



Nom : .....

Classe : .....

# Electricité 3e

**Les courants continus - Introduction à l'électronique**

syllabus v2.1



Année : 2001/2002 (v2.1)

Prof. : E. SMEESTERS

# Table des matières

AVANT PROPOS	3	2.2.3. Définition mathématique du courant	45
INTRODUCTION & OBJECTIFS	5	2.2.4. Le courant est une grandeur algébrique	45
<b>1 - LES SCHÉMAS</b>		2.2.5. Le courant alternatif (AC~) et continu (DC=)	46
<b>1.1. Ce qu'il faut comprendre avant tout</b>	9	2.2.6. L'ampère-heure (Ah)	47
1.1.1. Ce qui "court" dans les fils...	9	<b>2.3. La loi des courants (des noeuds)</b>	48
1.1.2. ... ne "court" pas n'importe où, ...	10	2.3.1. Explication physique	48
1.1.3. ... traverse les interrupteurs fermés, ...	11	2.3.2. Énoncé mathématique	49
1.1.4. ... et ressort des appareils.	11	2.3.3. Énoncé algébrique	49
1.1.5. Les raccourcis courts	14	2.3.4. Exemples	50
<b>1.2. Le langage électrique</b>	15	2.3.5. Le disjoncteur différentiel	51
1.2.1. Du circuit au schéma	15	<b>2.4. Le calcul scientifique</b>	52
1.2.2. Les dipôles principaux et leur symbole	16	2.4.1. L'écriture scientifique des nombres	52
1.2.3. Un circuit (opérationnel) contient au minimum...	18	2.4.2. Les préfixes	56
1.2.4. ... et au maximum	19	2.4.3. Rappels d'algèbre	56
1.2.5. Les groupements de dipôles et les CI	22	<b>2.5. Exercices</b>	58
<b>1.3. Le dessin des schémas</b>	24	<b>3 - LES TENSIONS</b>	
1.3.1. Les différentes manières de schématiser un circuit	24	<b>3.1. Approche concrète de la tension</b>	68
1.3.2. La simplification d'un schéma	24	3.1.1. Pas de courant sans tension !	68
1.3.3. La logique des interrupteurs	26	3.1.2. Le potentiel de référence : la masse (électrique)	69
<b>1.4. Exercices</b>	27	3.1.3. Sens et notations de la tension	70
<b>2 - LES COURANTS</b>		3.1.4. Le sens respectif du courant et de la tension	71
<b>2.1. Zoom sur fil électrique</b>	35	<b>3.2. La loi des tensions (des mailles)</b>	72
2.1.1. A quoi ressemble un atome?	36	3.2.1. Explication physique	72
2.1.2. Les électrons sont comme des... abeilles	38	3.2.2. Énoncé mathématique	72
2.1.3. A quoi ressemble un courant?	38	3.2.3. Exemples	73
2.1.4. Les électrons sont négatifs	41	<b>3.3. Définition de la tension</b>	74
2.1.5. Les électrons avancent à contre-courant	41	3.3.1. Les quatre forces connues de la nature	74
<b>2.2. Définition du courant</b>	42	3.3.2. Les notions de travail et d'énergie	75
2.2.1. Les grandeurs physiques et leur unité	43	3.3.3. Définition mathématique de la tension	77
2.2.2. Définition du coulomb (et de nos 4 unités de base)	44	3.3.4. Comment "fabrique-t-on" une tension?	79
		<b>3.4. Exercices</b>	80

## 4 - LES PUISSANCES

<b>4.1. La notion de puissance</b>	88
4.1.1. La puissance c'est l'énergie pendant une seconde	88
4.1.2. La puissance est la seule chose transférée	90
<b>4.2. La puissance d'un seul dipôle</b>	91
4.2.1. La formule de PUIssance	91
4.2.2. La puissance d'un dipôle dans un circuit électrique	92
4.2.3. Le signe de la puissance	92
<b>4.3. Le bilan des puissances</b>	93
4.3.1. Rien ne se perd, rien ne se crée dans l'univers...	93
4.3.2. ... et en particulier dans un circuit électrique	93
<b>4.4. Exercices</b>	94

## 5 - LES RÉSTANCES

<b>5.1. Zoom sur un dipôle passif</b>	100
5.1.1. La résistance R de n'importe quel dipôle	101
5.1.2. Le premier dipôle passif : la résistance électronique	101
<b>5.2. A quoi résiste une résistance ?</b>	102
5.2.1. Explication physique de la loi d'Ohm	102
5.2.2. La loi d'Ohm	104
5.2.3. La loi d'Ohm dans un circuit électrique	104
5.2.4. La mesure d'une résistance	105
<b>5.3. Quand ça résiste... ça chauffe !</b>	106
5.3.1. Explication physique de l'effet Joule	106
5.3.2. La loi de Joule	106
5.3.3. Avantages et inconvénients de l'effet Joule	109
5.3.4. Les résistances électroniques sont fragiles	111
<b>5.4. La résistance équivalente</b>	111
5.4.1. La résistance équivalente série	112
5.4.2. La résistance équivalente parallèle	114
5.4.3. La résistance équivalente mixte	115
5.4.4. Comment fabriquer une $150\Omega$ avec des $100\Omega$ ?	116
<b>5.5. Exercices</b>	117

## 6 - LE CALCUL DE CIRCUITS

<b>6.1. Introduction</b>	125
6.1.1. Jusqu'ici, tout était parfait	126
6.1.2. Qu'est-ce que le calcul de circuit ?	127
6.1.3. Que faut-il connaître pour calculer un circuit ?	128
<b>6.2. Les différentes méthodes de calcul</b>	132
6.2.1. Les méthodes classiques	132
6.2.2. La méthode de proche en proche	132
<b>6.3. Exercices</b>	136

## 7 - LES CIRCUITS RÉELS

<b>7.1. Introduction</b>	147
7.1.1. Qu'est-ce qu'un circuit réel ?	148
7.1.2. Deux circuits pas si "parfaits" que ça...	148
7.1.3. Un circuit parfait pour "modéliser" un circuit réel	149
<b>7.2. Etude détaillée de la résistance</b>	150
7.2.1. Les fausses suppositions des circuits parfaits	150
7.2.2. Définition de la résistivité $\rho$ d'un matériau	151
7.2.3. De quoi dépend la résistivité? - la loi de Matthiessen	152
7.2.4. La loi de Pouillet	155
<b>7.3. Les conséquences pratiques</b>	156
7.3.1. La chute de tension en ligne (en DC)	156
7.3.2. La lampe à incandescence	158
<b>7.4. Le bilan énergétique d'un circuit</b>	159
7.4.1. Le principe de dégradation.	160
7.4.2. Le rendement	160
<b>7.5. Le coût de l'électricité</b>	161
7.5.1. Définition du kilowattheure [kWh]	161
7.5.2. Comment calcule-t-on le prix total ?	162
7.5.3. Le compteur d'énergie	163
<b>7.6. Exercices</b>	164

LA SUITE DE LA MATIÈRE 170

SOLUTIONS DES EXERCICES 172

LIENS 186

AIDE-MÉMOIRE 189

LES NIVEAUX D'EXERCICES 190

INDEX 191

# Avant Propos

A l'origine de ce livre, il y a un cours d'électricité, donné depuis quatre ans en 3<sup>ème</sup> secondaire à l'Inraci<sup>1</sup> et surtout une question : « Comment enseigner les bases de l'électricité à des jeunes de 15 ans, curieux et avides de notions précises mais dont le niveau mathématique dépasse rarement la règle de trois ? ».

Il en existe plusieurs livres sur l'apprentissage de l'électricité mais aucun d'eux ne fait la quadrature du cercle entre une approche à la fois scientifique, technique et didactique. C'est le pari un peu fou de ce syllabus.

Bien qu'écrit avec un réel souci pédagogique, ce syllabus n'est pas un livre grand-public. Il a été écrit pour un cadre scolaire avec le minimum d'aspect formel que cela implique. Il contient plus de 300 exercices avec solutions et ses objectifs (voir p. 7) sont très précis. A l'opposé, ce syllabus n'est pas non plus un cours d'électronique. C'est un cours sur les notions de bases de l'électricité, les courants continus. Mais, c'est une de ses particularités, il est clairement orienté vers l'électronique, afin de préparer au mieux les étudiants aux cours donnés dans les années suivantes à l'Inraci.



1. Bruxelles - enseignement technique de qualification - section électronique

## • Avertissements aux puristes

Ce syllabus contient quelques exemples et exercices qui risquent de déranger les puristes de l'électronique. Par exemple, un transistor traversé par un courant de 19A (voir § 2.3.4. p.50), un circuit complètement absurde (voir par exemple p. 62 ou p. 64) ou un appareil domestique branché en DC.

D'un point de vue électronique, ces exercices n'ont évidemment aucun sens mais d'un point de vue pédagogique ils en ont beaucoup. En effet, pour ce qui est de la loi des noeuds, par exemple, voici l'argument : Pour que les étudiants retiennent que cette loi est valable même quand il ne s'agit pas d'un noeud, et en fait quel que soit l'ensemble choisi, il faut les faire travailler sur des circuits électroniques. Ainsi, lorsqu'ils étudieront le transistor, ils sauront que la loi des noeuds s'y vérifie comme ailleurs. Or, à ce stade, les étudiants éprouvent énormément de difficulté à manipuler les préfixes scientifiques. Afin de séparer les difficultés, il est donc plus simple de parler d'un courant de 19A plutôt que d'un courant de  $19\mu\text{A}$ . Quant aux circuits absurdes, ils ont été conçus tout simplement car les circuits réels n'offrent pas toujours le même intérêt didactique.

Autre point qui risque de froisser les puristes : la loi d'ohm ou le calcul de puissance restant valable en AC, il n'est pas absurde de faire calculer aux étudiants la résistance nominale d'un four, d'une ampoule ou d'un grille-pain. A leur niveau, il n'est pas nécessaire de stipuler que ces appareils ne fonctionnent pas en continu. Quant à la notion de puissance réactive, impossible (et inutile) de leur en parler dans le cadre de ce premier cours d'électricité.

Enfin, concernant les normes graphiques, ce syllabus ne respecte malheureusement pas à 100% les normes édictées dans le PPI (livre de référence de l'Inraci en matière de dessin). La plus grosse "erreur" a trait à la source de tension, qui, dans ce cours, est toujours parfaite.

Pour rappel, l'objectif de ce cours est l'apprentissage des lois de bases, pas l'apprentissage de l'électronique ou de l'électrotechnique.

## • Remerciements

Tout d'abord un grand merci à André Yernaux, professeur de physique, qui a lu attentivement la première édition de ce syllabus et surtout écrit plus de dix pages de critiques (dont cette deuxième édition tient presque intégralement compte).

Ensuite merci à tous mes collègues de l'Inraci pour leurs conseils éclairés et particulièrement à Jacques Myter pour son soutien "logistique", Michel Cortvrint pour ses références bibliographiques et Alain Chabeau pour ses conseils "infographiques".

Merci aussi à Isa.

# Introduction & objectifs

## • L'électricité c'est quoi ?

L'électricité, tout le monde connaît. Nous l'utilisons quasiment 24h/24h. Il suffit d'imaginer les conséquences d'une coupure générale d'électricité pour se rendre compte de la place qu'elle a prise dans notre vie quotidienne. Tout le monde connaît puisque tout le monde l'utilise mais, pour vraiment comprendre "comment ça marche", il faut devenir... électricien et ça, comme beaucoup d'autres métiers, ça prend du temps.

Il faut en effet quelques années pour accepter que, si l'électricité on peut la calculer avec une extraordinaire précision... on ne peut pas la voir. On voit ce qu'elle produit (la lumière d'une ampoule) mais on ne verra jamais à l'oeil nu "ce qui court" dans les fils électriques. En effet, bien qu'étant la troisième force de l'univers<sup>1</sup>, l'électricité appartient pourtant au domaine de l'infiniment petit. C'est ce qui fait sa différence, et malheureusement aussi sa difficulté, par rapport à la mécanique par exemple. Alors l'électricité c'est quoi?

L'électricité, on peut dire que c'est une forme d'énergie naturelle comme le vent ou le soleil. L'énergie, c'est ce qui fait changer les choses, les fait bouger, les réchauffe, etc. Mais l'électricité est un peu particulière. Contrairement au vent ou au soleil, par exemple, il faut la "fabriquer", la "provoquer". Car l'électricité est partout dans la nature, même dans notre corps, mais elle est cachée. Une fois qu'on l'a provoquée, produite, on peut en faire ce que l'on veut, ou presque...

En effet, l'électricité est devenue aujourd'hui bien plus qu'une forme d'énergie, elle est devenue énormément de choses à la fois. On pourrait en donner vingt définitions différentes selon que l'on s'intéresse à l'un ou l'autre de ses aspects. C'est par exemple le point commun entre un grille-pain, une télévision, un train, un GSM, une carte magnétique, un ordinateur ou un laser. Toutes ces machines fonctionnent grâce à l'électricité et sont pourtant très

---

1. Depuis le XX<sup>ème</sup> siècle, les scientifiques n'ont découvert que quatre forces fondamentales dans l'univers. Il s'agit, par ordre de puissance, de la force nucléaire forte, la force nucléaire faible, la force électrique et la force gravitationnelle.

différentes. On peut donc dire que l'électricité ça chauffe, ça fait des images ou du son, ça transporte des gens, ça mémorise un tas de choses, ça calcule et ça fait même de la lumière. C'est beaucoup pour un seul mot...

Aujourd'hui, on dit plutôt que l'électricité est un phénomène naturel à la base de plusieurs techniques qui correspondent à des utilisations très différentes de l'électricité. Il est d'ailleurs devenu impossible, pour un seul homme, de maîtriser toutes ces techniques en même temps. On peut, à titre d'exemple, en citer cinq.

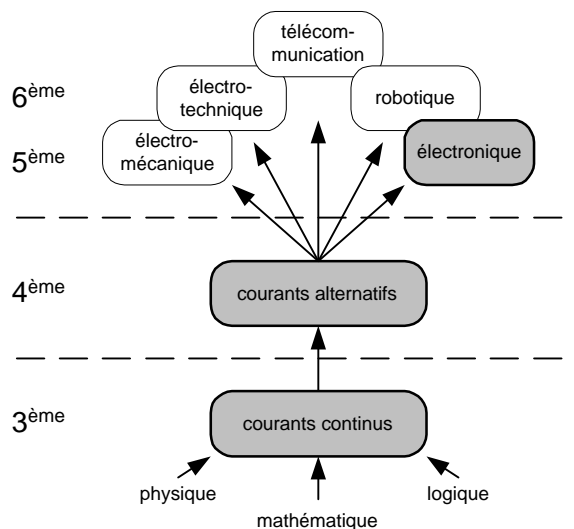
Technique	Domaine	Exemple d'application
l'électrotechnique	transport et stockage d'énergie	lignes HT, batteries
l'électromécanique	forces et mouvements	foreuse
l'électronique	calcul et mémorisation	ordinateur, carte Proton
la télécommunication	transport d'information	téléphone, réseau TV
les hyperfréquences	antenne et détection	antenne satellite, GSM, radar

Ces techniques sont le plus souvent complémentaires, par exemple dans le GSM. Cet appareil est un condensé d'hyperfréquences (antenne), de télécommunication (traitement de signal), d'électronique et même d'électrotechnique (batterie).

### • L'apprentissage de l'électricité

L'électricité étant tellement vaste aujourd'hui, ce cours ne peut faire qu'en aborder une partie. De plus, ce cours est le premier d'une série, il ne traite forcément que des courants continus.

Fig. 1. Que ce soit à l'Inraci ou ailleurs, on doit d'abord passer par les deux premières étapes que sont les courants continus et alternatifs avant d'attaquer une spécialité telle que par exemple l'électronique.



Ce n'est donc pas avec ce cours que vous comprendrez comment fonctionne une antenne ou même un moteur électrique. Tout au plus pourrez-vous comprendre le circuit d'éclairage d'une voiture et le principe d'une ampoule ou d'un four électrique, bref uniquement ce qui chauffe et fait de la lumière.

## • Les préalables

Les préalables nécessaires à ce cours sont extrêmement réduits. Mais ils sont néanmoins indispensables. Ils sont essentiellement d'ordre mathématique.

Fig. 2. Ces quatre notions sont considérées comme connues dans ce cours.

$\frac{1}{4} + \frac{1}{6} = ?$	$\text{Si } 3 = \frac{6x}{4} \text{ alors } x = ?$	$\begin{aligned} (10^{-2})^3 = ? & \quad 10^3 = ? \\ 10^3 \cdot 10^{-3} = ? & \quad 10^{-2} = ? \end{aligned}$	$\text{Si } 6 - \frac{4x}{3} = 2 \text{ alors } x = ?$
<i>Addition de fractions</i> (Rép. : 5/12)	<i>Règle de trois</i> (Rép. : x = 2)	<i>Arithmétique des exposants</i> (Rép. : 10 <sup>6</sup> ; 0,1 ; 10 <sup>5</sup> )	<i>Equation du 1<sup>er</sup> degré à 1 inconnue</i> (Rép. : x = 3)

Il est également nécessaire de connaître quelques notions de base de physique telles que la vitesse et le débit.

## • Objectifs de ce cours

L'objectif de ce cours est de maîtriser les bases des courants continus. Cela signifie apprendre les cinq notions de base (chapitres 1 à 5) et le calcul des circuits (chapitre 6) puis commencer l'étude des circuits réels (chapitre 7).

Plus concrètement, l'objectif est, qu'à la fin de ce cours, vous soyez capables de

- calculer n'importe quelle grandeur électrique dans un circuit à courant continu de 10 dipôles maximum (dont une seule source)
- résoudre un exercice de niveau 10 (voir page 190)

## • Les niveaux d'exercices

Une des particularité de ce cours est d'apprendre, outre l'électricité, la technique de calcul scientifique et la résolution de problème. Pour ce faire, certains exercices ont été classés par niveau de difficulté croissante. Le niveau 1 ne fait appel à aucun calcul tandis que le niveau 10 est toujours un problème à résoudre.

De plus les niveaux supérieurs (7 à 10) ne sont demandés qu'à partir du chapitre 7. Par contre, les exercices de niveau inférieur servent avant tout à permettre un apprentissage progressif. Ils sont donc concentrés dans les cinq premiers chapitres (qui correspondent d'ailleurs aux cinq notions de base).

Les détails des différents niveaux sont repris dans le tableau de la page 190.