

Difficultés d'étudiants à propos des circuits en courant alternatif

par Jean LASCOURS
ENFA de Toulouse
LEMME - Université Toulouse III
et Bernard CALMETTES
CeRF-IUFM de Toulouse
LEMME - Université Toulouse III

RÉSUMÉ

L'article présenté ici est un élément qui fait partie d'une thèse de didactique de la physique préparée au LEMME de l'université Paul Sabatier à Toulouse (Laboratoire d'Études des Méthodes Modernes d'Enseignement).

Cette thèse (en cours de deuxième année) a pour titre «le condensateur dans l'enseignement secondaire : propositions didactiques». Elle est née de l'observation des difficultés qu'éprouvent les étudiants avec des circuits comprenant des condensateurs et s'intéresse en particulier aux conceptions et raisonnements spontanés.

INTRODUCTION

Un questionnaire, dans le cadre de cette thèse a été adressé à des professeurs en formation (deuxième année de CAPES et Agrégation) ; l'une des questions était un exercice concernant un circuit RC alimenté en courant alternatif. Le taux d'échec surprenant que nous avons relevé nous a conduits, sur cet exemple précis à étudier la nature des outils qu'une personne que l'on peut considérer comme experte, mobilise spontanément.

Par ailleurs, nous sommes partis en quête de l'indice minimum qui permet dans une situation donnée à un étudiant, de mobiliser des outils efficaces pour résoudre un problème.

Le champ de nos investigations porte sur l'étude des circuits RC en courant alternatif, mais les difficultés observées pourraient l'être dans des circuits comprenant d'autres dipôles introduisant un déphasage en alternatif.

Notre problématique peut se définir ainsi :

- quelles connaissances et quelles procédures des étudiants de l'enseignement supérieur mettent-ils en œuvre pour résoudre un test relatif aux circuits RC en alternatif ?
- quels indices sont pris en compte dans l'énoncé des exercices proposés ?
- quel est leur rôle dans le choix d'une stratégie de résolution ?
- comment analyser les observations faites ?

Pour aborder cette étude, nous avons choisi des questions qui peuvent surprendre le lecteur de par leur étonnante simplicité ; en effet dans les deux tests présentés dans cet article on trouve un circuit électrique comprenant seulement un générateur de tension alternative, un résistor et un condensateur en série.

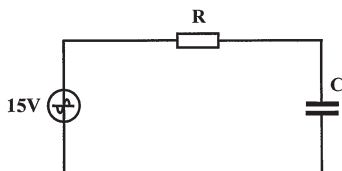
On donne les valeurs efficaces des tensions aux bornes de deux dipôles et on demande de trouver la troisième.

UN PREMIER TEST

Le questionnaire

La première question posée se résume au contenu de l'encadré suivant :

Le circuit suivant comprend une résistance et un condensateur. Il est alimenté par un transformateur branché sur le secteur, qui délivre une tension de 15V.



- On mesure la tension aux bornes de la résistance,

on trouve :

$$U_R = 12V$$

- On mesure ensuite la tension aux bornes du condensateur (désignée par U_C)

Cochez la case qui correspond à votre prévision :

☐ 0 V

☐ 3 V

☐ 6 V

☐ 9 V

☐ 12 V

☐ 15 V

Choix des valeurs proposées comme réponses possibles

Nous faisons l'hypothèse, au vu des réponses obtenues à propos de l'exercice cité en introduction, que devant une telle situation, où se trouvent seulement deux composants disposés en série et un générateur, les étudiants vont simplement soustraire les deux tensions 15 V et 12 V, d'où la réponse proposée : 3 V.

Les valeurs des tensions ont été choisies de manière à ce que la réponse correcte 9 V puisse être trouvée par un calcul simple (les nombres sont proportionnels aux nombres 3, 4, 5 qui évoquent un triangle rectangle bien connu).

Les valeurs 0 V et 15 V ont été proposées pour laisser exprimer d'éventuels raisonnements du type «un condensateur se comporte comme un interrupteur fermé en courant alternatif», ou «un condensateur ne laisse pas passer de courant».

Les valeurs 6 V et 12 V complètent naturellement la série qui commence à 0 V pour terminer à 15 V.

Les conditions de passage du test

Ce questionnaire a été proposé à :

- une classe de première année de T.S. électronique d'un lycée de l'enseignement technique,
- un groupe d'étudiants de DEUG - A,
- des professeurs stagiaires en deuxième année PLP Maths-Physique-chimie de l'enseignement agricole,
- des étudiants en première année d'IUFM de trois IUFM différents, notés A, B, C.

L'effectif total est de cent quatre-vingt six étudiants.

La question présentée ci-avant est d'abord proposée aux étudiants ; le temps laissé est de l'ordre de cinq minutes. Aussitôt après une deuxième question est distribuée ; elle est identique à la précédente mais au début de la feuille, juste au-dessus de la question, un indice est donné sous forme d'une phrase écrite en caractères gras :

«Pour résoudre l'exercice suivant, vous pouvez utiliser les diagrammes de Fresnel, les impédances, les impédances complexes ou toute autre méthode à votre convenance».

La pratique a montré que le temps nécessaire pour répondre à cette deuxième question pouvait être légèrement supérieur à cinq minutes.

Une notice explicative est distribuée à l'enseignant, elle lui précise les conditions de passage dans les moindres détails. Il est, dans une large mesure, informé de la recherche en cours.

Premiers résultats

Le tableau 1 qui suit donne pour chaque question (sans indice et avec indice) les réponses données par chaque groupe consulté ainsi que les pourcentages correspondants.

La bonne réponse est en caractères gras.

Effets de l'indice sur les réponses de l'ensemble des étudiants

Sans indice							Total	
Effectif	20	13	18	62	15	58	186	
	TS	DEUG A	PLP MSP	IUFM - A	IUFM - B	IUFM - C	TOUS	
0 V	0	0	0	4	1	5	10	5 %
3 V	18	10	16	43	14	37	138	74 %
6 V	0	0	0	0	0	1	1	1 %
9 V	0	2	1	4	0	6	13	7 %
12 V	2	1	0	0	0	0	3	2 %
15 V	0	0	1	0	0	1	2	1 %
N.R.	0	0	0	11	0	8	19	10 %

Avec indice								
Effectif	20	13	18	62	15	58	186	
	TS	DEUG A	PLP MSP	IUFM - A	IUFM - B	IUFM - C	TOUS	
0 V	0	0	0	3	1	0	4	2 %
3 V	9	7	3	12	5	8	44	24 %
6 V	0	0	0	0	0	1	1	1 %
9 V	8	4	14	31	5	33	95	51 %
12 V	1	0	0	1	0	1	3	2 %
15 V	0	0	0	0	0	0	0	0 %
N.R.	2	2	1	15	4	15	39	21 %

Tableau 1

Premiers commentaires

Nous observons que l'origine des étudiants n'a pas d'influence sur les résultats obtenus.

Nous avons donc regroupé tous les résultats pour une présentation globale.

Dans le cas de la question sans indice, les réponses 3 V sont largement majoritaires pour tous les groupes, conformément aux prévisions.

Le tableau nous montre que près des trois quarts des étudiants (74 %) donnent la réponse erronée 3 V, seulement 7 % donnent la réponse exacte et 10 % ne répondent pas. Les autres réponses ne recueillent que de très faibles pourcentages.

Dans le cas de la question avec indice, pour tous les groupes, le nombre de réponses correctes s'est accru. On note toutefois une efficacité sensiblement plus grande de l'indice chez les professeurs stagiaires de deuxième année (ces étudiants ont été reçus au concours !).

Le tableau témoigne essentiellement de trois réactions :

- plus de la moitié des étudiants (51 %), donnent la réponse exacte : **9 V**,
- près d'un quart des étudiants (24 %), conservent la réponse inexacte : **3 V**,
- le nombre de non réponses a doublé (de 10 % à 21 %).

Les diagrammes circulaires (voir figure 1) rendent compte de l'évolution des réponses, de la question sans indice à la question avec indice.

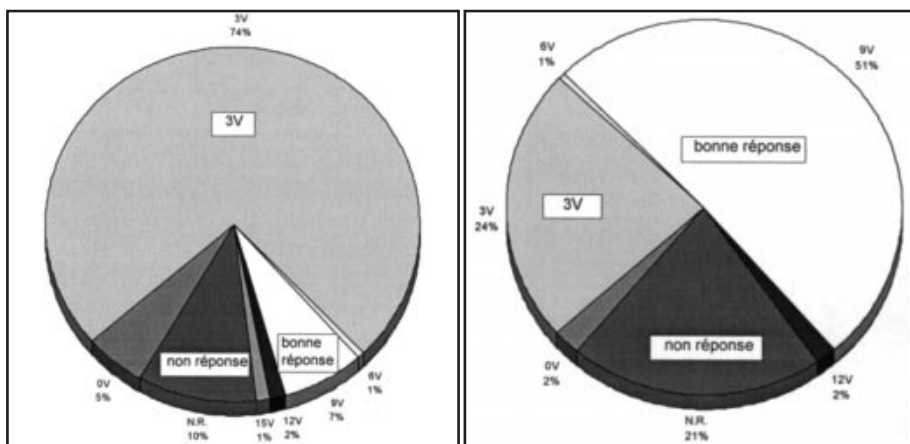


Figure 1

Les outils mis en œuvre par les étudiants

Le questionnaire et l'incitation ferme du professeur qui proposait le test invitaient les étudiants à utiliser une partie de la feuille comme brouillon.

Réponses à la question sans indice

- *Les réponses correctes*

Douze étudiants, sur treize qui ont donné la bonne réponse dès la première question, ont utilisé les diagrammes de Fresnel, un seul a utilisé les impédances complexes.

- *Les réponses incorrectes*

Parmi les réponses 3 V qui ont été données par les trois quarts du public, 81 % d'entre elles sont justifiées par un appel à une «loi» d'additivité des valeurs efficaces des tensions ($3\text{ V} + \text{valeur cherchée} = 15\text{ V}$), comme en témoignent l'écriture effective de la «loi» ou son utilisation par le calcul, les dessins, ...).

Les autres réponses erronées sont accompagnées pour 30 % d'entre elles de calculs plus ou moins compliqués, on y trouve diverses expressions de l'impédance, des équations différentielles, ...

La plupart de ces calculs n'aboutissent pas et la réponse autre que 3 V est donnée, quels que soient les résultats intermédiaires obtenus.

On note que quatre étudiants, sur cent quatre-vingt six ont tenté d'utiliser sans succès le diagramme de Fresnel.

Réponses à la question avec indice

- *Les réponses correctes*

Les diagrammes de Fresnel ont été utilisés dans la totalité des réponses à la deuxième question, avec indice.

- *Les réponses incorrectes*

Parmi les réponses incorrectes qui subsistent, 34 % font encore appel à une loi d'additivité sur des valeurs efficaces.

Le nombre de réponses incorrectes présentant des calculs plus ou moins compliqués qui n'aboutissent pas, a été multiplié par deux (62 % du nombre de réponses incorrectes).

Près de la moitié des étudiants qui n'ont pas trouvé la bonne réponse a tenté d'utiliser les diagrammes de Fresnel (représentations maladroites, incomplètes, ...).

Répartition des réponses incorrectes, avec et sans indice

Le tableau 2 indique pour chaque groupe les nombres d'erreurs commises, réparties en trois catégories (on notera que les étudiants ont pu commettre des erreurs de plusieurs types).

Sans indice					
	Diagrammes de Fresnel	Calculs divers équa-diffs, ...	Loi des mailles	Total erreurs	Effectif
TS	0	2	17	20	20
DEUG A	0	1	9	11	13
PLP MSP	0	0	15	17	18
IUFM - A	1	20	47	58	62
IUFM - B	0	1	13	15	15
IUFM - C	1	28	39	52	58
	2	52	140	173	186
Pourcentage du nombre de réponses incorrectes	1 %	30 %	81 %		

Avec indice					
	Diagrammes de Fresnel	Calculs divers équa-diffs, ...	Loi des mailles	Total erreurs	Effectif
TS	4	5	8	12	20
DEUG A	2	6	6	9	13
PLP MSP	2	2	2	5	18
IUFM - A	13	23	8	31	62
IUFM - B	2	5	3	10	15
IUFM - C	15	16	4	25	58
	38	57	31	92	186
Pourcentage du nombre de réponses incorrectes	41 %	62 %	34 %		

Tableau 2

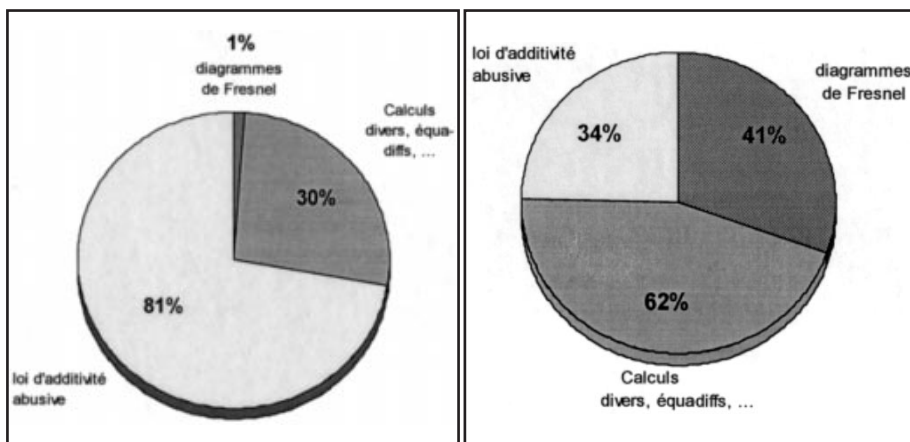


Figure 2 : Répartition des réponses incorrectes.

Premiers éléments d'analyse

L'étude des réponses au travers des calculs présentés, des commentaires écrits et des entretiens effectués auprès de professeurs stagiaires et d'étudiants (prise de notes en temps réel), montre que dans une situation où un générateur alimente quelques dipôles placés en série, ils mobilisent spontanément ce qu'ils ont appris dans les premiers cours de physique en courant continu.

La loi des mailles en courant continu, semble profondément gravée dans les esprits, et la présence simultanée d'un générateur de tension alternative et d'un condensateur n'a pas réussi à éveiller les soupçons de la grande majorité des étudiants.

Pourtant, plusieurs d'entre eux interrogés oralement aussitôt après le test, ont avoué que la question leur paraissait trop facile pour n'être pas suspecte, mais ils n'ont pas trouvé la bonne réponse.

Il semble que quelques idées force constituent l'ossature d'un savoir relatif aux circuits électriques, et l'on retrouve bien souvent des expressions clés érigées en lois infaillibles et universelles dans une formulation approximative telle que :

«dans un circuit série, les tensions s'ajoutent et le courant est le même dans tout le circuit»

«dans un circuit en dérivation, les tensions sont les mêmes et les courants s'ajoutent»

Ces règles ainsi formulées comportent des non-dits. Elles s'appliquent aux circuits alimentés en courant continu, ou en courant alternatif, pour les valeurs efficaces, avec des éléments n'introduisant pas de déphasage, tels que des résistors.

Lorsqu'une valeur de tension est donnée en courant alternatif il s'agit bien souvent de sa valeur efficace (la tension du secteur 220 V, la tension délivrée par le secondaire d'un transformateur, ...).

Les phrases citées plus haut sont parfois précédées de «*on nous a toujours dit que, ...*». Elles témoignent d'un enracinement profond des conceptions qui se construisent dès les premiers enseignements de la physique à l'école.

Au cours des premiers apprentissages d'une notion, il n'est pas toujours possible de prendre en compte les domaines de validité des lois que l'on découvre et les conditions dans lesquelles elles sont applicables.

La découverte de la loi d'Ohm en classe de troisième se pratique avec des conducteurs ohmiques, la loi des mailles est seulement étudiée en courant continu.

Il semble difficile d'attirer l'attention des élèves de ce niveau sur le fait qu'il faille raisonner en valeurs instantanées si le courant est alternatif et si des bobines ou des condensateurs sont présents. Ceci pourrait être déstabilisant et mal venu d'autant plus qu'ils ne connaissent pas ces composants et que les concepts de tension efficace et instantanée ne sont pas construits.

En courant continu, il n'existe pour les étudiants qu'un seul type de «tension» que l'on mesure tout simplement avec un voltmètre, mais en courant alternatif, une difficulté apparaît : il existe plusieurs «tensions» dites instantanée, moyenne, efficace, crête, ... Il existe des voltmètres donnant la valeur efficace et même d'autres qui donnent la valeur efficace «vraie» !

Dans le cas du circuit RC alimenté par un transformateur, les valeurs de tensions citées, l'évocation des appareils de mesure, nous placent dans le domaine des valeurs efficaces des tensions.

Dans notre test, tout se passe comme s'il existait un lien implicite entre le schéma proposé et des règles connues que l'on applique spontanément et qui sont des «théorèmes en acte» [1].

Un schéma présentant deux éléments en série inspire automatiquement la règle d'additivité des valeurs des tensions évoquée plus haut, en effet rien de plus «naturel» que d'ajouter 3 V à 12 V pour obtenir 15 V ! La chose paraît «évidente».

Les non réponses

D'après les indications relevées sur les feuilles, les non-réponses résultent finalement de calculs plus ou moins complexes qui n'aboutissent pas. Certains étudiants précisent ici que la réponse 3 V est trop évidente et apparaît comme un piège tendu, il faut donc chercher autre chose, mais cela semble difficile.

Un repli et un refuge vers l'outillage mathématique intervient alors, il semble absolument nécessaire d'écrire des équations différentielles, des «formules», ... L'amalgame entre les premières situations vécues et la situation nouvelle, semblent troubler le choix judicieux et la mise en œuvre des outils de résolution élaborés.

Les effets de l'indice

Plusieurs professeurs de physique consultés sur le projet de questionnaire ont estimé que l'indice proposé apporterait d'évidence la solution et que l'ensemble des étudiants donnerait la bonne réponse. Des propos tels que «*si tu leur donnes ça, tu leur donnes la solution !*» sont assez représentatifs des réactions recueillies.

Le fait que seulement la moitié des étudiants environ ait tiré bénéfice de l'indice pourtant très fort, témoigne d'une très forte adhérence d'un raisonnement acquis, devenu spontané.

Les non-réponses supplémentaires qui apparaissent à la deuxième question, semblent dues à un trouble jeté par le fait que la même question soit posée avec une phrase introductive ressentie comme un avertissement. Celui-ci semble dire «attention, ce n'est pas aussi facile qu'il n'y paraît !». Ils ont alors écrit des relations diverses et variées sans avoir pris le recul nécessaire. La conviction acquise que la réponse 3 V n'est pas la bonne et non-aboutissement des calculs entrepris les ont amenés à ne pas donner de réponse (noté : NR).

UN DEUXIÈME TEST

L'indice qui était donné dans cette série de tests comportait des indications incitant très nettement les étudiants à utiliser certains outils. En particulier les expressions telles que «diagrammes de Fresnel» ou «impédances complexes» étaient particulièrement évocatrices.

Nous avons voulu apprécier l'influence d'indices de nature différente et pour cela, nous avons sélectionné six formes allant de l'absence d'indice à des indices que nous avons considérés comme des indices forts.

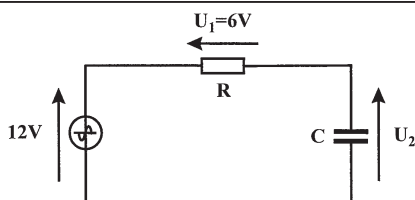
Les étudiants répondent après qu'une indication ait été donnée par le chercheur, oralement et par écrit par rétroprojection.

Les réponses données au fur et à mesure ne peuvent pas être retouchées.

Un intervalle de temps suffisant est laissé entre chaque item.

Six «questions-indices» différentes sont posées :

Le questionnaire



Entourez la bonne réponse (A, B ou C) ou NSP (je ne sais pas) après qu'une indication ait été donnée.

Vous pouvez expliquer votre réponse (partie droite de la feuille).

Précisez la valeur de U_2 .

- A $U_2 = 6 \text{ V}$
- B $U_2 > 6 \text{ V}$
- C $U_2 < 6 \text{ V}$
- NSP

Les questions présentées successivement sont identiques ; elles sont à chaque fois précédées de l'un des indices suivants numérotés dans l'ordre de 1 à 6.

- 1 - Précisez la valeur de la tension U_2 aux bornes du condensateur.
- 2 - Précisez la valeur efficace de la tension U_2 aux bornes du condensateur.
- 3 - On mesure la tension U_2 aux bornes du condensateur, quelle valeur lit-on sur le voltmètre numérique utilisé en position alternatif ?

- 4 - Attention, on est en alternatif... Précisez la valeur de U_2 .
- 5 - Fresnel... Précisez la valeur de U_2 .
- 6 - Impédances complexes... Précisez la valeur de U_2 .

Le choix des questions proposées

La question 1 ne donne aucun indice, on demande seulement la valeur d'une tension.

La question 2 suggère qu'il ne s'agit pas de courant continu.

La question 3 indique la nature de l'instrument de mesure et précise en clair qu'il s'agit de courant alternatif.

La question 4 porte une indication forte, le mot attention, invitant à ne pas tomber dans un piège et précise de façon appuyée que le courant est alternatif.

Les questions 5 et 6 nous semblent porter les indices les plus forts avec, en début de question un mot ou une expression qui ne sont autres que les noms des outils possibles à utiliser et qui manifestement devraient conduire à la bonne réponse (cf. test n° 1).

Le choix des réponses proposées

La première réponse est proposée à l'intention des étudiants qui vont utiliser de façon abusive une loi d'additivité des valeurs efficaces des tensions, et qui vont spontanément additionner 6 et 6 pour trouver 12.

Les deux réponses suivantes évitent aux étudiants de rechercher une valeur numérique.

Les résultats

Le nombre de réponses enregistrées est de 51.

La réponse attendue est en caractères gras.

Question - indice	Réponses possibles	Nombre de réponses
Q1 - Précisez la valeur de la tension U_2 aux bornes du condensateur	A $U_2 = 6 \text{ V}$ B $U_2 > 6 \text{ V}$ C $U_2 < 6 \text{ V}$ NSP	37 4 5 5
Q2 - Précisez la valeur efficace de la tension U_2 aux bornes du condensateur	A $U_2 = 6 \text{ V}$ B $U_2 > 6 \text{ V}$ C $U_2 < 6 \text{ V}$ NSP	14 3 30 4
Q3 - On mesure la tension U_2 aux bornes du condensateur, quelle valeur lit-on sur le voltmètre numérique utilisé en position alternatif ?	A $U_2 = 6 \text{ V}$ B $U_2 > 6 \text{ V}$ C $U_2 < 6 \text{ V}$ NSP	14 3 26 8
Q4 - Attention, on est en alternatif... Précisez la valeur de U_2	A $U_2 = 6 \text{ V}$ B $U_2 > 6 \text{ V}$ C $U_2 < 6 \text{ V}$ NSP	12 14 11 14
Q5 - Fresnel... Précisez la valeur de U_2	A $U_2 = 6 \text{ V}$ B $U_2 > 6 \text{ V}$ C $U_2 < 6 \text{ V}$ NSP	6 27 8 10
Q6 - Impédances complexes... Précisez la valeur de U_2	A $U_2 = 6 \text{ V}$ B $U_2 > 6 \text{ V}$ C $U_2 < 6 \text{ V}$ NSP	6 14 7 24

Premiers éléments d'analyse

Remarques fournies par les étudiants

Les explications fournies par ailleurs (partie droite des feuilles) permettent de mieux comprendre les modes de résolution utilisés et d'appréhender l'origine de certaines difficultés apparues :

– Avant l'indice, les quelques étudiants qui fournissent la bonne réponse utilisent déjà la construction de Fresnel ;

– Une additivité des tensions ($6 + 6 = 12$) est presque systématiquement écrite par les étudiants qui donnent la réponse A (question 1).

Les étudiants qui avaient donné A comme réponse à la question 1, donnent majoritairement C à la question 2 (23 étudiants sur 37), indiquant qu'il faut alors diviser 6 par racine de 2. U_2 est donc pour eux inférieur à 6 V.

Les autres étudiants (14 sur 37) précisent que U_2 est déjà une valeur efficace et qu'il ne convient donc pas de changer de réponse de Q1 à Q2.

– On retrouve sensiblement la même distribution de réponses quand on passe de la question Q2 à la question Q3. Quelques étudiants indiquent cependant NSP en demandant «valeur moyenne ou valeur efficace ?».

Deux indices semblent permettre d'obtenir un meilleur pourcentage de bonnes réponses :

- «*Attention, on est en alternatif*» conduit à 14 bonnes réponses et 14 NSP (contre 3 ou 4 réponses correctes jusque-là), sur 51 étudiants.
- «*Fresnel*» conduit à 27 bonnes réponses et 10 NSP sur 51.

Nous avons relevé cependant, parmi les remarques apportées par les étudiants indiquant A à la question 5, que «la représentation de Fresnel sert seulement pour déterminer les déphasages».

L'indice «*Impédances complexes*» semble être compris souvent comme devoir être utilisé obligatoirement. Ceci est une cause de difficultés et seulement 14 réponses correctes sont obtenues sur 51, la plupart d'entre elles étant simplement données sans utilisation de nombres complexes.

Les bonnes réponses

La figure 3 nous présente le nombre de bonnes réponses obtenues à partir des différents indices. Ces derniers sont portés en abscisse dans l'ordre d'apparition au cours du test.

En ordonnées on trouve le nombre de réponses correctes sur les 51 étudiants interrogés.

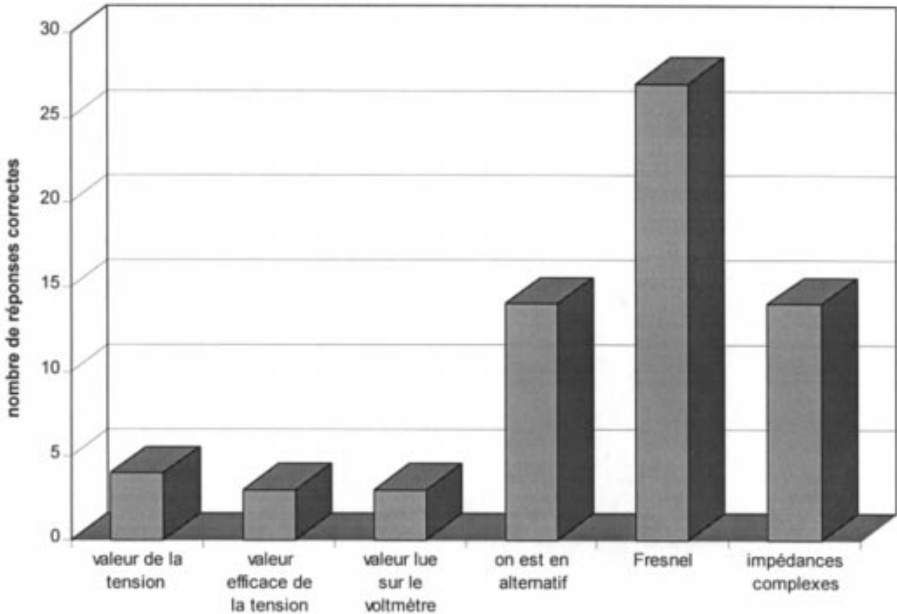


Figure 3 : Effets des indices sur le nombre de bonnes réponses.

Ce graphique nous montre que les deux indices «valeur efficace de la tension» et «valeur lue sur le voltmètre» ne sont pas assez forts pour améliorer les résultats (par rapport à la question sans indice). Ils semblent avoir au contraire un effet déstabilisant et on peut penser que les étudiants se sont enfermés dans des interrogations sur les différences existant entre valeurs efficaces, valeurs moyennes, valeurs crête, ..., et n'ont pas identifié le domaine dans lequel l'indice devait les conduire.

L'indice «attention on est en alternatif» semble être un facteur déclenchant et fait progresser de façon sensible le nombre de bonnes réponses. Ici les étudiants sont conduits dans un autre domaine et la réponse devient alors évidente pour plusieurs d'entre eux.

L'indice «diagrammes de Fresnel» est manifestement celui qui conduit le plus efficacement au succès, en effet on peut penser que cet indice évoque le dessin du triangle

bien connu et qu'il est alors difficile de ne pas donner la bonne réponse dès lors qu'il a été activé.

Nous pouvions penser que le dernier indice, très fort lui aussi, conduirait au même résultat mais nous observons une diminution sensible du nombre de bonnes réponses. Comme nous l'avons évoqué plus haut, il semble que les étudiants aient pensé que les impédances complexes devaient être obligatoirement utilisées mais ils n'en maîtrisent peut-être pas la technique. Leurs calculs ne les ont pas conduits à la réponse qui a souvent été donnée indépendamment de ceux-ci.

L'utilisation abusive de la loi d'additivité des tensions

Nous pouvons extraire du tableau général des résultats, la figure 4 qui rend compte de l'évolution du nombre de réponses inspirées par la loi d'additivité des tensions.

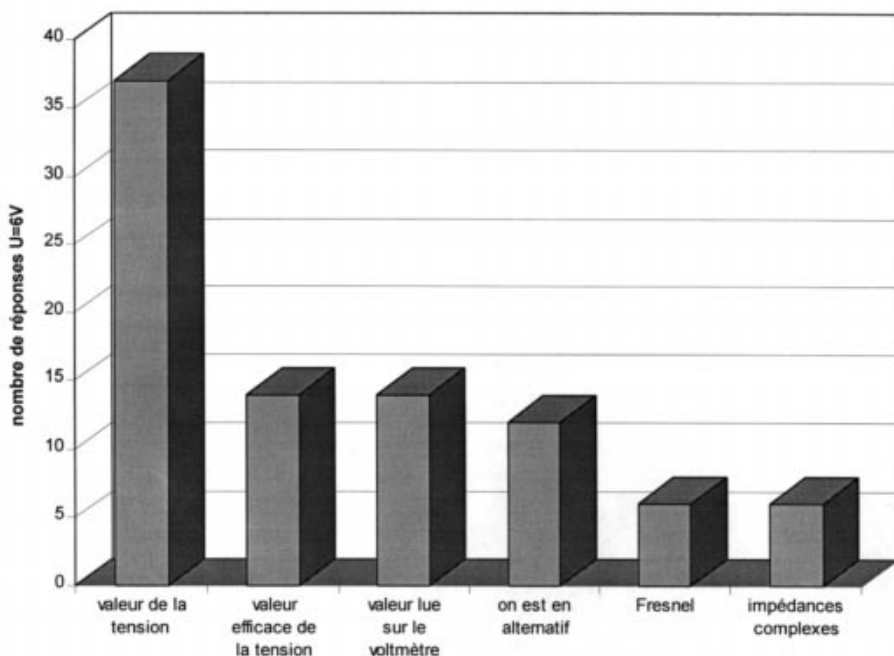


Figure 4 : Effets des indices sur le nombre de réponses : $U_2 = 6 \text{ V}$.

Comme lors du premier test, les réponses à la question posée sans indice relèvent d'une utilisation abusive de la loi d'additivité des tensions (37 étudiants sur 51).

Dès le deuxième indice, il reste seulement près d'un quart des étudiants qui donnent le même résultat, mais beaucoup persistent dans cette voie et si le résultat $U_2 = 6 \text{ V}$ n'est plus donné, c'est parce que le facteur racine de deux intervient.

Il faut attendre l'indice invitant à utiliser les diagrammes de Fresnel pour voir chuter de façon significative l'utilisation de la loi des mailles. Il reste tout de même, malgré cet indice très fort six étudiants qui font toujours appel à elle.

L'évolution du nombre de non réponses

Nous pouvons extraire du tableau général des résultats, la figure 5 qui rend compte de l'évolution du nombre de non réponses.

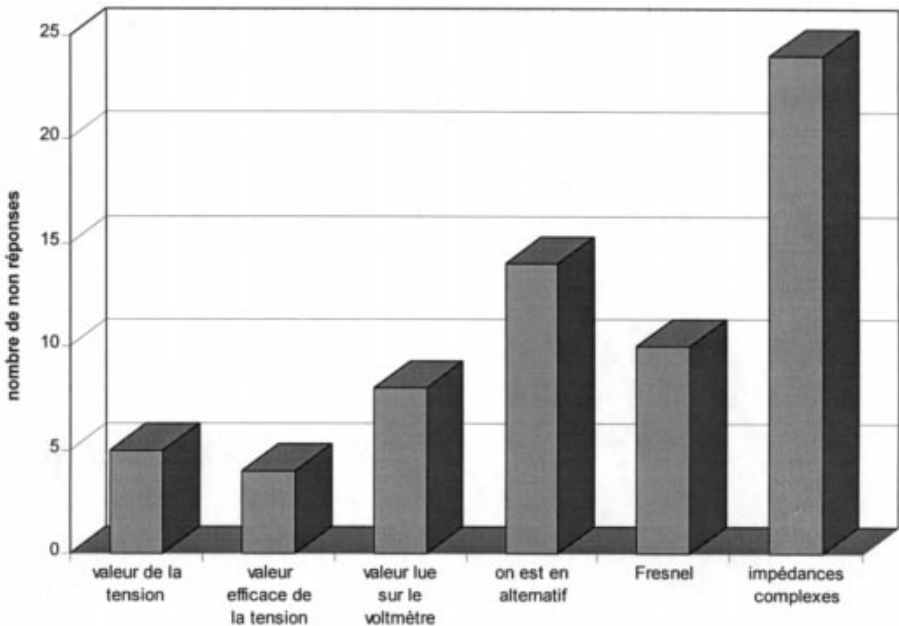


Figure 5 : Effets des indices sur le nombre de non réponses.

La question sans indice, nous l'avons observé, a majoritairement déclenché l'addition des valeurs efficaces des tensions ($6 + 6 = 12$) et fort peu d'étudiants (5 seulement) n'ont pas répondu.

Au fur et à mesure que les indices apparaissent, le nombre de non réponses augmente globalement pour atteindre la moitié de l'effectif au dernier indice.

Il semble que l'apparition de certains indices ait un effet déstabilisant, comme s'ils mettaient en garde en disant «attention, ce n'est pas si simple !». Tout se passe comme si la présence de ces indices avait un effet discriminant et répartissait les étudiants en deux groupes :

- ceux qui sont conduits à la solution,
- ceux qui prennent conscience de l'erreur commise précédemment mais qui, pour autant ne fournissent pas de réponse correcte.

CONCLUSION

Les résultats de ce deuxième test recourent les précédents. Ils permettent de la même façon de mettre en évidence :

- l'utilisation abusive de la loi d'additivité des tensions ; les élèves additionnent aussi bien ce qu'ils considèrent être des valeurs maximales, instantanées ou des valeurs efficaces ;
- le rôle joué par les indices ; certains permettent à une majorité d'étudiants de remettre en cause leurs précédentes réponses erronées. Ils indiquent alors le résultat attendu ;
- la préférence accordée à la construction de Fresnel à l'encontre de l'utilisation des nombres complexes pour traiter ce problème relatif à un circuit en alternatif ;
- les réponses écrites apportent également quelques informations sur leurs connaissances parfois limitées des appareils de mesure (quelle grandeur est lue grâce à un voltmètre ?) et sur l'existence de confusions entre valeurs efficaces, valeurs moyennes et valeurs crête des tensions.

L'analyse des réponses recueillies au cours des deux tests proposés confirme les premières impressions que nous avons, relativement aux difficultés rencontrées par les étudiants avec les circuits RC en alternatif.

Ils utilisent en courant alternatif sur un circuit RC une loi d'additivité des tensions valable seulement en courant continu ou en courant alternatif, sur des valeurs instantanées ou sur des valeurs efficaces si le circuit ne comporte que des résistors.

Il convient, à partir de ce constat, de poser de nouvelles hypothèses quant à l'origine de ces difficultés. Il nous semble qu'elles peuvent provenir, sans exhaustivité :

- soit de mécanismes cognitifs développés de manière insuffisante : manque de recherche des données sous-jacentes de l'énoncé, trop forte imprégnation des connaissances apprises dans les situations de circuits en courant continu aboutissant à une classification hâtive de la situation proposée ;
- soit des difficultés à bien calculer (cas des échecs observés à propos de l'utilisation des impédances complexes) qui peuvent être liées à une maîtrise insuffisante d'un outil trop rarement sollicité ;
- soit des effets de l'enseignement qui privilégie les grandeurs efficaces en courant alternatif : depuis les classes de collège jusqu'à la classe de seconde, les seules grandeurs utilisées sont des grandeurs efficaces ; les grandeurs instantanées font leur apparition en classe de première, elles sont exploitées en terminale, mais coexistent avec une utilisation importante des grandeurs efficaces (ces remarques concernent les enseignements suivis par les étudiants testés) ;
- soit du contexte de passation des tests : l'exercice proposé n'est pas un contrôle portant sur une partie du cours que l'on vient de traiter, il est d'apparence très simple et semble devoir se contenter d'une réponse simple ; il pourrait être vu comme un piège si ce n'était un outil d'investigation pour le didacticien.

Les exercices, utilisés dans notre étude ont été proposés dans des conditions «non scolaires», en l'absence de contrat didactique qui lie l'enseignant à ses élèves le plus souvent par ses non-dits et qui fait que l'étudiant se construit une représentation des attentes de l'enseignant qui l'interroge. Cette situation a favorisé l'émergence de schèmes [1] utilisés spontanément par les étudiants et a permis de montrer le rôle que pouvaient jouer différents indices. Dans une situation de classe, lors d'une évaluation, une question peut se poser :

Faut-il donner de façon explicite les indices permettant les résolutions ? Nous ne serions alors pas loin de l'effet Topaze dont G. Brousseau [2] rappelle les termes : «Topaze fait une dictée à un mauvais élève. Ne pouvant accepter trop d'erreurs trop grossières et ne pouvant pas non plus donner directement l'orthographe demandée, il "suggère" la réponse en la dissimulant sous des codages didactiques de plus en plus transparents : "...des moutons étaient réunis... des moutonsses étai-hunt..." Topaze mendie une marque d'adhésion et négocie à la baisse les conditions dans lesquelles l'élève finira par mettre ce "s"».

C'est en termes de finalités qu'il convient d'appréhender cette question. Si l'on considère que l'objectif final de l'enseignement est de rendre les étudiants autonomes face à un problème, ce n'est pas en atomisant systématiquement ceux qu'on leur pose qu'on répond aux objectifs fixés. Un travail en profondeur sur les méthodes et les dé-

marches est à conduire. En posant des questions avec des indices, les évaluations réalisées perdent de leur sens méthodologique.

Toute nouvelle expérience, toute nouvelle connaissance nécessite une réelle contextualisation et y compris puisque les curriculums sont construits actuellement sur le mode spiralé, une remise en question des connaissances des étudiants et un retour sur les savoirs précédemment institutionnalisés.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Gérard VERGNAUD : «*La théorie des champs conceptuels*» - Recherches en didactique des mathématiques, Vol 10, n° 2/3, pp. 133-170 (1991).
- [2] Guy BROUSSEAU : «*Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques*» - Recherches en didactique des mathématiques, n° 7/2, pp. 33-115 (1992).

Pour approfondir

- Daniel GAONAC'H et Caroline GOLDER : «*Manuel de psychologie pour l'enseignement*» - Hachette Éducation (1995) - étudient «*La mobilisation des outils et ses conditions*» (page 76 et suivantes) ainsi que des résolutions de problèmes avec indication de méthode.
- VYGOTSKI : «*Langage et Pensée*» - Paris, Éditions Sociales Messidor (1986) - traite des effets des indices dans une activité de tutorat.
- Jean-François RICHARD : «*Les activités mentales : comprendre, raisonner, trouver des solutions*» - Collection U Psychologie, librairie Armand Colin (1993) - à propos de résolution de problèmes traite du rôle des connaissances antérieures.
- Jean-François RICHARD, Claude BONNET et Rodolphe CHIGLIONE : «*Traité de psychologie cognitive 2*» - Collection Psychologie, Dunod Éditions (1993) - étudient en particulier le raisonnement par analogie dans la résolutions de problèmes (p. 150) et l'effet des indices (p. 151).
- Jean JULO : «*Représentation des problèmes et réussite en mathématiques*» - Presses Universitaire de Rennes - analyse les effets de contexte et la pertinence des indices plus ou moins indicatifs. Il évoque la sous-utilisation des connaissances opératoires (p. 118).
- Samuel JOHNSUA et Jean-Jacques DUPIN : «*Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*» - Collection Psychologie, Dunod Éditions (1993) - présentent les concepts, les problématiques et les méthodes essentiels de la didactique des sciences et des mathématiques.

Les problèmes et les obstacles sont étudiés (p. 60), ainsi que les schémas, représentations et types de raisonnements dans l'étude des circuits électriques (p. 316).

On se reportera aux articles du BUP dans lesquels Samuel JOHSUA, Jean-Jacques DUPIN et Jean-Louis CLOSSET s'intéressent aux obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique :

- Jean-Louis CLOSSET : «*Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique*», BUP n° 716, pp. 931-950 (1989).
- Samuel JOHSUA et Jean-Jacques DUPIN : «*L'électrocinétique du collège à l'université : évolution des représentations des élèves et impact de l'enseignement sur ces représentations*», BUP n°683, pp. 779-800 (1986).