milieu humide (80% d'eau) et lors d'une électrocution, il peut être comparé à un électrolyte.**

### 1.2. Milieu semi-conducteur

La conduction dans un milieu semi-conducteur non dopé se fait par des électrons passés de la bande de valence dans la bande de conduction et par des trous dans la bande de valence (libérés par les électrons passés dans la bande de conduction). La résistivité du silicium intrinsèque dépend de la température, elle décroît quand la température s'élève, du fait de l'augmentation du nombre de porteurs (davantage d'électrons passent de la bande de valence à celle de conduction) : tant que la température n'est pas supérieure à la température de Boltzmann, la résistivité est supérieure à  $1\Omega\text{m}$ .

### 1.3. Milieu métallique

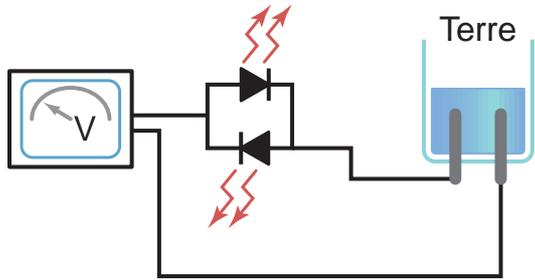
La conduction dans un milieu métallique se fait par des électrons qui sont des porteurs libres dans le réseau cristallin du métal. La densité de ces porteurs de charge est beaucoup plus grande que dans les semi-conducteurs, la résistivité des métaux augmente avec la température (parce qu'il y a davantage de chocs des électrons avec le réseau cristallin) : par exemple, la résistivité du cuivre est de  $1,6 \times 10^{-8}\Omega\text{m}$  à la température ambiante.

### 1.4. Milieu isolant

Les isolants électriques ne comportent ni ions ni électrons libres. Les matières plastiques d'une manière générale sont des isolants électriques. Citons quelques exemples :

- le terpolymère acrylonitrile-butadiène-styrène (abréviation ABS) est un polymère styrénique thermoplastique utilisé pour les boîtiers de radio, d'électrophone, de télévision ;
- le polytétrafluoroéthylène (abréviation PTFE), polymère halogéné thermoplastique aux propriétés antiadhérentes bien connues, est utilisé comme isolant électrique ;
- le polycarbonate (abréviation PC) polymère thermoplastique à chaîne mixte, est utilisé pour confectionner des feuilles isolantes employées en électronique ;
- le stratifié phénolique (abréviation PF), phénoplaste thermodurcissable, est utilisé pour les poignées de fer à repasser, les habillages de grille-pain, les boîtes à fusibles.

### 1.5. Milieu 'terreux'

PRINCIPE DE L'EXPÉRIENCE À RÉALISER:	COMMENTAIRES
	<p>Prise dans un état d'humidité normal, la terre de bruyère est un très bon conducteur. Si l'on ne dispose que d'une tension simple, on peut humidifier légèrement cette terre.</p>

*Note sur la signification du mot : « terre »*

*Pour un agriculteur, la terre c'est de la terre arable : ainsi, du granit, ce n'est pas de la terre.*

*Pour l'électricien du bâtiment ou de l'entreprise, la terre correspond généralement à la liaison de protection équipotentielle (notons que la résistivité du sol va de quelques  $\Omega\text{m}$  pour la tourbe humide à plusieurs milliers d' $\Omega\text{m}$  pour le granit et le grès).*

*Pour un marin, la terre c'est la partie du globe qui n'est pas recouverte par la mer : ainsi, la Pointe du Raz, qui est en granit fait partie de la terre. Mais, pour l'électricien du même bateau, la « terre » c'est la coque (métallique).*

*Pour un astrophysicien, la Terre c'est l'ensemble du globe terrestre.*

### 1.6. L'air

Dans les parties basses de l'atmosphère, l'air est très peu ionisé. L'ordre de grandeur de sa conductivité électrique  $\gamma$  est de  $3 \cdot 10^{-14} \Omega^{-1}\text{m}$ .

En revanche, l'ionosphère (région de l'atmosphère située au-dessus de 80 km d'altitude) est caractérisée par une grande densité d'ions. L'ordre de grandeur de sa conductivité électrique  $\gamma$  est de  $28 \Omega^{-1}\text{m}$ .

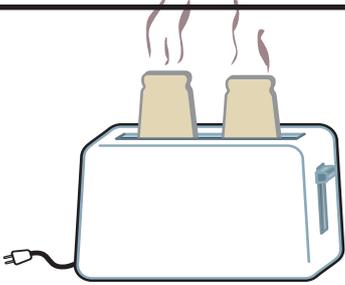
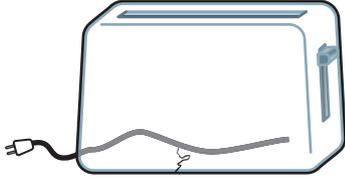
Par temps d'orage, l'air de l'atmosphère peut localement devenir conducteur bien que la valeur du champ électrique ( $10$  à  $15 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ ) soit inférieure à celle du champ d'ionisation de l'air ( $30 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ ) : il se forme un canal ionisé.

Lorsque la foudre frappe, un courant de très forte intensité s'écoule entre le nuage et le sol en empruntant ce canal qui s'est créé entre le nuage et le sol : la valeur maximale de ce courant peut atteindre  $20 \text{ kA}$ .

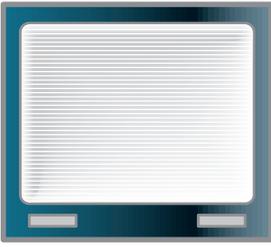
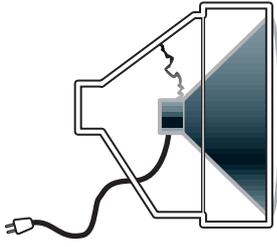
## 2. Classe d'un appareil

Les appareils électriques domestiques sont de bons exemples illustrant la notion de classe d'appareil.

### Exemple d'appareil de Classe I.

PRISE DE L'APPAREIL	EXEMPLE D'APPAREIL	LORS D'UN DÉFAUT
		
<p>Elle comporte trois conducteurs, un pour le Neutre l'autre pour la Phase et un dernier pour connecter la carcasse de l'appareil à la Terre.</p>	<p>Le boîtier de l'appareil comporte des parties métalliques électriquement conductrices. Ces parties constituent la masse de l'appareil et sont connectées à la Terre via la prise.</p>	<p>Lorsque ce défaut apparaît et que l'appareil est sous tension, le courant « s'évacue » par la connexion à la Terre. Le disjoncteur différentiel, sensible à ce courant, coupe l'alimentation (cette opération s'effectue en quelques millisecondes).</p>

### Exemple d'appareil de Classe II.

PRISE DE L'APPAREIL	EXEMPLE D'APPAREIL	LORS D'UN DÉFAUT
		
<p>Elle comporte deux conducteurs, un pour le Neutre l'autre pour la Phase.</p>	<p>Ces appareils sont entourés d'une carcasse électriquement isolante. Aucun conducteur pouvant être mis sous tension n'est accessible.</p>	<p>Lors d'un contact avec le boîtier externe de l'appareil, l'utilisateur est isolé du défaut par la carcasse : on parle ici de « double isolation ».</p>

### Exploitation pédagogique

#### Exercice 7.1. (tous publics)

**Exercice 7.1.**

Répondre aux questions suivantes :

a – Peut-on connecter un appareil de classe II dans une prise à trois connecteurs ?

b – Citer des appareils domestiques de classe I.

c – À quoi reconnaît-on qu'un appareil est de classe I ?

d – Citer des appareils domestiques de classe II.

e – À quoi reconnaît-on qu'un appareil domestique est de classe II ?

f – Quels sont les éléments d'une installation domestique qui permettent de protéger les personnes des dangers du courant électrique ?

### 3. Disjoncteur différentiel

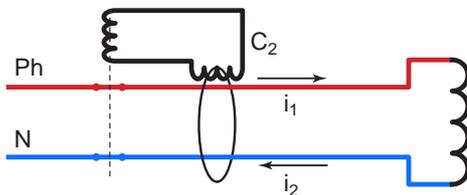
Au niveau du collège, le disjoncteur différentiel peut être simplement traité comme un dispositif comparant le courant entrant avec le courant sortant (le piège étant qu'il fonctionne en courant alternatif). Mais, à partir de la classe de première, les élèves ont des bases suffisantes en électromagnétisme pour comprendre le fonctionnement du disjoncteur différentiel.

#### Fonction réalisée par le disjoncteur différentiel

Il s'agit de provoquer la mise hors tension d'un circuit lors de l'apparition d'un courant de fuite.

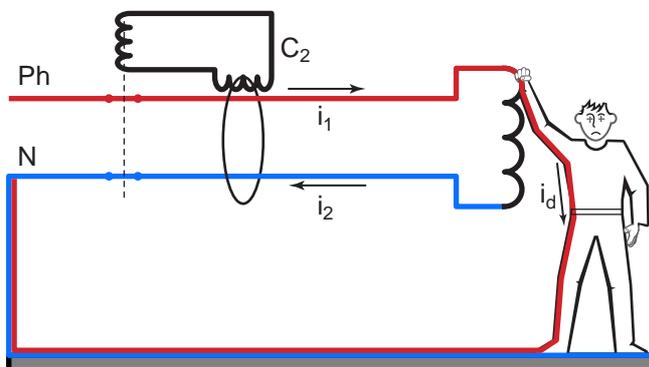
#### Principe de fonctionnement du disjoncteur différentiel

Si le courant  $i_1$  n'est pas égal au courant qui repart  $i_2$ , le circuit  $C_2$  le détecte et provoque l'ouverture du disjoncteur. Le disjoncteur différentiel ne fonctionne que pour des courants alternatifs.



Ici:  $i_1 = i_2$

Le disjoncteur ne réagit pas.



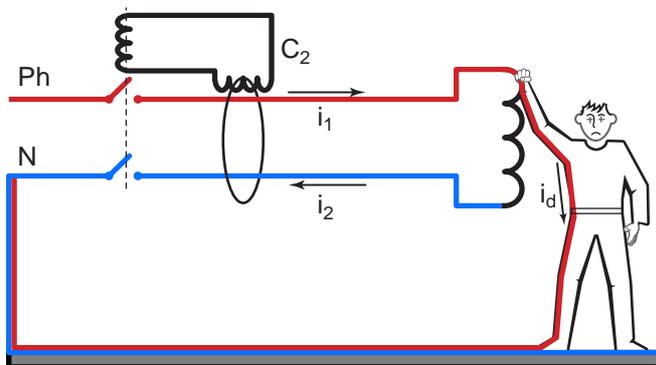
Ici:  $i_d \neq 0$

Il existe un courant de défaut.

Comme  $i_1 = i_2 + i_d$

alors  $i_1 \neq i_2$

Cette différence est détectée par le circuit magnétique.



Cela entraîne l'ouverture du disjoncteur différentiel.

*N.B. : pour le fonctionnement du disjoncteur différentiel, il faut que le courant de défaut existe : d'où le régime de neutre en TT.*

## Exploitation pédagogique

### **Exercice : 7.2.1.** *(public formation continue)*

Exercice sur le disjoncteur différentiel.

Cas d'un contact direct entre deux conducteurs actifs sous tension (entre Phases ou bien entre Phase et Neutre).

### **Exercice : 7.2.2.** *(public formation continue)*

Exercice portant sur le disjoncteur différentiel.

Cas d'un contact direct entre un conducteur actif sous tension et la Terre.

### **Exercice : 7.2.3.** *(public formation continue)*

Exercice sur le disjoncteur différentiel.

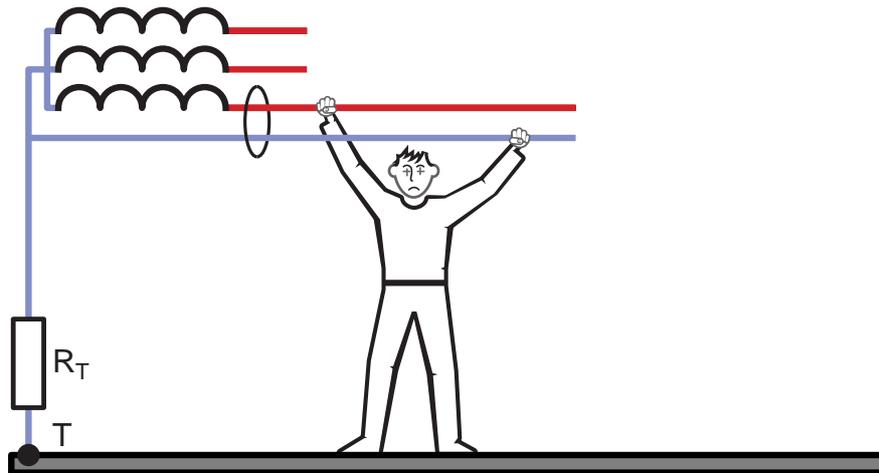
Contact indirect entre un appareil possédant un défaut d'isolation et la Terre.

### **Exercice : 7.2.4.** *(public formation continue)*

Exercice portant sur le disjoncteur différentiel.

Cas du contact indirect entre un appareil possédant un défaut d'isolation et un autre appareil possédant un défaut d'isolation.

Exercice : 7.2.1.



Une personne touche deux conducteurs actifs présentant entre eux une différence de potentiel de 230 V. La résistance électrique de son corps est estimée à  $1500 \Omega$ .

a – Quelle est l'intensité du courant électrique circulant dans cette personne ? Si ce courant passe dans la zone cardiaque, quel est le risque encouru ?

b – On suppose que cette personne présente par rapport à la Terre une résistance de  $100 \Omega$ .

– Quelle est l'intensité du courant de défaut ?

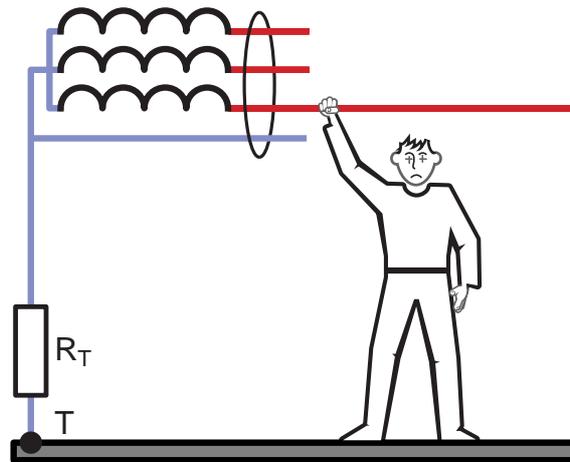
– Quelle sera la réaction d'un disjoncteur différentiel réglé à 30 mA ? Même question si le disjoncteur différentiel est réglé à 600 mA.

c – On suppose que cette personne présente par rapport à la Terre une résistance de  $20 \text{ k}\Omega$ .

– Quelle est l'intensité du courant de défaut ?

– Quelle sera la réaction d'un disjoncteur différentiel réglé à 30 mA ? Même question si le disjoncteur différentiel est réglé à 600 mA.

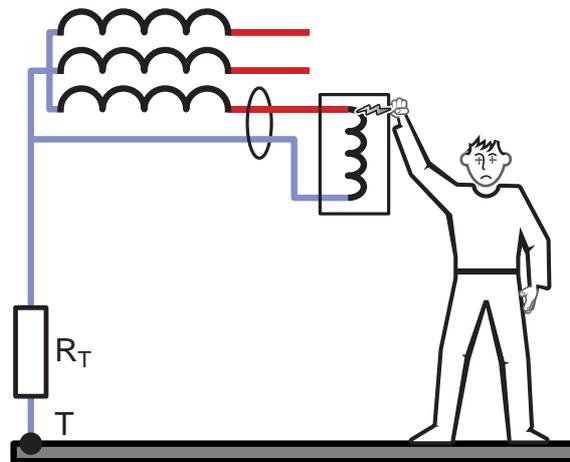
Exercice : 7.2.2.



Une personne reliée à la Terre touche un conducteur actif porté à un potentiel de 230 V par rapport au Neutre. La résistance électrique de son corps est estimée à 1500  $\Omega$ .

- a – Sachant que l'installation est en régime de neutre TT, quelle est la tension entre ce conducteur actif et la Terre ?
- b – Cette personne présente par rapport à la Terre une résistance de 100  $\Omega$ .
- Quelle est l'intensité du courant électrique qui la traverse ? Si ce courant passe dans la zone cardiaque, quel est le risque encouru ?
  - Quelle est l'intensité du courant de défaut ?
  - Quelle sera la réaction d'un disjoncteur différentiel réglé à 30 mA ? Même question si le disjoncteur différentiel est réglé à 600 mA.
- c – Cette personne présente par rapport à la Terre une résistance de 20 k $\Omega$ .
- Quelle est l'intensité du courant électrique qui la traverse ? Si ce courant passe dans la zone cardiaque, quel est le risque encouru ?
  - Quelle est l'intensité du courant de défaut ?
  - Quelle sera la réaction d'un disjoncteur différentiel réglé à 30 mA ? Même question si le disjoncteur différentiel est réglé à 600 mA.

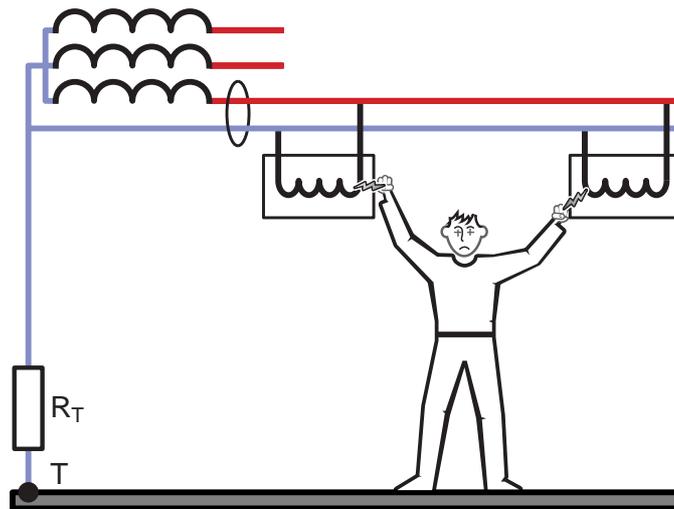
Exercice : 7.2.3.



Dans la situation décrite par le schéma ci-dessus, l'appareil possède un défaut d'isolation : la résistance entre sa carcasse et la Phase est de  $50 \Omega$ .

- a – Étude du cas où la carcasse de l'appareil n'est pas reliée à la Terre.
- Quelle est la réaction du disjoncteur différentiel au moment de la mise sous tension ?
  - Une personne reliée à la Terre touche la carcasse et cette personne possède une résistance électrique de  $1500 \Omega$ . La résistance entre la Terre et cette personne est de  $50 \Omega$ .
    - Quelle est l'intensité du courant électrique traversant le corps de cette personne ? Si ce courant passe dans la zone cardiaque quel est le risque encouru ?
    - Quelle sera la réaction d'un disjoncteur différentiel réglé à  $30 \text{ mA}$  ?
    - Quelle sera la réaction d'un disjoncteur différentiel réglé à  $600 \text{ mA}$  ?
- b – Étude du cas où la carcasse est reliée à la Terre par une résistance de  $5 \Omega$ .
- Quelle est la réaction du disjoncteur différentiel au moment de la mise sous tension ?
  - La personne décrite à la question a ci-dessus touche la carcasse de l'appareil : que se passe-t-il ?

**Exercice : 7.2.4.**



Dans la situation décrite par le schéma ci-dessus, un premier appareil possède un défaut d'isolation : la résistance entre sa carcasse et la Phase est de  $50 \Omega$ . Un second appareil, situé à proximité du précédent, possède le même défaut d'isolation.

*Cas où aucune des deux carcasses n'est reliée à la Terre.*

- a – Quelle est la réaction du disjoncteur différentiel au moment de la mise sous tension ?
- b – Une personne présentant une résistance électrique de  $1500 \Omega$  touche en même temps les deux carcasses.
  - Quelle est l'intensité du courant électrique qui la traverse ?
  - Si ce courant passe dans la zone cardiaque quel est le risque encouru ?
- c – Cette personne possède par rapport à la Terre une résistance de  $100 \Omega$ .
  - Quelle est l'intensité du courant de défaut ?
  - Quel sera la réaction d'un disjoncteur différentiel réglé à  $30 \text{ mA}$  ? Même question si le disjoncteur différentiel est réglé à  $600 \text{ mA}$ .
- d – Cette personne présente par rapport à la Terre une résistance de  $20 \text{ k}\Omega$ .
  - Quelle est l'intensité du courant de défaut ?
  - Quelle sera la réaction d'un disjoncteur différentiel réglé à  $30 \text{ mA}$  ? Même question si le disjoncteur différentiel est réglé à  $600 \text{ mA}$ .

*Cas où les deux carcasses sont reliées à la Terre par deux résistances de  $5 \Omega$ .*

Quelle est la réaction du disjoncteur différentiel à la mise sous tension ?

*Cas où seule la carcasse touchant la Phase est reliée à la Terre par une résistance de  $5 \Omega$ .*

Quelle est la réaction du disjoncteur différentiel à la mise sous tension ?

*Cas où seule la carcasse touchant le Neutre est reliée à la Terre par une résistance de  $5 \Omega$ .*

Quelle est la réaction du disjoncteur différentiel à la mise sous tension ?

## 4. Principe de protection dans le régime TT

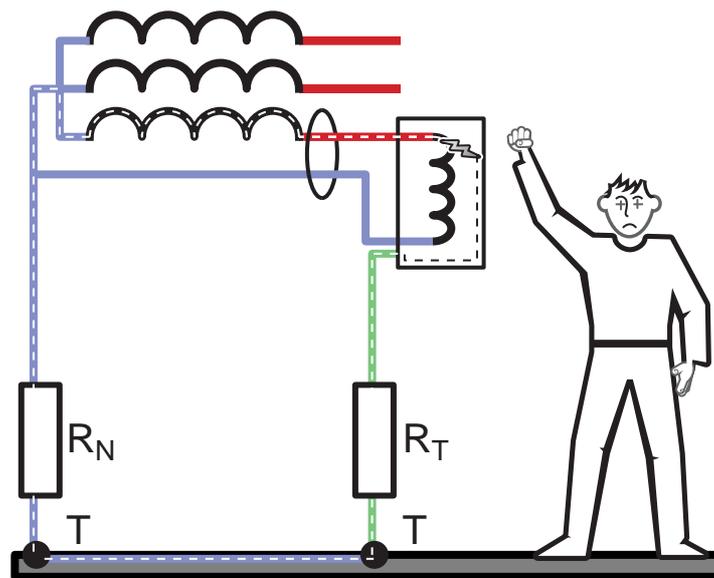
La législation française oblige tous les établissements recevant du public à adopter pour régime de Neutre le régime TT : c'est donc celui de la distribution publique à Basse Tension.

Dans le sigle TT :

- la première lettre signifie que le neutre du secondaire du transformateur de distribution est relié à la terre ;
- la seconde lettre signifie que la masse des appareils de classe I et les châssis métalliques des matériels sont reliés à la prise de Terre de l'installation, par l'intermédiaire du conducteur de protection PE. (*PE : liaison de protection équipotentielle. Correspond au fil vert jaune*).

Dans le régime TT :

- les prises de Terre du Neutre ( $R_N$ ) et des masses ( $R_T$ ) sont distinctes ;
- les masses métalliques des appareils, la prise de Terre sont reliées entre elles par le conducteur de protection PE.



La boucle de courant de défaut  $I_d$  fait ouvrir le disjoncteur différentiel dès la mise sous tension (sans que personne ne touche l'appareil).

La boucle de défaut est constituée par :

- le conducteur actif sur lequel se produit le défaut D ;
- le conducteur de protection PE reliant les masses à la prise de Terre de l'installation ;
- le sol ;
- la prise de Terre des masses  $R_T$  ;
- la prise de Terre du neutre  $R_N$  ;

On néglige la résistance :

- du conducteur actif ;
- du défaut (défaut franc, cas le plus défavorable) ;
- du conducteur de protection PE ;
- du sol ;

On néglige aussi les réactances.

Dans ces conditions la valeur efficace de l'intensité du courant de défaut franc est :

$$I_d = \frac{V}{R_T + R_N}$$

ce qui correspond à une tension de défaut franc de :

$$U_d = \frac{R_T}{R_T + R_N} V$$

La sécurité est assurée si la tension de défaut franc est inférieure ou égale à la tension limite conventionnelle  $U_L = 50$  V.

$$U_d = \left( \frac{R_T}{R_T + R_N} V \right) \leq U_L \Leftrightarrow U_d \leq U_L \Leftrightarrow R_T I_d \leq U_L$$

Le temps de coupure du dispositif de protection doit être au plus égal à 5 s.

Le dispositif de protection ne peut pas être un dispositif de protection contre les surintensités. En effet :

- un fusible de 20 A nécessiterait une prise de Terre d'une résistance inférieure à 0,7  $\Omega$ .
- un fusible de 32 A nécessiterait une prise de Terre d'une résistance inférieure à 0,5  $\Omega$ .

Ces valeurs de résistance de prise de Terre sont très difficiles à réaliser.

Le dispositif de protection ne peut être qu'à courant différentiel résiduel qui doit être tel que :

$$I_d = \frac{U_L}{R_T} ; U_L = 50 \text{ V}$$

Un dispositif à courant différentiel résiduel de 500 mA par exemple, nécessite une prise de Terre d'une résistance de 100  $\Omega$  ce qui peut être facilement obtenu dans la plupart des terrains.

## 5. Code de la signalisation lumineuse

Les couleurs des voyants lumineux de signalisation et leur signification suivant la condition (l'état) de la machine industrielle sont décrites dans la norme NF EN 60204-1 de février 1993 dont on présente un extrait ci-dessous

<b>COULEUR</b>	<b>SIGNIFICATION</b>	<b>COMMENTAIRE</b>
ROUGE	URGENCE	Aucune tension disponible sur le poste
JAUNE	ANORMAL	Seules les tensions de service sont disponibles (monophasé et TBT)
VERT	NORMAL	Le 400 V est disponible sur le poste

# BIBLIOGRAPHIE

Cette bibliographie n'est pas exhaustive : elle ne comporte que quelques pistes utiles à ceux qui voudront approfondir les problèmes liés à la sécurité électrique.

## 1. VIDÉOGRAMMES

- « Mort en Basse Tension » (INRS : 1967) 20 min
- « Haute tension » EDF
- « Tous au courant » (INRS : 1975) 24 min
- « L'Opéra de quat' fils » (INRS : 1989) 14 min
- « Ça n'arrive jamais ? » (INRS : 1990) 25 min
- « Classe branchés : habilitation électrique » (INRS : 1996) 30 min
- « Savoir vivre de l'électricité » (CRDP de la Réunion : 1998) 30 min

## 2. INTERNET

- Serveur du rectorat de l'académie de Toulouse. Adresse : <http://www.ac-toulouse.fr/pha>

## 3. DOCUMENTS MULTIMÉDIAS

- Cédérom «Mémoires d'Avenir» (Association de CeRF - IUFM de Toulouse : 1998)

## 5. LIVRES

- FOLLIOU, D. « Les accidents d'origine électrique, leur prévention ». Paris : Masson, 1982. 158 p. Monographies de médecine du travail. ISBN 2-225-74570-6
- Brochures éditées par l'INRS (numéros ED 537, ED 539, ED 723)
- Coffret pédagogique « Matières plastiques » édité en 1990 par le Syndicat Professionnel des Producteurs de Matières Plastiques (65 rue de Prony 75854, Paris cedex 17)

## 6. RÉFÉRENTIELS ET PROGRAMMES

- Référentiel des tâches professionnelles liées à l'habilitation électrique pour la formation des élèves de la filière Génie électrotechnique (publié en 1997).  
Téléchargeable à l'adresse : <http://www-sv.cict.fr/iufmrese/risquelec/referen.html>  
<http://www-sv.cict.fr/iufmrese/risquelec/pdf/risquelec.pdf>
- Programmes de Physique appliquée, publiés au BO spécial de septembre 1992