

Sur la définition des grandeurs physiques et l'écriture des lois fondamentales de la théorie des circuits électriques

par François CHAPEAU-BLONDEAU
Faculté des Sciences, Université d'Angers
2, boulevard Lavoisier, 49000 Angers

RÉSUMÉ

Nous présentons un exposé de la théorie des circuits électriques, dans lequel les grandeurs de base que sont les courants et les tensions sont définis, non pas comme de simples scalaires, mais comme des *scalaires orientés*. Ces définitions, dictées par la nature physique des grandeurs, permettent de développer la théorie sans devoir recourir à de quelconques conventions d'orientation. L'écriture des lois fondamentales que sont les lois de Kirchhoff et les caractéristiques courant-tension de dipôles usuels, suit de manière nécessaire et univoque. L'abolition de la nécessité du recours à la convention rend, à nos yeux, la théorie des circuits électriques plus claire et plus logique, et lui confère une structure conforme à celle des autres théories physiques.

INTRODUCTION

La théorie des circuits électriques, dans les modes d'exposition fréquemment suivis, est présentée comme nécessitant, pour son application, l'adoption d'une convention pour l'orientation des courants et des tensions. L'usage correct de cette disposition particulière peut s'avérer délicat à acquérir. De plus, celle-ci rend la théorie des circuits électriques quelque peu singulière par rapport aux autres théories physiques, où les modes d'exposition font classiquement appel à des définitions précises suivies de lois physiques nécessaires, et dont l'application ne réclame pas le recours à une convention.

Dans cet article, nous montrons que le recours à la convention dans la mise en œuvre de la théorie des circuits électriques, n'est rendu nécessaire que par l'emploi de définitions incomplètes pour les grandeurs physiques traitées. Nous proposons, pour base de départ, des

définitions complètes des courants et des tensions, telles qu'elles sont dictées par la nature physique de ces grandeurs. À partir des définitions précises et complètes des grandeurs physiques de base de la théorie, nous montrons que l'écriture des lois physiques gouvernant ces grandeurs suit de manière nécessaire et univoque. La nécessité de convention est abolie dans ce mode d'exposition la théorie. Cette approche ainsi développée, rend, nous le pensons, la théorie plus claire et plus logique, et lui confère une structure conforme à celle des autres théories physiques.

1. LE CARACTÈRE PHYSIQUE DU COURANT ET DE LA TENSION

Une grandeur physique peut se représenter au moyen d'un objet mathématique. Cet objet mathématique doit incorporer, pour la grandeur physique qu'il représente, l'ensemble des caractéristiques qu'il est nécessaire de considérer pour décrire de façon complète cette grandeur, et son implication dans les phénomènes physiques auxquels elle peut participer. Ainsi, par exemple, il apparaît qu'une charge électrique peut se caractériser par sa simple comparaison à un étalon : on la représente donc adéquatement au moyen d'un scalaire réel. Une force nécessite l'identification de la direction (et du sens) de son action dans l'espace, ainsi qu'une comparaison à un étalon pour son intensité : on la représente donc adéquatement au moyen d'un vecteur de $\mathbb{R}^3$.

De cette façon, dans le cadre de la théorie des circuits électriques, un scalaire ne suffit pas pour représenter un courant électrique. Un scalaire seul n'incorpore pas l'ensemble des caractéristiques essentielles de cette grandeur physique. Un courant électrique doit être représenté par un *scalaire orienté*. Le scalaire traduit une comparaison à un étalon d'intensité de courant électrique (*combien* de charges électriques circulent par unité de temps) ; l'orientation est nécessaire pour caractériser le sens de la circulation du courant (*dans quel sens* circulent les charges). Un vecteur serait surabondant pour représenter un courant électrique, car sa direction de circulation ne nécessite pas d'être spécifiée dans sa représentation – dans un circuit électrique, elle est imposée par la matérialité du circuit lui-même.

Dans le même contexte de la théorie des circuits électriques, une tension est une grandeur physique qui pareillement doit être représentée par un scalaire orienté. Une tension, entre deux points d'un circuit, est par définition, une différence de potentiel électrique entre ces deux points. Dans la représentation de cette tension, un scalaire est néces-

saire, qui indique l'amplitude algébrique de la différence de potentiel ; une orientation est également nécessaire, qui traduit quel est le potentiel qui est pris pour base, et quel est le potentiel qui est soustrait de cette base.

Courants et tensions doivent donc être représentés par un *scalaire orienté*. Manquer à cette règle, dictée par la nature physique fondamentale des grandeurs, ne peut conduire, au mieux, qu'à des complications ou des ambiguïtés. C'est le cas, nous semble-t-il, lorsque l'on utilise de simples scalaires pour la représentation des courants et des tensions, et que l'on est alors amené à orienter les branches ou les mailles d'un circuit pour traiter une situation. Le caractère de scalaire *orienté* est attaché intrinsèquement aux grandeurs physiques courant et tension, de même que le caractère vectoriel est attaché à une force.

2. DÉFINITIONS DU COURANT ET DE LA TENSION

Maintenant, la définition complète du courant et de la tension, en tant que scalaires orientés, nécessite de décrire une procédure précise permettant d'assigner une valeur scalaire, et une orientation, à un courant ou une tension donnés.

Pour définir un courant électrique circulant dans une branche d'un circuit, on peut opérer de la manière suivante, qui procède en deux étapes, définissant d'abord l'*orientation* du courant, puis l'*intensité* du courant :

- Une *orientation* est attribuée au courant, de manière arbitraire, dans l'un ou l'autre des deux sens possibles. Le sens d'orientation attribué au courant est matérialisé par une flèche le long de la branche où circule le courant.
- Un scalaire est attaché au courant et définit son *intensité*, ou encore sa *valeur algébrique*. Une fois fixée l'orientation du courant, la valeur de l'intensité du courant se détermine comme suit :
 - la *valeur absolue* de l'intensité mesure la valeur absolue de la quantité de charge électrique nette qui traverse, par unité de temps, la section du conducteur constituant la branche ;
 - le *signe* de l'intensité est positif lorsque le courant est constitué, soit d'une charge électrique nette positive qui circule dans le sens de la flèche définissant l'orientation, soit d'une charge nette négative circulant dans le sens inverse de la flèche. Le signe de l'intensité est

négatif dans la situation opposée (charge nette négative dans le sens de la flèche ou positive en sens inverse).

On note usuellement I ou i l'intensité du courant électrique ainsi définie. La seule connaissance de l'intensité (un scalaire) du courant ne suffit pas pour traiter de façon complète et cohérente le courant électrique (un scalaire orienté) – pour écrire la loi des nœuds par exemple. On doit disposer conjointement de l'intensité et de l'orientation du courant, ces deux éléments constituant la définition même du courant.

D'une manière analogue, pour définir une tension électrique entre deux points d'un circuit, on peut procéder de la manière suivante :

- Une *orientation* est attribuée à la tension, en choisissant, de manière arbitraire, un des deux points comme, disons, base. Le sens d'orientation attribué à la tension est matérialisé par une flèche dont la pointe aboutie sur le point choisi comme base, et dont le talon est issu de l'autre point.
- La *valeur algébrique* attachée à la tension est définie comme la différence obtenue entre le potentiel électrique du point choisi pour base, duquel est soustrait le potentiel électrique de l'autre point.

On note usuellement U ou u la valeur algébrique de la tension électrique ainsi définie. Là aussi, la seule connaissance de la valeur algébrique (un scalaire) de la tension ne suffit pas pour traiter de façon complète et cohérente la tension électrique (un scalaire orienté) – pour écrire la loi des mailles par exemple. On doit disposer conjointement de la valeur algébrique et de l'orientation de la tension, qui ensemble sont requises pour définir la tension.

3. L'ÉCRITURE DES LOIS PHYSIQUES DE BASE POUR LES COURANTS ET LES TENSIONS

Une fois données des définitions précises et complètes pour les courants et les tensions, qui en font des *scalaires orientés*, l'écriture des lois physiques de base qui régissent ces grandeurs, découle de manière nécessaire, et ne réclame l'adjonction d'aucune convention.

3.1. Les deux lois de Kirchhoff

La loi des nœuds résulte directement de la conservation de la charge électrique. Si l'on traite les courants comme des scalaires

orientés, l'énoncé de cette loi physique fondamentale suit de façon automatique. (L'on est notamment dispensé de toute préalable ré-orientation spéciale des branches autour du nœud). La loi des nœuds peut alors s'énoncer de la façon suivante (voir Figure 1) :

Pour un nœud donné d'un circuit, la somme des intensités des courants dont l'orientation va vers le nœud, est égale à la somme des intensités des courants dont l'orientation quitte le nœud.

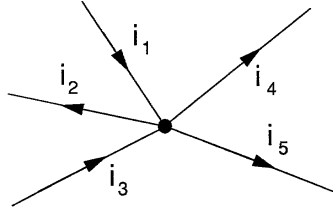


Figure 1 : Loi des nœuds : $i_1 + i_3 = i_2 + i_4 + i_5$.

La loi des mailles, elle, résulte de l'existence d'une fonction de point scalaire, le potentiel électrique, définie aux différents points d'un circuit entre lesquels la tension s'exprime comme une différence de potentiel. Si l'on traite les tensions comme des scalaires orientés, l'énoncé de cette loi suit également de façon automatique. (L'on est notamment dispensé de toute préalable ré-orientation spéciale des branches autour de la maille). La loi des mailles peut alors s'énoncer de la façon suivante (voir Figure 2) :

Pour une maille donnée d'un circuit, la somme des valeurs algébriques des tensions dont l'orientation est dans un même sens autour de la maille, est égale à la somme des valeurs algébriques des tensions dont l'orientation est dans l'autre sens autour de la maille.

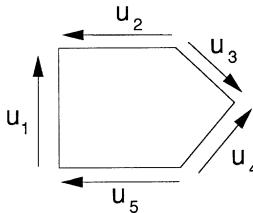


Figure 2 : Loi des mailles : $u_1 + u_3 + u_5 = u_2 + u_4$.

Ainsi, pour le traitement d'un circuit électrique, courants et tensions sont d'abord introduits, comme des scalaires orientés, au moyen des définitions de la Section 2. Les deux lois de Kirchhoff, avec leurs

énoncés proposés ici, peuvent alors être appliquées directement sur les grandeurs introduites elles-mêmes (et non sur d'autres grandeurs obtenues en adaptant les orientations avant de permettre l'application des lois).

3.2. Générateur

Nous définissons un générateur comme un dipôle qui, en fonctionnement dans un circuit, fournit de l'énergie potentielle électrique aux charges électriques. Ou, plus précisément, à un instant donné, si une charge électrique d'un type spécifié (positive ou négative) qui sort d'un dipôle, sort avec plus d'énergie potentielle électrique qu'une charge du même type qui y entre, alors le dipôle considéré a un comportement de générateur. De manière équivalente, un générateur est un dipôle qui, dans un circuit, absorbe des charges électriques à un potentiel électrique bas, et qui fournit des charges à un potentiel élevé.

Si l'on souhaite caractériser le fonctionnement d'un générateur au moyen d'une tension et d'un courant à valeurs algébriques positives (mais on peut souhaiter autrement), l'orientation du courant relativement à la tension sera celle représentée sur la Figure 3. En effet, avec la tension présente aux bornes du générateur et définie sur la Figure 3, le potentiel électrique $V(A)$ du point A est plus élevé que le potentiel $V(B)$ du point B. De cette façon, une charge positive q entre dans le générateur en B avec une énergie potentielle électrique basse $qV(B)$, et en sort en A avec une énergie plus élevée $qV(A)$. Pour une charge négative la situation est inverse, elle entre en A avec une énergie basse, et sort en B avec une énergie plus élevée. Ces deux situations correspondent au même courant d'intensité $i > 0$ et orienté comme sur la Figure 3.

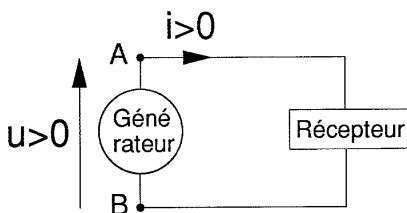


Figure 3 : Orientation relative du courant et de la tension délivrés par un générateur, qui est imposée par la physique du dispositif, lorsque ces deux grandeurs sont munies de valeurs algébriques positives. D'un point de vue terminologique, on peut baptiser cette orientation relative «configuration d'orientation des générateurs».

Donc, la tension et le courant associés à un générateur et décrits au moyen de grandeurs à valeurs algébriques positives, auront des orientations relatives conformes à la configuration de la Figure 3. Ceci résulte des définitions de la Section 2 jointes à la physique du générateur. Il n'y a là aucune nécessité d'évoquer une quelconque convention pour traiter cette situation physique. La configuration de la Figure 3 pour les orientations relatives d'une tension et d'un courant associés à un dipôle quelconque, peut être appelée *configuration d'orientation des générateurs*. Il s'agit là alors d'une *définition*, portant sur la *terminologie*. Introduire dans ce contexte une *convention*, que l'on chercherait à faire porter sur la *physique* du phénomène, ne peut être qu'embrouillant et inutile.

3.3. Récepteur

Nous définissons un récepteur comme un dipôle qui, en fonctionnement dans un circuit, absorbe l'énergie potentielle électrique des charges électriques. Ou, plus précisément, à un instant donné, si une charge électrique d'un type spécifié (positive ou négative) qui sort d'un dipôle, sort avec moins d'énergie potentielle électrique qu'une charge du même type qui y entre, alors le dipôle considéré a un comportement de récepteur. De manière équivalente, un récepteur est un dipôle qui, dans un circuit, absorbe des charges électriques à un potentiel électrique élevé, et qui restitue des charges à un potentiel bas.

Si l'on souhaite caractériser le fonctionnement d'un récepteur au moyen d'une tension et d'un courant à valeurs algébriques positives (mais on peut souhaiter autrement), l'orientation du courant relativement à la tension sera celle représentée sur la Figure 4. Ceci, à nouveau, est une conséquence des définitions de la Section 2 jointes à la physique mise en jeu au niveau du récepteur. Les charges électriques perdent de l'énergie à la traversée d'un récepteur ; une charge positive passe donc d'un potentiel élevé à l'entrée du récepteur, à un potentiel plus bas à sa sortie ; une charge négative traversera en sens opposé pour perdre de l'énergie. Conformément à ce processus, un courant d'intensité positive et orienté comme sur la Figure 4, sera bien associé à une tension de valeur algébrique positive orientée comme sur la Figure 4. En effet, avec la tension de valeur algébrique $u > 0$ présente aux bornes du récepteur et définie sur la Figure 4, une charge positive entre dans le récepteur en A avec une énergie potentielle électrique élevée, et en sort en B avec une énergie plus basse. Pour une charge négative la

situation est inverse, elle entre en B avec une énergie élevée, et sort en A avec une énergie plus basse. Ces deux situations correspondent au même courant d'intensité $i > 0$ et orienté comme sur la Figure 4.

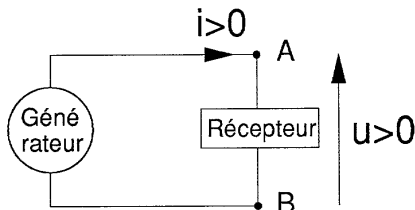


Figure 4 : Orientation relative du courant et de la tension associés à un récepteur, qui est imposée par la physique du dispositif, lorsque ces deux grandeurs sont munies de valeurs algébriques positives. D'un point de vue terminologique, on peut baptiser cette orientation relative «configuration d'orientation des récepteurs».

La configuration de la Figure 4 pour les orientation relatives d'une tension et d'un courant associés à un dipôle quelconque, peut être appelée *configuration d'orientation des récepteurs*. Ceci, à nouveau, est une définition terminologique, et en aucun cas une convention requise pour le traitement physique de la situation.

Soulignons que l'emploi de l'une ou l'autre des configurations d'orientation (des générateurs ou des récepteurs) ne s'impose jamais comme nécessaire pour la description d'un dipôle donné. Ceci est heureux car le comportement d'un dipôle donné (en générateur ou en récepteur) peut ne pas être fixé a priori. Le nécessaire pour la description d'un dipôle est simplement de lui attacher un courant et une tension définis selon les prescriptions de la Section 2. Une fois ceci fait, la donnée de la caractéristique courant - tension du dipôle (voir Section 4) permet de relier ces deux grandeurs de manière automatique et univoque.

3.4. Puissance électrique

La description physique, que nous venons de donner, du fonctionnement d'un générateur et d'un récepteur, conduit de façon logique à définir la puissance électrique fournie ou absorbée par un dipôle quelconque de la façon suivante.

La puissance électrique P_f fournie par une dipôle s'exprime comme le produit $P_f = ui$, u étant la valeur algébrique de la tension aux bornes du dipôle, et i l'intensité du courant circulant dans le dipôle, cette

tension et ce courant étant orientés dans la configuration d'orientation des générateurs, (voir Figure 5).

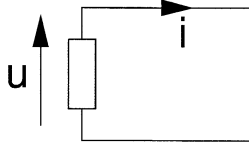


Figure 5 : Puissance fournie par un dipôle : $P_f = ui$, si la configuration d'orientation des générateurs est utilisée pour la description. Dans ce même cas la puissance absorbée par le dipôle est $P_a = -ui = -P_f$.

La puissance électrique P_a absorbée par un dipôle s'exprime comme le produit $P_a = ui$, u étant la valeur algébrique de la tension aux bornes du dipôle, et i l'intensité du courant circulant dans le dipôle, cette tension et ce courant étant orientés dans la configuration d'orientation des récepteurs (voir Figure 6).

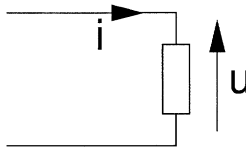


Figure 6 : Puissance absorbée par un dipôle : $P_a = ui$, si la configuration d'orientation des récepteurs est utilisée pour la description. Dans ce même cas la puissance fournie par le dipôle est $P_f = -ui = -P_a$.

Pour tout dipôle, on a toujours $P_a = -P_f$.

4. CARACTÉRISTIQUES COURANT-TENSION DE QUELQUES DIPÔLES USUELS

Pour des dipôles usuels, nous montrons dans cette section, qu'une fois introduits pour la description du système, un courant et une tension comme des scalaires orientés, l'écriture des relations qui lient ces grandeurs découle de façon nécessaire et univoque des lois de la physique du dispositif, et ne réclame l'adjonction d'aucune convention.

4.1. Caractéristique courant-tension du résistor

Le résistor est un récepteur qui se caractérise par le fait que l'intensité du courant qui le traverse est, à tout instant, proportionnelle

à la valeur algébrique de la tension à ses bornes. Conformément à la description du récepteur de la Section 3.3, la relation de proportionnalité considérée s'exprimera au moyen d'un coefficient de proportionnalité positif, si et seulement si le courant et la tension associés au résistor sont orientés dans la configuration d'orientation des récepteurs (voir Figure 7). Le coefficient de proportionnalité positif ainsi défini, est une grandeur physique qui ne dépend que du résistor. On l'appelle la résistance du résistor, et on la note usuellement R .

Naturellement, si le courant et la tension du résistor sont orientés dans la configuration d'orientation des générateurs, la relation de proportionnalité considérée inclura un signe moins devant le coefficient R .

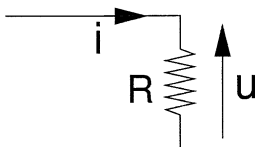


Figure 7 : Si la configuration d'orientation des récepteurs est utilisée, la caractéristique du résistor s'écrit $u = Ri$, où R est un coefficient positif définissant la résistance du résistor.

4.2. Caractéristique courant-tension du condensateur

Le condensateur est un dipôle pour lequel, à tout instant, l'intensité du courant qui le parcourt est proportionnelle à la dérivée temporelle de la valeur algébrique de la tension à ses bornes. La relation de proportionnalité considérée s'exprimera au moyen d'un coefficient de proportionnalité positif, si et seulement si le courant et la tension associés au condensateur sont orientés dans la configuration d'orientation des récepteurs (voir Figure 8). Ceci résulte à nouveau des définitions de la Section 2, jointes aux lois de l'électromagnétisme des phénomènes quasi-statiques, supposées valides pour la description des circuits électriques (consulter Feynman 1979, pour une justification). En effet, supposons que le courant orienté comme sur la Figure 8 est muni d'une intensité $i > 0$. Dans ces conditions, au cours du temps, l'électrode A du condensateur se charge positivement, et l'électrode B négativement. Dans le diélectrique interne du condensateur, le champ électrique régnant se trouve alors augmenté d'une composante vectorielle pointant de l'électrode A vers l'électrode B. Le potentiel électrique associé à ce champ électrique interne a donc une valeur en A qui tend à s'élever par rapport à sa valeur en B. La tension développée

aux bornes du condensateur et orientée comme sur la Figure 8 est donc bien munie d'une valeur algébrique u dont la dérivée temporelle est positive. Un raisonnement analogue, en présence d'un courant orienté comme sur la Figure 8 et d'intensité $i < 0$, conduit à une tension orientée comme sur la Figure 8 et munie dans ce cas d'une valeur algébrique u de dérivée temporelle négative.

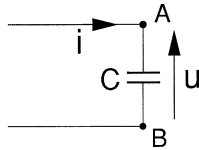


Figure 8 : Si la configuration d'orientation des récepteurs est utilisée, la caractéristique du condensateur s'écrit $i = C du/dt$, où C est un coefficient positif définissant la capacité du condensateur.

Par conséquent, lorsque l'on emploie la configuration d'orientation des récepteurs pour l'orientation relative du courant et la tension d'un condensateur, la relation de proportionnalité que constitue sa caractéristique, s'exprime bien au moyen d'un coefficient de proportionnalité positif. Ce coefficient positif est une grandeur physique qui ne dépend que du condensateur. On l'appelle la capacité du condensateur, et on la note usuellement C .

Dans le cas contraire où l'on emploie la configuration d'orientation des générateurs, la relation de proportionnalité considérée inclura bien sûr un signe moins devant le coefficient C .

4.3. Caractéristique courant-tension de la bobine

La bobine est un dipôle pour lequel, à tout instant, la valeur algébrique de la tension aux bornes est proportionnelle à la dérivée temporelle de l'intensité du courant qui la parcourt. La relation de proportionnalité considérée s'exprimera au moyen d'un coefficient de proportionnalité positif, si et seulement si la tension et le courant associés à la bobine sont orientés dans la configuration d'orientation des récepteurs (voir Figure 9). Ceci est une conséquence de la loi de Faraday, jointe aux définitions de la Section 2. En effet, supposons que le courant orienté comme sur la Figure 9 est muni d'une intensité $i > 0$. Nous considérons la circulation Γ du champ électrique, évaluée dans le sens défini par l'orientation du courant, sur un parcours fermé matérialisé par le fil de la bobine de A et B, et se refermant en dehors de la bobine par un parcours immatériel de B à A. Le champ électrique

pouvant être supposé nul dans le conducteur de la bobine, et électrostatique à l'extérieur de la bobine (là où la présence d'un champ magnétique variable peut être négligée par rapport à l'intérieur de la bobine), la circulation considérée se réduit à la circulation en dehors de la bobine de B à A, donc à la différence de potentiel $V(B) - V(A)$. Ainsi on a $\Gamma = V(B) - V(A)$. Le courant crée dans la bobine un champ magnétique, de module proportionnel à i , et dont l'orientation vectorielle relativement à l'orientation du courant est donnée par la règle dite du tire-bouchon. Si l'on calcule le flux Φ de ce champ magnétique à travers la section de la bobine orientée elle-même dans le sens du champ magnétique, alors ce flux aura une valeur positive. Ce flux Φ positif est proportionnel à l'intensité du courant i positive, le coefficient positif de proportionnalité définit l'inductance L de la bobine, soit donc $\Phi = Li$. Maintenant, de la façon qu'ont été introduites les orientations respectives pour les calculs de la circulation Γ et du flux Φ , la loi de Faraday s'écrit $\Gamma = -d\Phi/dt$. Pour la tension définie sur la Figure 9, on a $u = V(A) - V(B)$. Par conséquent, on obtient pour la caractéristique courant - tension de la bobine, $u = L di/dt$. Un raisonnement analogue, en présence d'un courant orienté comme sur la Figure 9 et d'intensité $i < 0$, conduit à une caractéristique qui s'écrit de la même façon.

Par conséquent, lorsque l'on emploie la configuration d'orientation des récepteurs pour l'orientation relative du courant et de la tension d'une bobine, sa caractéristique prend la forme $u = L di/dt$.

Bien sûr, si c'est la configuration d'orientation des générateurs qui a cours, la caractéristique de la bobine s'écrit $u = -L di/dt$.

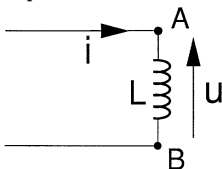


Figure 9 : Si la configuration d'orientation des récepteurs est utilisée, la caractéristique de la bobine s'écrit $u = L di/dt$, où L est un coefficient positif définissant l'inductance de la bobine.

CONCLUSION

Dans cet article nous avons montré comment il est possible de développer la théorie des circuits électriques, sans laisser figurer dans la théorie la nécessité du recours à des conventions pour traiter les différentes grandeurs. Exposée de cette façon, la théorie des circuits électriques revêt une forme identique à celle des autres théories physiques : les grandeurs physiques de base de la théorie sont introduites, au moyen de définitions précises et complètes ; les lois physiques exprimant les relations entre ces grandeurs suivent alors de manière nécessaire, imposées par la physique de la situation, et sans être, à ce point de la théorie, soumises à la contingence de conventions. Pour traiter les grandeurs, les conventions sont nécessaires tant que les définitions sont incomplètes. Dans le mode d'exposition que nous proposons, définitions complètes et lois nécessaires se substituent à des définitions partielles et des lois dont l'écriture est soumise à des conventions.

Ce mode d'exposition a pour point de départ la définition des courants et des tensions, non pas comme de simples scalaires, mais comme des *scalaires orientés*. Sur cette base, nous montrons alors que les lois fondamentales de la théorie que sont les lois de Kirchhoff, et les caractéristiques courant-tension de dipôles usuels, s'écrivent de manière nécessaire, sans réclamer l'adjonction d'aucune convention.

Avec cette formulation de la théorie, pour traiter un problème concernant un circuit électrique particulier, la démarche est la suivante.

i) On commence par introduire les courants et les tensions employés, en les définissant conformément à la Section 2. Définir ainsi un courant ou une tension consiste en particulier à lui attribuer une orientation. Pour une branche donnée, en l'absence de spécifications fournies dans les données du problème, le choix d'une orientation, c'est-à-dire en somme le choix d'introduire tel ou tel courant ou tension pour décrire la situation, présente une part d'arbitraire. Énoncer une procédure permettant de supprimer cet arbitraire, en imposant l'utilisation pour une branche d'un courant ou d'une tension doté de telle orientation particulière, est le dernier endroit où peut se loger une part de convention. Néanmoins une telle procédure n'est nullement nécessaire à la résolution physique complète et non ambiguë du problème.

ii) Une fois que les courants et tensions utiles au traitement du problème ont été introduits au moyen des définitions de la Section 2, l'écriture des lois physiques reliant ces grandeurs suit de manière

nécessaire, comme il est montré dans les Sections 3 et 4. En particulier, l'écriture des lois fait intervenir les grandeurs telles qu'elles ont été introduites, et non d'autres grandeurs dérivées à la seule fin de pouvoir écrire les lois.

Notons que dans cette formulation de la théorie des circuits électriques, les définitions de la Section 2 conduisent à la possibilité, pour une branche quelconque d'un circuit, de définir deux courants et deux tensions distincts, munis d'orientations et de valeurs algébriques opposées. Cette absence d'unicité du courant et de la tension pour une branche donnée, est tout à fait conforme à la nature physique des phénomènes décrits. En effet, la théorie des circuits ne permet pas en général de discriminer, en présence d'un courant donné par exemple, si celui-ci est formé, au niveau microscopique, par un transport de charges électriques positives dans un sens, ou de charges négatives dans le sens opposé. Ces deux situations physiques différentes, conduisent à des résultats strictement équivalents dans le cadre de la théorie des circuits.

BIBLIOGRAPHIE

R. P. FEYNMAN, Cours de Physique - Tome 2 : Électromagnétisme. InterÉditions, Paris (1979).