

«Vive» la différence de potentiel

par Pierre JEAN, retraité,
13, avenue Saint-Jérôme, 13100 Aix-en-Provence

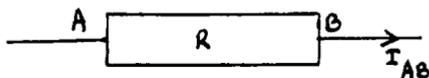
Il n'y a pas de vérités scientifiques. Il n'y a que des modèles qui nous permettent de prévoir les résultats des expériences et d'agir avec plus ou moins d'efficacité. La seule restriction à faire est qu'il ne faut pas que ces modèles présentent une ambiguïté telle qu'ils puissent conduire, si on les utilise mal, à des résultats erronés. A part cela, tout n'est question que de commodités, d'habitudes. Et comme chacun a ses habitudes, la physique est une science essentiellement subjective.

La notion de Différence de Potentiel est-elle si ambiguë qu'on ne puisse pas l'utiliser sans provoquer des erreurs ? L'article de Fleckinger, Carles et Pèrez dans le B.U.P. n° 722 de mars 1990 la laisse supposer [1]. J'ai moi-même utilisé cette notion durant les 38 ans de ma carrière et je ne pense pas qu'elle m'ait, un jour ou l'autre, entraîné à dire des bêtises. Mais, bien sûr, il faut la manier convenablement.

Soit un dipôle AB qui obéit à la loi d'Ohm (généralisée) :

On écrira cela sous la forme :

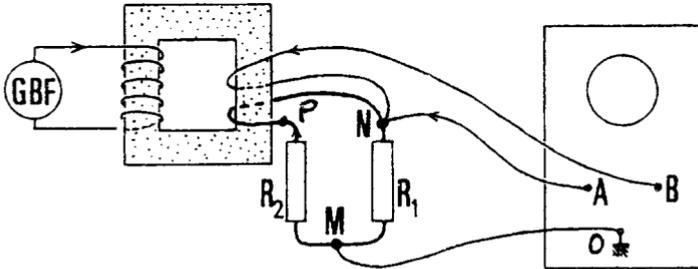
$$V_A - V_B = R I_{AB} - e_{AB}$$



V_A est le potentiel électrique du point A, défini bien sûr à une constante additive près, V_B celui du point B défini avec la même constante arbitraire ; I_{AB} est l'intensité du courant traversant le dipôle de A vers B et e_{AB} est la force électromotrice dont ce dipôle est, éventuellement, le siège. Quand plusieurs dipôles sont associés, en série, en parallèle ou selon des structures plus compliquées, à condition que chacun d'eux obéisse à cette loi, on devra écrire cette dernière autant de fois qu'il y a de dipôles en prenant bien soin de préciser, quant aux signes en particulier, ce qu'on écrit.

Comment utiliser ceci pour interpréter les résultats décrits dans l'article ci-dessus, dont le schéma est reproduit ci-dessous, où nous avons seulement ajouté un point P à la « sortie » de la résistance R_2 ?

De même nous désignerons par 0 la terre de l'oscilloscope.



Calculons d'abord l'intensité du courant qui traverse les résistances R_1 et R_2 . Les impédances d'entrée de l'oscilloscope étant supposées très grandes, aucun courant ne traverse les fils reliant le point N aux points A et B ou le point M au point 0. La boucle NMP est alors toute entière parcourue par un même courant dont nous désignerons l'intensité par I_{NM1} pour spécifier qu'il est compté positivement lorsqu'il traverse la résistance R_1 de N vers M. On pourrait tout aussi bien le désigner par I_{MP2} pour des raisons analogues. Alors dans cette boucle nous pouvons écrire :

$$V_M - V_N = 0 = R_2 I_{MP2} - e + R_1 I_{NM1}$$

où «e» est la force-électromotrice d'induction provenant du fait que cette boucle enlace le noyau de fer. D'où :

$$I_{NM1} = \frac{e}{R_1 + R_2}$$

On peut remplacer «e» par son expression en fonction du flux du vecteur B à travers une surface limitée par cette boucle et orientée en harmonie avec elle, mais ce n'est pas indispensable. $\left(e = - \frac{d\Phi}{dt} \right)$

Que mesure l'oscilloscope ? Il mesure respectivement les diffé-

rences de potentiel $V_A - V_0$ et $V_B - V_0$ selon qu'on utilise les voies A ou B, et pas autre chose : il se moque pas mal du reste du circuit !

Que se passe-t-il lorsqu'on relie le point A au point N ? On mesure $V_A - V_0$. Utilisons la loi d'ohm entre les points A et 0 :

$$V_A - V_0 = (V_A - V_N) + (V_N - V_M) + (V_M - V_0) = R_1 I_{NM1}$$

la boucle ANMO, fermée à l'intérieur de l'oscilloscope, n'entourant pas le noyau de fer, aucune force électromotrice ne s'y manifeste et aucun courant ne traversant les fils AN et MO.

$$\text{D'où : } V_A - V_0 = \frac{R_1}{R_2 + R_1} e = \frac{-R_1}{R_2 + R_1} \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{op. Cit. p. 381})$$

De même relient les points B et N comme cela est figuré.

On mesure alors $V_B - V_0$. On peut alors utiliser deux méthodes :

1^o On applique la loi d'ohm à la boucle BNMO. Alors cette boucle enlace le noyau de fer. Vue la disposition des fils (venant tous les deux de la droite ils passent d'abord devant puis derrière le noyau de fer), la force-électromotrice induite est la même que celle qui se manifeste le long de la boucle MNP, soit «e». On écrira alors :

$$V_B - V_0 = R_1 I_{NM1} - e = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - 1 \right) e = \frac{-R_2}{R_1 + R_2} e$$

$$\text{soit : } (V_B - V_0) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{Op. Cit. p.381})$$

2^o Mais on peut aussi utiliser la boucle BNPMO qui enlace deux fois le noyau de fer mais chaque fois en sens inverse si bien qu'au total la force électromotrice d'induction est nulle. (En fait la boucle BNPMO n'enlace pas le noyau de fer !). On écrira alors :

$$(V_B - V_0) = R_2 I_{PM2} - e - (-e)$$

et comme $I_{PM2} = -I_{NM1}$ on retrouve bien le même résultat.

En fait V_B mesure le potentiel du point P auquel le point B est relié

par un fil constituant, avec R_2 et le fil MO, une boucle qui n'entoure pas le noyau de fer et qui n'est donc le siège d'aucune force électromotrice.

N.B. : pour déterminer V_A il n'est pas interdit, bien sûr, d'utiliser la boucle ANPMO mais c'est du vice !

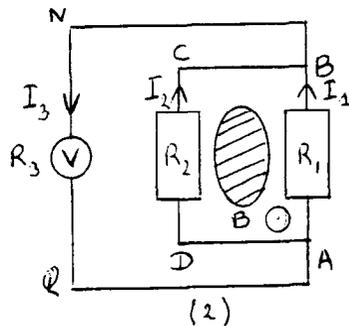
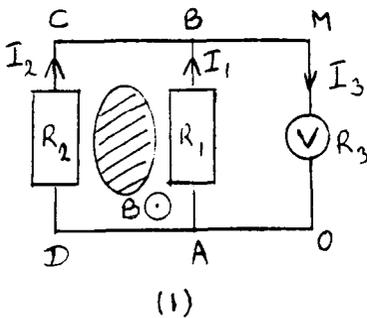
Cette modélisation donne donc les mêmes résultats que les calculs entrepris par les auteurs de l'article cité.

Le modèle est efficace puisqu'il permet de prévoir le résultat observé, et c'est tout ce qu'on lui demande !

Pourquoi se poser des questions auxquelles l'expérience ne donne aucune réponse, ne peut donner aucune réponse ? La Physique est, tout de même, une science expérimentale !

On pourrait, bien sûr, prendre encore bien d'autres chemins pour relier l'entrée B de l'oscilloscope au point N. On peut entortiller un fil n fois autour du noyau de fer dans un sens ou dans l'autre. On trouvera chaque fois des résultats différents. Mais cela ne veut pas dire qu'on ne puisse pas parler de différences de potentiel si on trouve cette notion commode, cela signifie simplement que jamais on ne mesure $V_N - V_0$ mais $V_B - V_0$ et que chaque fois on intercale entre les points N et B des générateurs et qu'il faut tenir compte de leur force-électromotrice.

Le cas traité par H. GIÉ dans sa conférence d'Orléans peut être résolu d'une façon tout à fait analogue. La discussion portait sur l'interprétation des résultats observés lorsqu'on réalise les deux montages dessinés ci-dessous [2]



On détermine d'abord l'intensité du courant traversant la résistance R_1 . On procède comme dans le cas précédent en supposant toujours que la résistance interne R_3 du voltmètre est si grande qu'on peut négliger le courant I_3 . On trouvera alors, comme plus haut :

$$I_{AB1} = \frac{1}{R_1 + R_2} e = - \frac{1}{R_1 + R_2} \frac{d\Phi}{dt}$$

Que mesure le voltmètre placé aux bornes de AB dans le premier circuit ? Il mesure $V_M - V_0$ c'est à dire :

$$(V_M - V_0) = (V_B - V_A) = R_1 I_{BA1} = - \frac{R_1}{R_1 + R_2} e = - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{d\Phi}{dt}$$

puisqu'il n'y a pas de champ magnétique enlacé par la boucle MBAO.

Dans le second circuit on mesure $V_N - V_Q$ soit :

$$(V_N - V_Q) = (V_B - V_A) - (-e) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} e = - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{d\Phi}{dt}$$

puisque la boucle NBAQ enlache le champ magnétique en sens opposé à celui qu'enlache la boucle ABCD.

L'indication donnée par le voltmètre dépend donc de sa place. C'est qu'on ne mesure pas la même chose chaque fois, il faut tenir compte dans le second cas de la force électromotrice provenant des phénomènes d'induction.

Tout cela est bien beau, mais que faut-il donc dire de la différence de potentiel qui n'est pas la même entre A et B qu'entre D et C ? Il n'y a pourtant pas de « chute de tension » (0 le vilain vocabulaire !) entre B et C ni entre D et A ?

C'est que tant que nous n'avons pas précisé le protocole expérimental nous permettant de mesurer cette différence de potentiel, il est absolument vain de chercher à en prévoir la valeur. La validité d'une théorie physique est déterminée par sa seule adéquation à l'expérience. Tant que nous ne disons pas quelle expérience nous voulons réaliser pour mettre en évidence un phénomène, nous ne pouvons pas en prédire le résultat (Théorème de Lapalisse). Les physiciens « quantiques » connaissent bien ce genre de problèmes, les physiciens « classiques »

doivent aussi en prendre conscience. Ce que je peux prévoir c'est seulement l'indication qui sera donnée par le voltmètre dans chacun des cas. Le modèle utilisé donne-t-il un résultat que je peux vérifier ? Si oui, il est opérant. C'est tout.

«Wir wissen einige erfaßbare Gesetze, einige Grundbeziehungen zwischen unbegreiflichen Erscheinungen, das ist alles, der gewaltige Rest bleibt Geheimnis, dem Verstande unzugänglich [3].

Maintenant on peut se demander ce qui va se passer si on déplace le voltmètre pour transformer le montage (1) en le montage (2) ou vice-versa.

Les deux séries d'expériences décrites étant absolument équivalentes, revenons au circuit primitif où le matériel est présenté d'une façon plus complète. Peut-on passer, continûment, de la situation BN à la situation AN ?

On ne le peut pas, la présence du noyau de fer l'empêche. Qu'à cela ne tienne, coupons-le, ou plutôt, cela sera plus facile, utilisons un transformateur avec un entrefer. Alors on peut enfiler le fil BN à travers cet entrefer pour arriver à la position AN.

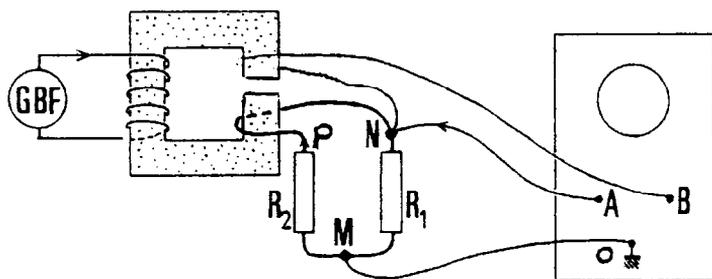


Figure 3

Et bien lorsqu'on effectue ce déplacement on constate que la différence de potentiel mesurée $V_B - V_0$ varie entre les deux valeurs calculées précédemment. Il y a même une position du fil dans l'entrefer pour laquelle elle est nulle.

On vérifiera, sans difficulté, que, dans le cas général, la différence de potentiel entre les points B et 0 est donnée par :

$$V_B - V_0 = \frac{d}{dt} \left(\frac{R_1 \Phi_2 - R_2 \Phi_1}{R_1 + R_2} \right)$$

(voir la figure pour les notations)

Nous retrouvons là un résultat bien connu concernant l'association, en parallèle, de deux générateurs de forces électromotrices e_1 et e_2 et de résistances internes R_1 et R_2 .

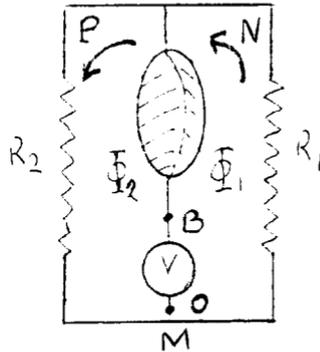


Figure 4

Pour chercher le générateur équivalent on utilise dans ce cas, de préférence, la convention de Norton où chaque générateur est caractérisé par sa conductance $G = \frac{1}{R}$ et son «courant de court-circuit» $\eta = G e$. Lorsque les deux générateurs sont montés en parallèle, les conductances d'une part, les «intensités de court-circuit» d'autre part s'ajoutent.

Le générateur équivalent a donc comme force-électromotrice :

$$e = \frac{\eta}{G} = \frac{G_1 e_1 + G_2 e_2}{G_1 + G_2} = \frac{R_2 e_1 + R_1 e_2}{R_1 + R_2}$$

Dans notre cas :

$$e_1 = - \frac{d\Phi_1}{dt} \quad \text{et} \quad e_2 = \frac{d\Phi_2}{dt}$$

(Faire attention à l'orientation de la boucle O R₂ P B O !) d'où :

$$e = \frac{d}{dt} \left(\frac{R_1 \Phi_2 - R_2 \Phi_1}{R_1 + R_2} \right)$$

Et la loi d'Ohm, appliquée à l'extérieur du voltmètre, entre B et O donne alors :

$$V_0 - V_B = - e_{OB} = - \frac{d}{dt} \left(\frac{R_1 \Phi_2 - R_2 \Phi_1}{R_1 + R_2} \right)$$

qui est bien le résultat écrit plus haut.

CONCLUSION

La notion de différence de potentiel peut être utilisée sans inconvénient, elle permet de prédire correctement les résultats des mesures que l'on fait. On ne lui en demande pas plus. Si on trouve ces calculs commodes on peut lui prédire une longue vie.

«Vive» la différence de Potentiel !

NOTES ET BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. FLECKINGER, R. CARLES et J.P. PÉREZ : Bulletin de l'Union des Physiciens n° 722 mars 1990 p.375/384.
- [2] H. GIÉ : Bulletin de la Section régionale d'Aix-Marseille de l'Union des Physiciens n° 4 1987.
- [3] Fr. DÜRRENMATT : «die Physiker» Diogenes Taschenbuch n° 20837 .s 74. Traduction approximative : «Nous connaissons quelques lois bien établies, quelques relations fondamentales entre les phénomènes mystérieux, le reste, immense, demeure un secret inaccessible à la raison».

P.S. : Je tiens à remercier Michelle OBERRANZMEIR de m'avoir ouvert les portes du laboratoire de Physique du Lycée Thiers où j'ai pu vérifier expérimentalement les résultats annoncés ici.