
Bulletin de l'Union des Physiciens

Association de professeurs de Physique et de Chimie

Une autre introduction des circuits électriques en classe de seconde :

par Françoise AURIC, Michèle CLEMENTE,
Lycée Marseille-Veyre

Jean-Jacques DUPIN , Samuel JOSHUA,
Groupe de Recherche en Didactique de la Physique, Marseille.

1. INTRODUCTION.

De nombreuses études ont mis en évidence des blocages conceptuels importants dans l'étude des circuits électriques, pour des élèves de seconde (TIBERGHIEU, 1983 ; DUPIN et JOHNSON, 1985).

Parmi ceux-ci, on peut relever :

- la difficulté d'acquisition de la notion de potentiel (ou de tension), qui demeure assez abstraite, et mal reliée aux autres concepts d'électrocinétique (COHEN et al, 1983).
- la difficulté de concevoir un circuit électrique comme un système, où tous les éléments interagissent entre eux pour aboutir à un état stationnaire (CLOSSET, 1983).
- la difficulté de concevoir un générateur parfait comme générateur de tension constante, et la grande propension à le considérer au contraire comme un générateur de courant.

L'introduction classiquement utilisée en classe de seconde pour les circuits électriques n'aide pas toujours à surmonter les difficultés. Les différentes grandeurs sont introduites de manière très opératoire, et surtout, sans que les relations qui les unissent n'apparaissent toujours très

clairement. La notion même de circuit complet (auquel correspond, entre autre, la loi de Pouillet) n'est introduite que très tardivement, seuls des "bouts de circuits" étant traités dans un premier temps.

Suivant HALBWACHS (1971), nous avons essayé de pratiquer au contraire une physique explicative, fournissant dès l'abord aux élèves un modèle assez complet qui rende compte des expériences présentées. Dans celui-ci, la f.é.m. d'une pile est considérée comme un aspect central d'un circuit, "cause" des divers phénomènes qui s'y produisent, avec des "effets" modulés par les caractéristiques particulières des éléments qui s'y trouvent connectés.

Cette approche, qui insiste sur les processus de modélisation dans l'apprentissage de la physique, est de plus en plus souvent proposée dans diverses innovations pédagogiques, et il paraît intéressant de décrire comment elle peut être concrétisée dans le cas précis des circuits électriques, comme d'en rapporter les effets sur des élèves de seconde.

2. LA PROGRESSION CHOISIE.

2.1. Première présentation d'un modèle du circuit électrique.

Parmi les objectifs prioritaires du programme d'électricité figure donc la *mémorisation* de la loi de Pouillet

$$I = \frac{E}{\Sigma R}$$

L'insistance sur cette loi est tout à fait en accord avec les propres objectifs que s'étaient fixés l'équipe.

- faire comprendre aux élèves que l'intensité est fonction de *tous* les éléments du circuit et de la façon dont ils sont branchés.
- enlever l'idée du générateur à courant constant malheureusement fort tenace dans l'esprit des élèves.

Nous avons choisi de présenter la *notion de résistance* du circuit dès les deux premières séances : rappels sur le circuit électrique, présentation des caractères importants par une analogie : la chenille (voir Document 1). Nous parlons donc immédiatement de résistance (sans présenter quantitativement la grandeur, son unité, etc...) et les élèves assimilent bien la signification des cas limites (valeur infinie : l'isolant ; valeur nulle : le conducteur parfait).

Ainsi, dès le *début* de notre présentation des cours d'électricité, valeur de l'intensité et résistance du circuit sont liées, ainsi que valeur de l'intensité et "possibilités" du générateur, la *seule* grandeur connue alors étant

l'intensité. Viennent ensuite quelques rappels et compléments sur l'intensité : signification, loi des nœuds.

A la fin de ce chapitre, des expériences de cours, utilisant des lampes, mettent en évidence les propriétés des circuits. Ceci étant exprimé sous la forme :

- plus on met de lampes en série dans un circuit avec un générateur donné, plus l'intensité qui en sort est faible, donc plus la résistance du circuit augmente (ceci est bien admis).
- plus on met de lampes en parallèle dans les mêmes conditions, plus l'intensité sortant du générateur est forte, donc plus la résistance du circuit diminue (ceci est beaucoup plus difficile à admettre par les élèves ! il faut y revenir souvent par la suite).

Nous sommes alors à la fin de la deuxième semaine de cours, voire la troisième, compte tenu de l'avancée des cours de chimie parallèlement. Nous pouvons alors en *contrôle* tester l'assimilation de ces notions. Seule est connue l'intensité mais nous proposons différents circuits et posons des questions de comparaison des intensités (voir Document 2. Auparavant les élèves ont deux tests de cours de dix minutes). Nous insistons donc en permanence pendant le début du cours sur ces notions qualitativement présentées (voir aussi le déroulement des T.P. : Document 3 et annexes).

2.2. L'introduction de la notion de tension.

Suit la présentation de la grandeur tension, liée exclusivement, au début, au *générateur de tension* : la tension existe entre les bornes P et N du générateur et elle se mesure en volts avec un voltmètre. Nous introduisons le générateur de tension parfait : il a une tension constante entre ses bornes quel que soit le circuit. Cette valeur est appelée f.é.m. E , $U_{PN} = E$. Nous traduisons immédiatement ceci graphiquement en faisant trouver la caractéristique du générateur de tension parfait.

Ensuite, nous montrons avec une expérience de cours utilisant un pont à fil que la tension U_{PN} se répartit dans le circuit, qu'aux bornes d'une portion du fil, la tension dépend de la résistance de cette portion (diviseur de tension présenté qualitativement encore) et qu'il y a additivité des tensions (voir Document 4).

A ce stade, nous espérons avoir mis en place :

- I conséquence de U
- U_{PN} se répartit
- I dépend de la f.é.m. du générateur et de la résistance du circuit.

Nous parlons alors du *point de fonctionnement* d'un circuit : bien sûr, il n'est pas présenté encore comme le point de concours de deux caractéristiques mais comme le couple (U,I) qui caractérise chaque circuit.

Nous en sommes à six semaines de cours. Parallèlement, le planning des TP (un par quinzaine) a été le suivant :

- TP1 : utilisation des appareils de mesure aux ordinateurs, programme LAPME.
- TP2 : intensité (voir Document 3).
- TP3 : conducteur ohmique : la comparaison de deux conducteurs permet de les classer en plus ou moins conducteurs, moins ou plus résistants.

En effet, dès que la notion de tension aux bornes d'une portion de circuit est connue nous présentons le conducteur ohmique et les associations. Ceci permet, puisque le *générateur (parfait) est connu*, de traiter des problèmes portant sur des circuits complets et non des "réseaux" de conducteurs ohmiques et de présenter la loi de Pouillet. Ceci vient donc beaucoup plus tôt dans le déroulement du cours que dans une progression classique.

Ensuite les T.P. portent sur :

- TP4 : oscillographe, mesure de U.
- TP5 : autres dipôles passifs...

2.3. Générateur parfait et pile.

La présentation du cours d'électricité est de nouveau modifiée au moment de l'étude de la pile. Elle est présentée comme l'association en série d'un générateur de tension parfait et d'un conducteur ohmique. Nous faisons un travail préalable en exercice (ou devoir) où les élèves traitent un circuit complet. Ils appliquent les lois d'Ohm et de Pouillet et étudient la portion comportant le générateur parfait et le conducteur ohmique en série (voir Document 5). Au cours du TP sur la pile (TP3), ils sont guidés par l'analogie avec l'exercice précédent : ayant tracé la caractéristique de la pile, ils trouvent les deux grandeurs E et r. Ceci présente plusieurs avantages pour les élèves :

- ils concrétisent mieux la notion de résistance interne.
- ils ne sont pas perturbés par l'apparition de ce nouveau générateur : il a quelque chose en plus, c'est tout.

- ils appliquent avec facilité la loi de Pouillet puisqu'ils y sont habitués ; il ne leur faut qu'introduire la résistance interne du générateur.

3. CONCLUSION.

Cette présentation a deux avantages essentiels : elle garde permanente en filigrane l'idée que $l = f(E, R)$ et elle permet de donner beaucoup plus d'importance à la loi de Pouillet et au point de fonctionnement. Ce ne sont pas des acquis de fin de progression mais des connaissances utilisées pendant des semaines et donc, on peut l'espérer, mieux assimilées.

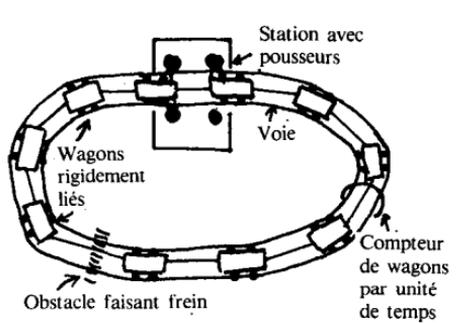
Par ailleurs signalons que si elle modifie l'importance relative de certaines parties du programme, sur l'ensemble, le temps réservé à l'électricité n'est pas augmenté.

Remarque :

La mise en place des nouveaux programmes en 1987 et l'utilisation de plus en plus répandue d'appareils digitaux amène à supprimer le premier T.P. sur l'utilisation des appareils de mesure analogiques (programme LAPME).

DOCUMENT 1

ANALOGIE DE LA "CHENILLE"



Circuit électrique	
Circuit fermé	
Charges électriques	
	Déplacement des wagons
	Nombre de wagons passant par unité de temps
Sens conventionnel du courant	
Résistance du filament au déplacement des charges	
	Echauffement produit par frottement sur le frein
	La station avec ses pousseurs
Usure de la pile	
	Les wagons traversent la station

Faire en face du schéma de la chenille le circuit électrique correspondant.
 Si on déplace le compteur, enregistre-t-il le passage d'un même nombre de wagons par unité de temps ?

DOCUMENT 2**TEST RECAPITULATIF - 1 heure****NOM :**

Capacités évaluées : Connaissance du cours. Utilisation de la calculatrice. Schématisation et application de la loi des nœuds.

PHYSIQUE**1. Exercice : application simple du cours** (5 min., 2 points)

Un dipôle est traversé par un courant d'intensité 420 mA. La quantité d'électricité l'ayant traversé est $4,80 \cdot 10^4$ Coulombs. Calculer la durée du passage du courant.

2. Exercice (15 à 20 min., 5,5 points)

On réalise le montage d'un circuit avec dérivations. On commence par placer en série deux piles P_1 et P_2 , un interrupteur, un ampèremètre et une lampe L_1 ; puis on constitue une dérivation aux bornes de L_1 : elle comprend en série une lampe L_2 et un résistor R.

1. Faire le schéma du circuit obtenu.

2. L'ampèremètre mesure une intensité I . Compléter chacune des phrases suivantes en ajoutant "*supérieure, inférieure ou égale*" et en terminant la phrase après "parce que".

* L'intensité qui traverse L_1 est..... à I parce que

* L'intensité qui traverse R est..... à I parce que

* L'intensité qui traverse L_2 est..... à celle qui traverse R parce que

* L'intensité qui traverse P_1 est..... à I parce que

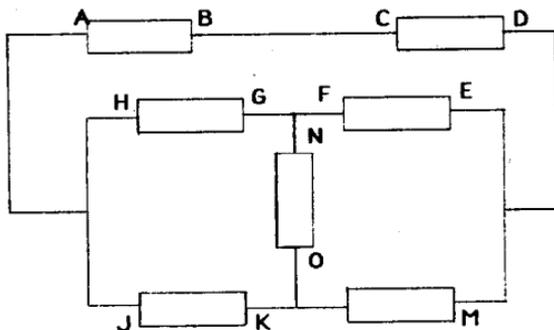
* L'intensité qui traverse P_2 est..... à I parce que

* L'intensité qui traverse L_2 est..... à I parce que

3. **Exercice** (15 à 20 min., 5,5 points).

Dans ce circuit, déterminer les sens et les intensités des courants de chaque dipôle. $I_{HG} = 0,1A$; $I_{JK} = 0,3A$; $I_{NO} = 0,2A$.

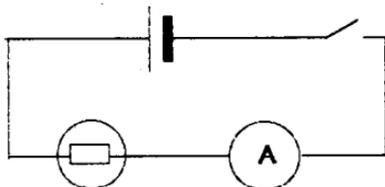
Proposer un de ces dipôles comme générateur en précisant ses bornes.

DOCUMENT 3**MESURE DE L'INTENSITE**

Avis à recopier : Ne jamais brancher un circuit sur l'alimentation sans vérification préalable par le professeur.

1. **Utilisation et choix d'un calibre** :

* *faire* le montage suivant :



* *compléter* les phrases suivantes :

- l'ampèremètre est un dipôle polarisé parce que.....
- l'ampèremètre se branche en
- il faut utiliser en PREMIER le calibre le PLUS.....
- on a intérêt à changer si possible de calibre parce que
- on sait que l'on peut changer de calibre parce que

2. Mesures dans un circuit série :

Expérience 1. On dispose d'une pile, d'un interrupteur, d'une lampe, d'un résistor, d'un ampèremètre et de fils.

- * *Faire* le schéma du montage en série de ces divers dipôles.
- * *Réaliser* ce montage et *mesurer* l'intensité.
- * *Noter* les valeurs obtenues par les autres groupes. *Commenter*.

Expérience 2.

- * *Rassembler* le matériel de deux groupes.
- * *Faire* le schéma du circuit où les deux piles, l'interrupteur et les quatre lampes sont montées en série.
- * *Réaliser* ce montage.
- * *Observer* si toutes les lampes brillent de la même manière. *Commentaires*.
- * *Utiliser* l'ampèremètre pour vérifier les propriétés vues en cours.
- * *Noter* les valeurs des intensités mesurées. A-t-on ou non vérifié la loi ?

3. Mesures dans un circuit comportant des dérivations (par groupe de 2).

- * *Faire* le schéma où les 2 lampes différentes sont montées en dérivation.
- * *Réaliser* le montage et *faire* les mesures pour vérifier la loi des nœuds.
- * *Noter* les valeurs. Cette loi est-elle vérifiée ?

4. Validité des mesures.

Toute mesure conduit à un résultat connu avec une *incertitude*. *Rechercher* les causes d'erreurs dans ce T.P.

ANNEXE 1 AU DOCUMENT 3

Quelques remarques sur le déroulement du T.P.

Ce T.P. paraît trop ambitieux pour certains de nos élèves de seconde. Comme pour chacun de nos T.P. (surtout au début de l'apprentissage en électricité), nous définissons un *contrat minimum* que nous indiquons aux élèves. Les expériences ou questions supplémentaires ne sont traitées que par les groupes les plus rapides. Leurs résultats sont commentés ensuite en classe entière. Ici *tous* les élèves doivent faire 1 et 2. Seuls certains continuent. Ceci ne présente pas de handicap pour la suite, car dans un T.P. ultérieur (tension avec oscillographe), ils doivent tous réaliser un circuit avec dérivations.

L'expérience du 1 sert à faire le point sur les possibilités expérimentales des élèves. Les phases à compléter interrogent sur le cours *pendant* que le professeur vérifie les montages.

A la fin du 1, après quelques minutes de mise au point, le professeur présente et distribue la grille de suivi (annexe 2 au Document 3) qui sera utilisée dès le paragraphe 2 de ce T.P. et jusqu'à la fin du cours d'électricité.

Dans 2, *Expérience 1* : les élèves ont du matériel différent suivant les groupes, donc ils reviennent sur $I=f(E,R)$ en comparant leurs résultats.

Expérience 2 : ils éprouvent le besoin de déplacer l'ampèremètre et les lampes pour répondre aux questions qu'ils se posent. En particulier, une des lampes étant choisie de façon à ce qu'elle ne s'allume pas, les hypothèses vont bon train ("et si on la rapprochait de la pile pour qu'elle s'allume !...)

La notion d'incertitude n'est présentée qu'après que les élèves aient été confrontés à un problème : ont-ils ou non vérifié l'unicité du courant dans un circuit série ? (ils ont deux ampèremètres différents dans cette expérience) ; ont-ils vérifié la loi des nœuds ?

Expression d'un résultat

- * Donner l'expression littérale
- * Donner un résultat avec la bonne unité
- * Repérer un résultat impossible
- * Utiliser les multiples et sous-multiples
- * Utiliser les puissances de 10
- * Garder 3 chiffres significatifs

TP1	TP2	Test 1	TP3

Présentation

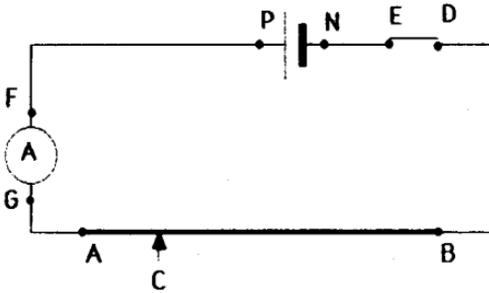
- * Présentation soignée de l'écrit

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

DOCUMENT 4

REPARTITION DE LA TENSION DANS UN CIRCUIT

1. Le circuit



AB est un résistor filiforme. C est un curseur.
 Y-a-t-il une tension entre A et B ? $U_{AB} = \dots\dots$

2. Expérience

On déplace C et on mesure U_{AC} et U_{CB} .

Position de C. AC en cm	U_{AC} (V)	U_{CB}	$U_{AC} + U_{CB}$
$AC_1 = 5$ cm			
$AC_2 = 25$ cm			
$AC_3 = 50$ cm			
$AC_4 = 75$ cm			

Conclusion.

3. Expérience

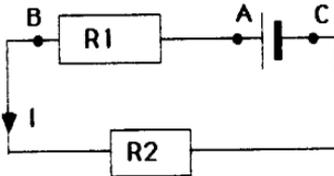
Mesure de la tension (V)	Nature du dipôle	Interprétation
$U_{BD} =$		
$U_{DE} =$		
$U_{EN} =$		
$U_{PF} =$		
$U_{GA} =$		
$U_{FG} =$		

Conclusions.

DOCUMENT 5

**ETUDE DE L'ASSOCIATION
GENERATEUR PARFAIT /
CONDUCTEUR OHMIQUE**

On considère le circuit suivant :



Le générateur est parfait, de f.é.m. = 12V ; les deux dipôles passifs sont des conducteurs ohmiques D₁ et D₂, de résistances R₁ et R₂. R₁ = 120Ω.

1° cas : I = 30,0 mA

- a) calculer R_{équivalent} puis R₂.
- b) calculer U_{AB} et U_{BC}.

2° cas : On remplace le dipôle D₂ par un rhéostat, conducteur ohmique dont on peut faire varier la résistance. On notera encore cette résistance R₂

a) Compléter le tableau suivant (pour chaque valeur, on peut reprendre les lois utilisées au 1° cas I, U_{AC}, U_{AB}, U_{BC}) :

R ₂ (Ω)	0	60	120	240	280	600	∞
I (mA)							
U _{AC} (V)							
U _{AB} (V)							
U _{BC} (V)							

b) Le générateur parfait a pour bornes A et C. Tracer sa caractéristique $U_{AC} = f(I)$. Echelle : 1 cm représente 1V, 1cm représente 10mA.

c) L'association générateur parfait-dipôle D_1 a pour bornes B et C. Tracer sa caractéristique $U_{BC} = f(I)$ (même système d'axes, même échelle que la précédente courbe).

d) Exprimer U_{AC} et U_{BC} en fonction de E, R, l.

e) Déterminer graphiquement U_{AC} et U_{BC} pour $l = 80\text{mA}$. Pour cette valeur de l, calculer $U_{AC} - U_{BC}$. Que représente cette grandeur ? Comment peut-on la trouver à l'aide des deux courbes ? A partir de ces résultats, retrouver la valeur de R_1 .

f) Calculer R_2 pour $l = 80\text{mA}$ (en utilisant les lectures faites en e).

REFERENCES

Closset, J.L. (1983). Le raisonnement séquentiel en électrocinétique. Thèse 3° Cycle, Paris 7.

Cohen, R., Eylon, B. & Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuit. American Journal ou Physics, 5(5), 407-412.

Dupin, J.J. & Joshua, S. (1985). L'évolution des représentations en électrocinétique. Rapport MEN pour l'ATP "Les transitions dans le système éducatif".

Halbwahs, F. (1971). Causalité linéaire et causalité circulaire en Physique. In F. Halbwachs (Ed.) : Les théories de la causalité. Paris : PUF.

Tiberghien, A. (1983). Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens des notions de circuit électrique pour les élèves de 8 à 20 ans. In CNRS (Ed.) : Recherche en Didactique de la Physique, 91-108, Paris : CNRS.