

Yves Rocard

Illustration de couverture :
Attracteur chaotique de Rocard, 1941, Ginoux *et al.* (2022).

www.editions-hermann.fr

ISBN : 979 1 0370 2935 5

ISBN pdf : 979 1 0370 2936 2

© 2023, Hermann Éditeurs, 6 rue Labrouste, 75015 Paris

Toute reproduction ou représentation de cet ouvrage, intégrale ou partielle, serait illicite sans l'autorisation de l'éditeur et constituerait une contrefaçon. Les cas strictement limités à l'usage privé ou de citation sont régis par la loi du 11 mars 1957.

Yves Rocard

Portrait d'un grand physicien oublié

Sous la direction de
JEAN-MARC GINOUX
et FRANCK JOVANOVIC



hermann

Depuis 1876

Introduction

« Jeune Français moyen, titulaire du baccalauréat latin-sciences, je comptais parmi les privilégiés, ceux que le sort avait conduits à étudier au lycée Louis-le-Grand. Nous n'avions qu'une rue à franchir pour emprunter le long couloir qui traverse la Sorbonne. Il suffisait alors de descendre la petite rue sombre sur la droite pour se trouver face à... la vitrine de la librairie Hermann [qui] m'a hypnotisé toute ma vie ».

Yves Rocard (1988, p. 10)

À l'occasion du trentième anniversaire de la disparition d'Yves Rocard, cet ouvrage présente un portrait inédit des premières années de la vie et de la carrière de ce physicien éclectique. Cette publication fait suite à la première conférence de l'Institut Jules Verne de l'Université de Toulon organisée par Jean-Marc Ginoux et qui se tient à Toulon en avril 2022. Cette conférence a notamment permis de réunir plusieurs chercheurs internationaux intéressés par les travaux de Rocard.

Les travaux de ce physicien français ont été quelque peu oubliés, or le présent ouvrage éclaire sous un nouveau jour l'importance de certaines de ses contributions notamment dans le domaine de la *théorie du chaos*. Il permet par exemple de découvrir comment les travaux de Rocard sur la théorie des oscillations non linéaires l'ont conduit à étudier les fluctuations économiques et à concevoir plusieurs modèles mathématiques susceptibles de prévenir la survenue de crises économiques.

Rocard a vécu une vie incroyable. Il fut un résistant actif, a travaillé pour le programme nucléaire militaire français, pour les services secrets français et britanniques, déposé plusieurs brevets industriels, dirigé un des plus prestigieux laboratoires de physique en France, tout en poursuivant une carrière académique

exceptionnelle, il a travaillé à plusieurs reprises dans l'industrie ce qui lui a permis de réaliser de remarquables transferts de technologie entre recherche scientifique et appliquée. Citons notamment son travail sur la stabilité des ailes d'avions, des roues de la traction avant Citroën, l'explication du déraillement tragique d'un train, les crises économiques, la stabilité des ponts suspendus, etc. Les travaux et recherches scientifiques de Rocard qui nous intéressent dans cet ouvrage concernent les oscillations et la stabilité des systèmes dynamiques oscillants.

Cet ouvrage comprend un certain nombre d'archives inédites, dont des photos. Il ouvre de nouvelles pistes de recherches sur l'historiographie du chaos et notamment sur l'importance des travaux de Rocard en économétrie.

La première partie de cet ouvrage regroupe trois chapitres écrits par des personnes ayant directement connu Yves Rocard : Francis Rocard, son petit-fils, Serge Plantureux qui participa à la publication d'un de ses livres, Jean-Marc Lévy-Leblond un de ses anciens étudiants. Ces témoignages directs permettent de mieux découvrir le personnage. La seconde partie de l'ouvrage – les chapitres 4, 5, 6 et 7 – présente des analyses des travaux novateurs de Rocard concernant la théorie des oscillations non linéaires et dont les applications à des domaines très différents comme l'*Économétrie*, la *Mécanique* ou encore la *Musique*, le conduisirent à mettre en évidence l'imprédictibilité du phénomène étudié sur le long terme – une étonnante propriété que l'on n'appelait pas encore en ce milieu des années quarante le chaos.

Dans son chapitre, Francis Rocard, un de ses petits-fils, retrace la vie et l'œuvre d'Yves Rocard. On suit ainsi les centres d'intérêt de ce scientifique français touche à tout qui joua un rôle essentiel dans le développement et la restructuration de la recherche scientifique en France, notamment dans la période qui a suivi la Seconde Guerre mondiale. Ce chapitre permet également de mieux comprendre le rôle et l'importance de l'implication de Rocard dans la Résistance durant cette sombre période de notre histoire. C'est au début des années quarante

que Rocard publie les deux ouvrages qui sont au cœur des chapitres 5, 6 et 7 et dans lesquels on trouve ses modèles qui préfigurent la théorie du chaos.

Le chapitre 2 nous fait découvrir les coulisses de la publication de l'ouvrage de Rocard, *La Science et les sourciers*, qui devait être interdit et qui a été finalement publié en 1989. Serge Plantureux, qui a directement pris part à cette aventure, nous donne à découvrir Yves Rocard autrement et à mieux comprendre sa manière de travailler. On y découvre un chercheur optimiste et pugnace avec pour principale méthode de recherche l'expérimentation : essayer et vérifier sont en quelque sorte les *leitmotivs* des travaux de recherche de Rocard.

Le chapitre 3 est un témoignage d'un ancien élève de Rocard à l'ENS. Jean-Marc Lévy-Leblond rappelle que Rocard est resté tout au long de sa vie extrêmement discret sur son rôle dans la résistance et les programmes militaires de l'après-guerre. Si ce chapitre se montre quelque peu critique vis-à-vis d'Yves Rocard, il ne manque pas de souligner à nouveau la pugnacité du personnage qui n'abandonne jamais.

Le chapitre 4 tente d'expliquer les raisons pour lesquelles Rocard s'est intéressé à l'économétrie, également appelée économie mathématique par certains de ses fondateurs, et la politique économique. Jusqu'à présent, cette incursion de Rocard en économétrie n'a pas pu être expliquée. Cynthia Colmellere et Franck Jovanovic s'appuient sur des archives inédites d'Yves Rocard pour éclairer son intérêt pour l'économétrie. Ils ont pu consulter de manière exceptionnelle une partie des archives actuellement conservées au CEA, ainsi que des archives retrouvées à l'ENS avant qu'elles ne soient complètement répertoriées et rendues accessibles au public. Les archives permettent de mieux comprendre l'intérêt de Rocard pour l'économétrie. Ce chapitre montre que ses analyses des modèles économétriques ont servi à Rocard de support pour assoir certaines de ses idées en matière de politiques scientifiques que l'on retrouve dans l'après-guerre. Il permet de découvrir que dans les années 1930, Rocard gravitait autour

des économètres français. Il s'intéressait aux cours de la bourse et plus particulièrement aux écarts dans le temps des anticipations de certaines variables économiques avec leurs réalisations effectives.

Dans le chapitre 5, Jean-Marc Ginoux, Franck Jovanovic, Riccardo Meucci, et Jaume Llibre s'intéressent au livre de Rocard intitulé *Théorie des Oscillateurs*, publié en 1941, en pleine Seconde Guerre mondiale. Le chapitre V de cet ouvrage est entièrement dédié à l'économétrie. Rocard y applique ses analyses sur les oscillations afin d'étudier de quelle manière les crises économiques peuvent être évitées. En utilisant les outils mathématiques et numériques modernes, Jean-Marc Ginoux, Franck Jovanovic, Riccardo Meucci, et Jaume Llibre mettent au jour des résultats inédits de Rocard sur l'économétrie, et montrent qu'en 1941 Rocard avait franchi un premier pas vers le chaos avec un modèle économétrique. En effet, Rocard avait obtenu un modèle d'oscillations économiques dont la solution était imprédictible sur le long terme. Rocard n'est pas connu pour ses travaux en économétrie. Pourtant, ses contributions dans ce domaine sont novatrices puisqu'il devance de dix ans l'article de l'économiste américain Richard Goodwin sur l'application des oscillations non-linéaires aux modèles de cycles économiques. Ce chapitre montre que le modèle économétrique de Rocard constitue le tout premier modèle mathématique dont la solution prend la forme d'un attracteur chaotique connu. Il fut publié vingt-deux ans avant le célèbre « papillon de Lorenz ».

Dans le chapitre 6, Max-Olivier Hongler et Julio Rodriguez s'intéressent à l'ouvrage de Rocard publié en 1943, *Dynamique Générale des Vibrations*. Cet ouvrage traduit dans plusieurs langues est en quelque sorte son best-seller. Il contient un modèle mathématique du tournebroche de Bouasse-Sarda qui s'avère être non linéaire. Ce tournebroche de Bouasse-Sarda demeure encore aujourd'hui un objet de recherche pour plusieurs scientifiques. En mettant en application des outils numériques modernes et en profitant des progrès de

la connaissance dans le domaine des systèmes dynamiques, les auteurs montrent que ce tournebroche possède toutes les subtilités des systèmes dynamiques telles que dévoilées par les derniers progrès des mathématiques et qu'il présente également un comportement chaotique. Ce chapitre illustre également la « méthode Rocard », consistant à rendre clairs et intelligibles des mécanismes complexes avec des applications pratiques grâce aux mathématiques. Il montre que Rocard portait une attention particulière aux applications pratiques sans jamais négliger les développements mathématiques. Avec ce chapitre, Max-Olivier Hongler et Julio Rodriguez confirment ainsi qu'en 1943 Rocard travaillait sur des modèles mathématiques susceptibles de le conduire vers le chaos. Sans nul doute que le comportement complexe et non-linéaire du mécanisme du tournebroche de Bouasse-Sarda a intrigué Rocard.

Le chapitre 7 analyse de quelle manière le son, et plus précisément les ondes sonores, s'altère lors de sa propagation. Ce phénomène, bien connu des musiciens, conduit les orchestres à faire jouer à différentes fréquences les instruments selon leur emplacement par rapport à l'auditoire. Dans ce chapitre, Pascal Raymond et Bruno Rossetto proposent d'appliquer certains travaux théoriques et expérimentaux d'Yves Rocard en acoustique à cette problématique. Leur analyse a permis de montrer toute la complexité théorique d'un problème pratique *a priori* anodin et d'expliquer ainsi l'écart de 1 Hertz de la hauteur du son à la distance de 20 m observé expérimentalement.

JEAN-MARC GINOUX,
Centre de Physique Théorique,
Université de Toulon, France, ginoux@univ-tln.fr

FRANCK JOVANOVIĆ,
École des sciences de l'administration, Université Teluq,
Canada, LEO, Université d'Orléans, France,
franck.jovanovic@teluq.ca



Caricature d'Yves Rocard par Yves Rocard,
Source : Archives CEA.

I

Yves Rocard (1903-1992) : sa vie, son œuvre

FRANCIS ROCARD,
Astrophysicien, Centre national d'études spatiales

J'ai peu connu mon grand-père avant les années 80. Il était toujours en activité et on ne le voyait en famille que quelques fois par an. Yves Rocard souffrait de surdité depuis son enfance suite à des otites infectées qui lui ont perc e les tympan. Le résultat est qu'il entendait très mal surtout en présence de plusieurs personnes. Une conséquence est qu'il comprenait peu ses professeurs et qu'il apprenait les cours dans les livres : il se disait lui-même un autodidacte.

Il était le fils du Commandant (Eugène) Louis Rocard qui était chef d'escadrille au 2^e Régiment d'aviation pendant la 1^{re} guerre. Il a été abattu le 12 septembre 1918 (2 mois avant l'armistice) lors de la rencontre de son escadrille avec celle de G oring   Lachaussée dans la Meuse. On ne peut affirmer que G oring lui-même a abattu l'avion du Commandant Louis mais c'est probable car il était fréquent que les chefs d'escadrille combattent entre eux. Il m'arrive de penser que si mon arrière-grand-père avait abattu G oring, l'histoire de la 2^{nde} guerre mondiale aurait été différente. Il aurait été l'un des derniers aviateurs français morts au combat.

La mère de Yves se trouvant veuve, les ressources financières de la famille étaient très limitées. Les quatre enfants, Yves, Marc, Jacques et sa s eur Geneviève seront pupilles de la nation. Yves aura souvent des activités purement lucratives en marge de ses études, comme des « Tapirs » à l' cole Normale

Supérieure (ENS), activité qui consiste à donner des cours particuliers à des étudiants.

Dans les douze dernières années de sa vie, j'ai habité très près de son domicile. Comme j'avais la fibre scientifique, Yves me sollicitait souvent et nous nous voyions régulièrement. Ainsi, il m'envoya à travers Paris équipé d'un magnétomètre à proton afin de mesurer le champ magnétique en divers lieux comme la tour Eiffel et près d'un métro. Ces mesures montraient que le champ magnétique était très fluctuant du fait de gros perturbateurs métalliques ou magnétiques comme le métro et ses forts courants électriques ou la tour Eiffel ou même les automobiles. C'est pour cela qu'il a vite conclu que ses expériences de sensibilité magnétique ne pouvaient se faire qu'à la campagne (voir plus loin).

C'est lors de ces multiples rencontres et discussions, que je réalisais que mon grand-père avait vécu une vie incroyable. Mais comme il avait travaillé sur des sujets sensibles, il ne parlait pas de ses activités professionnelles lors de réunions familiales. Souhaitant garder une trace de l'histoire de sa vie après son décès, alors qu'il avait déjà 80 ans, je lui ai donc proposé de me raconter sa vie devant un magnétophone. Ce qu'il a volontiers accepté. C'est ainsi que j'ai accumulé 15 heures d'enregistrement. Par la suite il a souhaité qu'une version papier soit obtenue et a fait travailler sa secrétaire équipée d'un magnétophone à pédale¹ pour retranscrire l'enregistrement. C'est vers cette époque que les éditions Grasset ont contacté Yves Rocard afin de lui demander de rédiger ses mémoires. Les 400 pages A4 de l'enregistrement correspondaient à un texte beaucoup trop long. Il a alors abondamment retravaillé et réduit le texte qui est devenu *Mémoires sans Concessions* qui a été publié en 1988. Le livre est épuisé mais on peut se le procurer sur internet avec un peu de chance.

1. Afin de revenir fréquemment en arrière en appuyant brièvement sur la pédale.

En 1922, à 19 ans Yves Rocard est reçu simultanément aux concours de l'École Polytechnique et de l'École Normale Supérieure de la rue d'Ulm. D'une famille de polytechniciens, Yves Rocard aurait pu entrer à l'X mais il a fait le choix de l'ENS estimant que cette école était une meilleure formation pour la recherche en Physique qui était sa passion. Il soutiendra une thèse de mathématiques sur *l'hydrodynamique et la théorie cinétique des gaz* en 1927 et une thèse de physique en 1928, sur *la diffusion de la lumière dans les liquides*. Dans cette dernière il modifiera une célèbre formule d'Einstein de 1905 qui devait permettre de calculer le nombre d'Avogadro qui était un sujet de recherche important de cette époque. Il démontre que la lumière agit sur les molécules du liquide qui se mettent à vibrer avec diffusion de photons avec un changement de fréquence. Rocard avait compris que ce phénomène était important mais il avait des difficultés expérimentales par manque de moyens. Notamment il travaillait avec des arcs électriques de faible puissance ce qui l'empêcha de mettre le phénomène en évidence. C'est pendant ces travaux qu'éclata comme un « coup de tonnerre » la découverte de l'effet Raman. Il écrira dans ses mémoires :

L'Inde est un pays fort ensoleillé pendant la majeure partie de l'année ; il était par conséquent tout à fait indiqué d'y faire des études de diffusion de la lumière, avec le Soleil comme source, pendant qu'en Europe on en était réduit à employer des arcs électriques qu'on essayait de rendre aussi puissants que l'on pouvait (Rocard, 1988).

Raman avait eu l'idée d'installer un spectromètre qui lui permit de détecter une raie nouvelle. C.V. Raman recevra le Prix Nobel de Physique en 1930 pour cette découverte. Rocard fut marqué par cet échec et tout au long de sa carrière il s'ingénia à obtenir des moyens expérimentaux de qualité pour ses élèves.



Figure 1.1. Yves Rocard au travail dans les années 1920 (DR).

I. OSCILLATIONS DES TRAINS, VOITURES ET AILES D'AVIONS

En 1933, un train tracté par une locomotive Mountain 241 déraille à Saint-Hélier sur la ligne Caen – Le havre en roulant à la vitesse nominale de 120 km/h. La vitesse n'étant pas la cause de l'accident, le directeur des Chemins de Fer de l'État, Raoul Dautry, pris contact avec Yves Rocard car ses services ne comprenaient pas la cause de la catastrophe. Rocard se rendit sur place et examina soigneusement les rails. Il nota que ceux-ci étaient déformés avec une forme sinusoïdale de

400 m de période. Il modélisa la locomotive avec son train de bogie à 4 essieux et détermina qu'elle subissait un phénomène de « pseudo-glisement ». Il calcula que la Mountain avait une vitesse critique de 120 km/h qui engendrait une forte oscillation sur les rails pouvant aboutir au déraillement. Après une étude soignée du phénomène, il préconisa de mettre des roues de forme conique à l'avant de la locomotive et des roues cylindriques à l'arrière. Ses calculs montraient que cette modification augmentait notablement la vitesse critique au-delà de 120 km/h. Mais cette proposition ne fut pas retenue car elle complexifiait la gestion des roues avec 2 types de roues différentes. Finalement, la décision fut prise de... limiter la vitesse des Mountain 241 à 100 km/h à la grande déception de Yves Rocard. Ces travaux firent l'objet de publications qui intéressèrent les soviétiques car leurs rails étant plus écartés, le phénomène se trouvait amplifié et des déraillements de train avaient dû avoir lieu en URSS.

Il fut également contacté par Citroën pour améliorer la stabilité des automobiles. Le problème était assez différent de celui des trains car les rails sont plats, sans bosse, donc les oscillations verticales sont minimales. Des expériences furent menées avec un pilote professionnel. Il s'agissait de faire passer une voiture sur un tronc d'arbre à différentes vitesses. Tout d'abord à 20 km/h, la voiture était bien secouée. Puis à 40 km/h, le choc était moindre. Rocard demande que l'on franchisse le tronc à 60 km/h ce qui inquiéta le pilote. Le résultat est que la caisse de la voiture n'a pratiquement pas bougé lors du franchissement du tronc. Rocard avait démontré que plus on va vite, moins l'obstacle est ressenti. Mais quand la voiture fut démontée et analysée, on vit que le choc l'avait beaucoup endommagée. Ces expériences ne furent jamais poursuivies.

En 1936, l'Armée de l'air fit appel aux compétences de Rocard pour de sérieux problèmes de vibrations sur ses avions de chasse. En effet, certains avions français avaient le grave défaut de perdre une aile lorsqu'ils attaquaient en piqué et atteignaient de grandes vitesses. Ce défaut catastrophique aboutissait

généralement à la mort du pilote. Il étudia particulièrement le cas des Morane 706 et 708². Il modélisa le phénomène en étudiant les fréquences propres de vibration de torsion et de flexion de l'aile. Il en conclut que si, par la force du vent sur l'aile, ces fréquences s'égalisent, l'aile peut voler en éclat par des vibrations excessives. Le Morane 706 pouvait ainsi piquer à la verticale jusqu'à 700 km/h mais si sa vitesse atteignait 750, les ailes se détruisaient. Il préconisa d'alourdir le bord d'attaque des ailes par exemple en y mettant du plomb (6-7 kg) ou en avançant les mitrailleuses afin de déplacer le centre de gravité vers l'avant. Mais ses recommandations arrivaient bien tard, car la guerre fut rapidement déclarée.

En 1928, peu après sa thèse, il est embauché à la société Radiotechnique et en prend la direction technique. Ce poste lui donnait une aisance financière par rapport à sa situation de préparateur temporaire au Collège de France. Ce passage dans l'industrie dura une dizaine d'années. Son activité consista à améliorer les lampes utilisées dans les postes radio. Ces lampes triodes avaient un chauffage direct qui provoquait un ronflement problématique. Il mit au point un système de lampe à chauffage indirect qu'il breveta. Ces lampes ont été fabriquées jusqu'en 1950, date de l'invention du transistor. Il inventa également une lampe pentode à grille qui fit l'objet d'un autre brevet. Mais la compagnie Radiotechnique refusa de la fabriquer prétextant des difficultés pratiques de réalisation.

Néanmoins, deux ans après le monde entier était inondé de telles lampes fabriquées en Amérique, et sous l'aiguillon de la concurrence, il fallut bien s'y mettre aussi (Rocard, 1988).

En 1938, Il obtient un poste de maître de conférences de physique à Clermont-Ferrand. Poste qu'il occupera pendant

2. On peut également citer les avions Bloch 131, Breguet 691, CAO 600, Caudron 710 et 714, Dewoitine 373 et 520, Latécoère 293 et 631, Loire 210, Morane 408 et Potez 220.