

# Préface

*En 1965, études terminées, mon activité professionnelle commence par l'analyse de circuits à tubes et semiconducteurs. Peu après le hasard m'oriente vers l'électronique de puissance, une discipline relativement nouvelle, quasi étrangère aux formations de l'époque (en ce temps-là on l'appelait plutôt l'électronique industrielle). Tout comme aujourd'hui, nous étions demandeurs des derniers dispositifs sortis sur le marché, malgré les risques d'une mise en œuvre loin d'être toujours évidente. Nous devions découvrir, et faire découvrir aux fabricants, des problèmes maintenant considérés comme résolus. De multiples difficultés, rencontrées avec les diodes rapides, les protections de Darlington, les ponts d'onduleur, l'interprétation des aires de commutation et bien d'autres sujets encore, nous laissèrent de nombreux "souvenirs".*

*A présent je réalise avoir traversé, pour diverses raisons, une longue période de régime de sous-information. Les discussions d'alors étaient principalement d'ordre technologique, et il faut apprécier l'aide apportée, pendant toutes ces années, par Daniel Pillon, l'un de nos collègues de la Télémécanique. Le message transmis ensuite par la formation interne de Jacques Arnould fut un déclic...et quel déclic. Ne plus considérer les dispositifs comme des boîtes noires, être très curieux, très prudent vis-à-vis des notices et de certaines affirmations commerciales parfois trop optimistes, devint alors une nécessité.*

*Ce cheminement favorisa la préparation d'un terrain réceptif. Lorsque les auteurs me proposèrent d'être le "correcteur-lecteur-critique" de leur manuscrit, j'acceptai avec plaisir, et ne regrette vraiment pas cette expérience (je reste même volontaire pour une suite ou un complément éventuel). Après ce travail de fourmi, il m'en reste une impression d'ensemble assez claire. L'approche ingénieur adoptée par cet ouvrage évite au praticien d'être complètement désarmé devant telle ou telle observation. Une façon d'aborder les problèmes est proposée. Les éléments de réponse correspondants deviennent disponibles (en se plongeant dans le paragraphe concerné et avec une certaine volonté évidemment ...). Le bénéfice de l'ensemble devrait être important pour ceux des lecteurs qui ne disposent pas d'autres possibilités d'éclaircissement.*

*Ainsi, bien que persuadé de ne jamais avoir à réaliser un dispositif de l'électronique de puissance, je ne m'imagine plus pouvoir faire maintenant mon*

*métier sans une bonne connaissance des principes de base qui les gouvernent. Cet ouvrage y contribue. Il est un lien entre le circuit et le catalogue ; il permet de comprendre ce qu'il y a derrière ce dernier, de voir sa face cachée, en un mot de découvrir ce qui n'y est pas dit, et ne peut y être dit. D'autres partageront certainement ce point de vue, et remercieront les rédacteurs pour l'information et l'aide directe apportées ici.*

**Alain GOUSSET**  
**Ingénieur d'études**  
TELEMECANIQUE  
**Division Variation de vitesse**  
**Rueil-Malmaison**

# Avant-propos

Les huit chapitres de cet ouvrage en deux volumes présentent une synthèse des expériences industrielles et pédagogiques acquises pendant une trentaine d'années par les auteurs. Le vécu industriel chez des fabricants de composants semiconducteurs de puissance tels Thomson, SSC, Fairchild, Schlumberger, Télémécanique constitue la base de connaissance de l'un des auteurs et le fonds de l'ouvrage.

Son origine rédactionnelle (physique du solide, principes de fonctionnement des dispositifs, technologie des semiconducteurs) se situe anciennement à l'Institut d'électronique fondamentale d'Orsay, puis plus récemment à l'ISIM. Le développement de l'aspect interaction entre composants et circuit s'est effectué principalement grâce aux apports de l'ESIM et de la société Télémécanique.

Venues soit de l'entreprise, soit de l'université, de nombreuses remarques ont enrichi cet ouvrage dont une grande part a été inspirée par D. Lafore (ESIM) et A. Gousset (Télémécanique). En outre, il nous faut remercier la société des électriciens et des électroniciens (SEE) qui en a encouragé la publication.

Réalisée à partir de la mise en œuvre astucieuse d'interrupteurs statiques, l'électronique de puissance (EP) est liée aux possibilités des composants actifs engendrés par le silicium ; ces composants s'appelleront ici *Dispositifs de l'électronique de puissance* (DEP).

Leurs technologies ressemblent, en de nombreux endroits, à celles de la microélectronique. A l'origine, il y eut un tronc commun ; désormais des spécificités significatives font que l'on ne peut plus, passé un certain niveau, faire de croisements entre ces deux filières.

Pour apprécier le rôle que jouent les DEP, il faut se pencher sur la place qu'ils occupent dans un équipement, ce qui n'est pas toujours simple. Vérifier qu'ils sont indispensables en les subtilisant est une épreuve peu démonstrative. De toute manière, il est évident que les progrès des DEP réagissent directement sur les équipements, alors que la réciproque est rarement vraie. Lorsque les premiers redresseurs annoncèrent il y a 35 ans, le début de "l'ère nouvelle" de l'électronique de puissance, avec des semiconducteurs pour base des interrupteurs, ces derniers en constituèrent systématiquement le goulot d'étranglement. La compétence doit donc croître simultanément dans les trois secteurs que sont les semiconducteurs, les

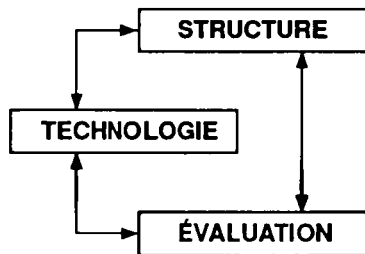
dispositifs de puissance et l'électronique de puissance, en sachant que le composant est le principal moteur de l'innovation.

Dans cet ouvrage nous avons voulu détailler les DEP de façon à pouvoir aider les électroniciens de puissance et peut-être aussi les concepteurs. Son but est d'en faire comprendre le plus simplement possible les mécanismes et de déterminer les causes de dysfonctionnements éventuels. Il ne faut plus que l'on soit surpris devant des comportements, mystérieux de prime abord, mais simples et justifiés une fois saisis quelques points de la physique des structures et du transfert des charges. Quelques souvenirs du niveau des équations différentielles du second ordre suffisent pour suivre le texte.

Etudiants, techniciens, ingénieurs, enseignants concernés par les DEP ou par les circuits de l'EP constituent le lectorat que l'on souhaite atteindre. On ne saurait trop dire que les meilleures conceptions d'équipement viennent de ceux qui en connaissent le mieux les composants élémentaires. Quant aux créateurs de DEP ils pourront y trouver des éléments de dialogue avec les hommes de circuit.

Volontairement il sera fait appel plus à l'intuition et au raisonnement physique d'une "modélisation douce" (cf. référence 1a) qu'à de longs développements mathématiques. Les esprits curieux trouveront dans les références proposées les conditions du bien-fondé des hypothèses avancées en 1.3. Les tableaux et figures sont prépondérants.

Les combinaisons entre dispositifs sont légions ; nous nous sommes limités aux plus courantes, comme l'amplification en cascade par des transistors (Darlington), ou par des thyristors (Darlistor pour SSC, *Amplifying gate* pour les Anglo-Saxons). Le but essentiel étant de comprendre les mécanismes comportementaux des DEP, nous avons élagué, au maximum, ce qui touchait aux détails technologiques trop fins — donc susceptibles de vieillir trop vite. Nous n'avons gardé que les grandes lignes, utilisables sur le "terrain" comme la dilatation, l'élévation de température, les points de fusion, les problèmes de diélectrique.



L'architecture du livre est simple, les titres des chapitres sont définis selon les "races" d'interrupteurs avec le silicium et la puissance comme facteurs communs. Ainsi dans le premier volume seront abordés les thèmes suivants : la charge, le métal et le silicium ; la diode redresseur puis le transistor à effet de champ. Dans le deuxième, ceux du transistor bipolaire, du thyristor et du transistor à grille bipolaire.

Dans le domaine de la technique des DEP, ce livre aimerait suivre les lignes directrices indiquées ci-dessous par Emilio Segré, physicien nucléaire, prix Nobel 1959 et historien des sciences physiques.

"La capacité d'apprentissage de l'homme est sensiblement constante alors que la quantité de matériel à apprendre augmente avec le temps à cause de la nature cumulative de la science, ce qui nous conduit à une impasse. Une solution au dilemme est une spécialisation croissante, mais elle a des inconvénients sérieux. Une autre solution consiste à trouver des descriptions et des méthodes pédagogiques plus synthétiques et d'une plus grande généralité. Cette dernière solution devrait permettre aux étudiants d'atteindre plus vite les frontières de la science, là où elle croît. Il n'y a pas de doute que ce type d'évolution dans l'enseignement et l'apprentissage représente un progrès, même si elle implique qu'on abandonne beaucoup de sujets superflus ou qu'ils migrent vers d'autres disciplines. L'arbre de la science a besoin d'être taillé, tout comme les vrais arbres."

Le nombre de personnes à remercier est si grand que nous avons préféré dresser une liste par initiales. Procédé peu commun certes, mais nos remerciements n'en sont pas moins vifs qui s'adressent aux personnes suivantes :

JAC, MA, DA, MA, MA, A, PME, ACB, DB, JB, NBG, PB, PB, PB, MB, RB, VB, JPB, DB, RB, CC, JCC, YC, JPC, RC, GC, JPC, JJC, PC, JCD, CD, FD, JPD, GD, D, EE, CF, DF, FF, HF, PF, AG, CG, KPG, PG, SG, JPG, JPG, RG, G, GG, PH, PH, EH, JCH, RH, ZK, DL, BL, PL, JML, L, JL, HM, PM, PM, PMEM, JM, JM, JM, BM, AM, HM, JPM, JPN, JN, BP, JFPE, RP, JPP, RP, DP, JPP, JMP, APL, P, JBQ, YR, AR, PR, PR, KR, JR, JPR, AS, CS, BMS, MS, MS, DS, JCS, JCS, JMS, S, JT, ET, AV, BV, JCZ, PZ ...