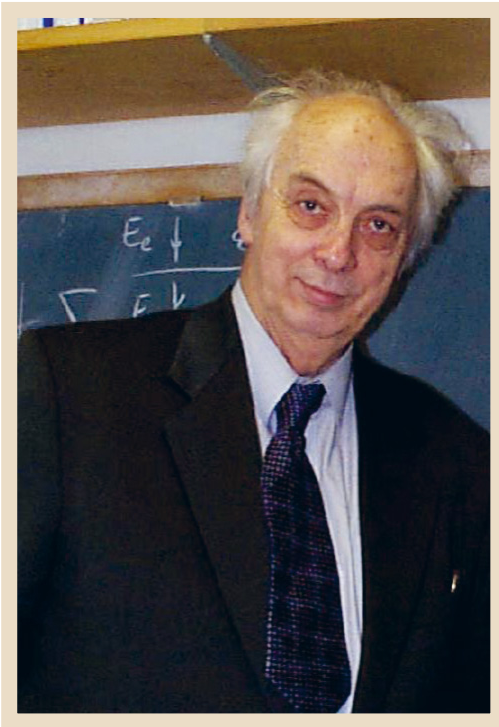


Victor Georgievitch Veselago (1929–2018)



Par Sébastien Guenneau

s.guenneau@imperial.ac.uk

Victor Veselago (1929–2018) est un physicien russe spécialiste des ondes électromagnétiques. Il a publié en 1968 un article fondateur de la théorie des métamatériaux dans lequel il décrit les propriétés électromagnétiques de matériaux ayant des permittivités et perméabilités négatives. Ses travaux seront popularisés plusieurs décennies plus tard par le développement des métamatériaux par John Pendry.

<https://doi.org/10.1051/photon/202010322>

Article publié en accès libre sous les conditions définies par la licence Creative Commons Attribution License CC-BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui autorise sans restrictions l'utilisation, la diffusion, et la reproduction sur quelque support que ce soit, sous réserve de citation correcte de la publication originale.

Victor Veselago naît le 13 juin 1929 dans la région de Zaporjžia, près d'une ville industrielle d'Ukraine de taille similaire à Marseille, autrefois appelée Aleksandrovsk durant la République Soviétique Socialiste d'Ukraine. Plus précisément, sur l'acte de naissance de Victor est inscrit le nom du village Kichkas, submergé lors de la construction d'un barrage, peu après

sa naissance. À cette époque, son père travaille à la centrale hydroélectrique adossée au barrage du Dniepr (un fleuve se jetant dans la mer noire), dont la construction commencée en 1927 et achevée en 1932, mobilise 60000 travailleurs et sera qualifiée de « projet de construction socialiste du siècle ». La famille Veselago quitte la région de Zaporjžia en 1932 et Victor garde peu de souvenirs

BIOGRAPHIE

13 juin 1929

Naissance, région de Zaporjžia, Ukraine

1952

Devient chercheur à FTF MSU (Université d'État Lomonossov de Moscou)

1968

Publication de son article fondateur sur la théorie de la réfraction négative et d'une lentille plate convergente

2001

Première preuve expérimentale de la réfraction négative avec des métamatériaux (équipe de D. Smith)

15 septembre 2018

Mort de Victor Veselago

de la centrale et du Dniepr, qu'il n'a jamais revus. Son père est décoré de l'ordre de Lenin, l'une des plus hautes récompenses dans l'Union des Républiques Socialistes Soviétiques (URSS), pour sa contribution apportée à la construction de la centrale hydroélectrique, et la famille Veselago se voit décerner un appartement trois pièces à Moscou, qu'elle n'occupera que trois ans plus tard, comme nous le verrons par la suite. En effet, le père de Veselago est promu ingénieur en chef de la centrale hydroélectrique Sredne-Volzhsy, dont il va superviser la construction sur le fleuve Volga.

La famille Veselago s'installe à partir de 1932 dans la ville de Yaroslavl, proche de la centrale hydroélectrique Sredne-Volzhsy, ainsi que du célèbre monastère Tolga. Le monastère est déjà fermé à l'époque, et ses locaux servent à l'hébergement des ingénieurs travaillant sur le chantier. Victor y séjourne dans deux chambres de l'hôtel du monastère appelé la maison rouge avec Georgiy Sergeevich (son père), Elena Borisovna (sa mère), et Andrey (son frère aîné). Les premiers souvenirs d'enfance de Victor remontent à l'époque de sa vie à Tolga, à regarder passer les bateaux de croisière sur le fleuve Volga.

En août 1935, Georgiy annonce que la construction de la centrale est interrompue et les Veselago déménagent à Moscou en voiture. Ils emménagent dans l'appartement accordé à Georgiy après l'achèvement de la centrale hydroélectrique du Dniepr trois ans plus tôt. La carrière de Georgiy prend un nouvel essor à Moscou, où il est directeur adjoint et ingénieur en chef de « Glavgidroenergoproekt » (Главгидроэнергопроект), l'organisation en charge de la conception et la construction des centrales hydroélectriques à travers toute l'URSS. Mais la vie heureuse de Victor à Moscou est brisée en septembre 1937, lorsque Georgiy décède dans un tragique accident de chemin de fer. Un an après la mort de son père, Victor entre à l'école directement en deuxième année car il peut lire et écrire couramment. Il parle d'une excellente école avec de bons professeurs et un directeur bienveillant, Fyodr Fyodorovich Roschin.

Près de quatre ans s'écoulent avant que la vie de Victor prenne une nouvelle tournure dramatique avec l'entrée en guerre de l'URSS contre l'Allemagne nazie en 1941. Lorsque les armées allemandes avancent sur Moscou, la ville est évacuée avec des déplacements de population, ainsi que des usines, vers l'Est. Victor, sa mère

Elena, sa tante Maria et son mari Vyacheslav, sont transférés à Tachkent en Ouzbékistan. Andrey, le frère de Victor, est quant à lui envoyé au front, devient lieutenant de l'Armée rouge, et meurt de ses blessures dans un hôpital de guerre en 1943. Victor, Elena, Maria et Vyacheslav ne rentrent à Moscou qu'au printemps 1944. L'ancienne école de Victor avant la guerre a fermé ses portes, mais par chance, sa mère retrouve F.F. Roschin, qui est devenu le directeur d'une école d'élite pour les enfants de l'administration située au centre de Moscou. Ce dernier fait passer des examens d'entrée à Victor qui est admis à intégrer cette école. Mais Victor tombe malade et ne peut aller en cours. En convalescence à la maison, il découvre la vaste bibliothèque que lui a laissée son père en héritage.

Un livre intitulé « *Qu'est-ce qu'une radio ?* » éveille un jour la curiosité de Victor. L'auteur, Semen Emmanuilovich Khaikin (physicien-mathématicien né à Minsk en 1901 et mort à Leningrad en 1968), décrit de manière détaillée et accessible, comment monter soi-même un récepteur de radio. Victor demande à sa mère d'acheter les composants de la radio à la boutique du coin, et il assemble sa première radio en suivant les instructions détaillées par S.E. Khaikin. Le lendemain, le radioamateur en herbe écoute un concert diffusé par Radio Moscou.

Victor envisage d'embrasser une carrière d'ingénieur dans les pas de son père, pour travailler dans une usine fabriquant des radios. Il n'a pas en tête de devenir un scientifique, car le métier de chercheur reste une profession confidentielle à l'époque, réservée à une élite académique et industrielle en URSS. Cependant, il apprend l'existence d'une nouvelle faculté spécialisée en physique et technologie à l'Université d'État Lomonossov de Moscou (à l'époque son acronyme est FTF MSU, remplacé depuis par MIPT, le célèbre Institut de physique et de technologie de Moscou), qui doit former des spécialistes pour des instituts de recherche avec diverses spécialisations, y compris la radio-physique. Parmi les enseignants se trouvent les futurs prix Nobel de physique Lev Davidovich Landau et Petr Leonidovich Kapitza.

La filiation scientifique est particulièrement importante en URSS et S.E. Khaikin (auteur de « *Qu'est-ce qu'une radio ?* »), va jouer un rôle majeur dans la carrière scientifique de Victor, qui effectue son stage de recherche trois étés consécutifs ●●●

Un livre intitulé « *Qu'est-ce qu'une radio ?* » éveille un jour la curiosité de Victor.

sous la direction de Khaikin au Laboratoire de radioastronomie de Crimée de l'Institut Lebedev de physique de l'Académie des sciences (FIAN). Victor y travaille comme technicien radio, utilisant les compétences et les connaissances acquises en tant que radioamateur. À la fin du premier été passé au laboratoire FIAN de Crimée, Victor décide de continuer à y travailler au cours de l'hiver 1949–1950. Il demande à Sergey Michailovich Rytov, son mentor officiel à FTF MSU, l'opportunité de travailler à FIAN pendant les vacances d'hiver. Rytov est un théoricien, qui semble déçu de la décision de Victor et il demande l'avis d'Alexander Mikhailovich Prokhorov, qui enseigne ce que Victor appelle avec affection « le stage de soudure » à FTF MSU. Rytov explique la situation à Prokhorov, qui donne son imprimatur pour une filière plus appliquée. Victor devient alors étudiant stagiaire au laboratoire d'oscillation de FIAN, sous la cotutelle de Prokhorov à FTF MSU et Khaikin à FIAN.

À l'issue de ses études universitaires en 1952, Victor décroche un poste de chercheur dans le groupe de Prokhorov à FTF MSU. Les sujets de leurs recherches changent environ tous les 5 à 7 ans, mais ils collaborent jusqu'à la mort de Prokhorov en 2002.

Néanmoins, depuis 1960, Victor s'intéresse tout particulièrement à la génération et l'utilisation de champs magnétiques forts à courant continu (il sera directeur du laboratoire des matériaux magnétiques au sein de l'Institut de physique de Prokhorov à l'académie des sciences de Russie à partir de 1983). Il étudie des semi-conducteurs dits magnétiques qui sont des matériaux qui présentent un certain nombre de propriétés inhabituelles, dont une faculté de ralentir les ondes électromagnétiques. En effet, la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu dépend de l'indice de réfraction n , qui est lui-même lié à

la permittivité diélectrique ϵ et à la perméabilité magnétique μ par la célèbre relation

$$n = \sqrt{\epsilon\mu}. \tag{1}$$

L'idée de Victor est d'obtenir des valeurs significativement plus élevées de n en augmentant à la fois ϵ et μ dans les semi-conducteurs magnétiques. Cela permettrait de diminuer la vitesse de phase v de l'onde électromagnétique d'après la relation

$$v = \frac{c}{n} \tag{2}$$

où c est la vitesse de la lumière dans le vide. Cependant, Victor se heurte à une difficulté majeure : les valeurs élevées de ϵ et μ ne peuvent pas être réalisées simultanément pour toute

fréquence. De plus, l'une de ces quantités, ϵ ou μ , s'avère souvent être négative ce qui conduit à une valeur imaginaire de l'indice de réfraction n , entraînant une atténuation de l'onde.

Le coup de génie de Victor est de se poser une question étrange: « Que se passe-t-il si les deux quantités ϵ et μ d'un milieu sont simultanément négatives ? ». En effet, conformément à l'équation (1), l'expression de l'indice de réfraction n ne change pas ! Victor se demande donc si les équations de

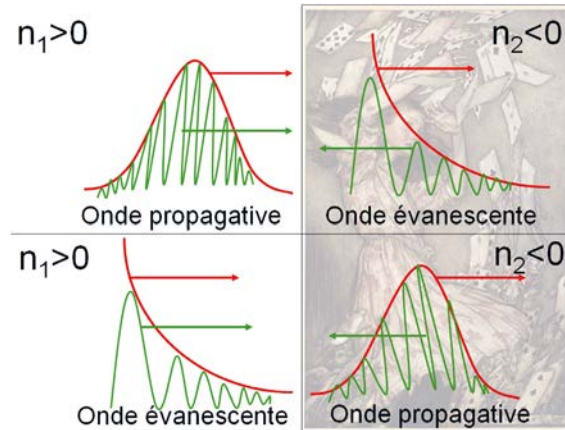


Illustration d'une onde propagative (resp. évanescente) dans un milieu d'indice positif n_1 , qui devient évanescente (resp. propagative) dans un milieu d'indice négatif n_2 . Les oscillations de l'onde schématisées en vert sont associées à sa vitesse de phase qui pointe suivant la direction de la flèche verte donnée par le vecteur d'onde, et l'enveloppe des oscillations en rouge est associée à la vitesse de groupe de l'onde, qui pointe suivant la flèche rouge donnée par le vecteur de Poynting.

l'électrodynamique sont invariantes par rapport au changement simultané des signes de ϵ et μ ou si les propriétés d'un milieu avec ϵ et μ simultanément négatifs diffèrent qualitativement de celles d'un milieu avec ϵ et μ simultanément positifs. Une troisième possibilité est qu'un milieu avec ϵ et μ simultanément négatifs viole les lois fondamentales de la physique. Victor ne trouve pas de réponse immédiate à ces questions, mais il réalise qu'elles sont de nature fondamentale et méritent d'être posées. Il consulte ses collègues du FIAN qui lui recommandent la plus grande prudence face à ces questions qui pourraient soulever une

controverse scientifique délétère pour sa carrière scientifique. Victor demande alors à une secrétaire de ne pas le déranger avec des appels téléphoniques et d'annoncer à ses collègues qu'il est parti en congés vers une destination inconnue.

Durant sa période d'isolement, Victor se consacre pleinement à l'écriture d'un article [1] dans lequel il démontre que si les deux quantités ϵ et μ sont simultanément négatives, le signe moins doit être attribué à la vitesse de phase $v = c/n$ (vue comme un champ de vecteur) ainsi qu'au nombre d'onde

$$k = \frac{\omega}{v} \quad (3)$$

où ω est la fréquence angulaire de l'onde considérée.

Une vitesse de phase négative v signifie que le vecteur d'onde \mathbf{k} pointe dans la direction opposée à celle du vecteur de Poynting \mathbf{S} , défini comme le produit vectoriel $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$ entre le champ électrique \mathbf{E} et le magnétique \mathbf{H} . Or pour Victor et ses collègues du FIAN, il va de soi que la direction du vecteur \mathbf{S} pointe toujours de la source de l'onde électromagnétique vers le récepteur car elle est associée à un transport d'énergie électromagnétique (intimement lié à la vitesse de groupe d'un paquet d'onde). Victor se heurte donc à une difficulté théorique.

Victor découvre avec bonheur la possibilité de vecteurs \mathbf{S} et \mathbf{k} pointant dans des directions opposées dans le livre « An introduction to the theory of optics » [2] du physicien-mathématicien germano-britannique Sir Arthur Schuster, publié en 1906 et traduit en russe en 1935 peu après la mort de ce dernier. Néanmoins, ce livre ne tire pas les conséquences importantes de cette possibilité car la notion de la réfraction négative quand

l'indice $n < 0$ n'y est pas introduite. Victor est donc aujourd'hui considéré à juste titre comme le père de la réfraction négative [3].

Victor décrit de nombreux effets insolites dans son article fondateur de 1968 qui vont révolutionner l'optique au tournant du 21^{ème} siècle quand le physicien britannique Sir John Pendry introduit avec ses collègues les premiers métamatériaux qui possèdent un indice de réfraction négatif à certaines fréquences de résonance de leurs composants. Pendry note qu'il découle de [1] que les ondes évanescentes sont amplifiées à mesure qu'elles se propagent dans un matériau d'indice négatif (voir figure), et donc peuvent être focalisées à travers une lame d'indice de réfraction négatif, participant ainsi à la reconstruction optique des objets. Un autre paradigme de la réfraction négative est l'an-

nullation du chemin optique entre la source et l'image pour les rayons lumineux passant à travers une lentille plate à réfraction négative [4]. Ce concept d'annulation de l'espace électromagnétique a été généralisé depuis au contrôle de la lumière dans des milieux hétérogènes ani-

sotropes décrits par des tenseurs de permittivité et perméabilité ϵ et μ dont les coefficients prennent des valeurs extrêmes, tels ceux des métamatériaux hyperboliques et les capes d'invisibilité. Victor a suivi de près ces développements en formant toute une génération de physiciens qui ont contribué au développement des métamatériaux au cours des 20 dernières années [5].

Victor Veselago, lauréat du prix scientifique de l'URSS en 1976, du prix Vladimir Aleksandrovitch Fock en 2004 et membre de l'académie des sciences de Russie, décède le 15 septembre 2018 à l'âge de 89 ans. ●

Victor décrit de nombreux effets insolites dans son article fondateur de 1968 qui vont révolutionner l'optique au tournant du 21^{ème} siècle

EN SAVOIR +

[1] V. G. Veselago, *Sov. Phys. Usp.* **10**, 509 (1968)

[2] A. Schuster, *An Introduction to the Theory of Optics* (London: Edward Arnold and Co., 1904)

[3] A. Boardman, *J. Opt.* **13**, 020401 (2011)

[4] J. B. Pendry, S.A. Ramakrishna, *J. Phys.: Condens. Matter* **15**, 6345 (2003)

[5] S. V. Garnov, E.M. Dianov, V.I. Konov et al., *Usp. Fiz. Nauk* **189**, 335 (2019)