

Une (brève) histoire de l'électronique

Du tube audion à l'intelligence artificielle (1904-2022)

par Henri Lilen

3^e édition mise à jour et enrichie (janvier 2023)

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| L'auteur, Henri Lilen..... | 3 |
| Présentation d'Alain Prévot pour les éditions Adapt-Snes..... | 4 |
| Préface de Roland Moreno, inventeur de la carte à puce (1^oédition)..... | 5 |
| Avant-propos de l'auteur..... | 7 |
| Table des matières..... | 8 |
| Partie I Naissance de l'électronique..... | 17 |
| Chapitre 1 – Les précurseurs..... | 19 |
| Une définition de l'électronique..... | 19 |
| Électricité statique et magnétisme..... | 19 |
| Vingt siècles de traque de l'électron..... | 21 |
| James Clerk Maxwell et ses célèbres équations..... | 22 |
| Hittorf découvre les rayons cathodiques..... | 23 |
| Crookes propose l'état radiant..... | 23 |
| Joseph John Thomson définit l'électron..... | 24 |
| L'histoire du binaire..... | 25 |
| Chapitre 2 – L'épopée de la radio..... | 27 |
| L'éclateur de Hertz..... | 27 |
| Le cohéreur de Branly..... | 29 |
| Sir Oliver Lodge améliore le cohéreur..... | 31 |
| Nikola Tesla invente le circuit accordé antenne-terre..... | 32 |
| Le Russe Popov effectue la première liaison radio du monde..... | 33 |
| Guglielmo Marconi, promoteur de la radio..... | 35 |
| Reginald Fessenden, premier physicien à transmettre la voix..... | 37 |
| Emil Berliner, l'inventeur du microphone et du téléphone..... | 38 |
| Antonio Meucci et Philippe Reiss..... | 38 |
| Les expériences de Ducretet sauvent la tour Eiffel..... | 40 |
| Chapitre 3 – Invention du tube diode..... | 43 |
| L'effet Edison..... | 43 |
| Lampe électrique à incandescence..... | 44 |

| | |
|---|-----------|
| La diode de Fleming..... | 45 |
| Un tube à deux électrodes..... | 46 |
| Chapitre 4 – Invention du tube triode..... | 49 |
| Invention de l'Audion..... | 49 |
| Lee De Forest, pionnier de la radiodiffusion..... | 51 |
| Redresseur, amplificateur, modulateur et oscillateur..... | 52 |
| Valdemar Poulsen et son émetteur à arc..... | 53 |
| Irving Langmuir améliore la triode avec le plotron..... | 53 |
| Henri Abraham fonde l'industrie française des tubes radio..... | 54 |
| Abraham et Bloch inventent le multivibrateur..... | 55 |
| Le flip-flop, ou montage bistable d'Eccles-Jordan..... | 55 |
| Évolution des tubes radio..... | 56 |
| Tubes à cathode froide..... | 58 |
| Chapitre 5 – L'environnement des composants passifs..... | 59 |
| Classement des composants électroniques..... | 59 |
| Les résistances..... | 59 |
| Ferrites..... | 62 |
| Condensateurs..... | 63 |
| Condensateurs variables..... | 65 |
| Haut-parleurs..... | 65 |
| Du microphone à charbon au microphone à électret..... | 66 |
| Partie II L'ère des semi-conducteurs..... | 69 |
| Chapitre 6 - Préhistoire des semi-conducteurs..... | 71 |
| La surprenante découverte de la photosensibilité du sélénium..... | 71 |
| La galène et le poste de radio à détecteur à galène..... | 72 |
| Un précurseur génial : Julius Edgar Lilienfeld..... | 74 |
| La traque des semi-conducteurs..... | 75 |
| La marche forcée vers les matériaux ultrapurs..... | 75 |
| Chapitre 7 – Invention du transistor..... | 79 |
| Bardeen, Brattain et Shockley aux Bell Laboratories..... | 79 |
| Le transistor à pointes..... | 82 |
| Le transistor bipolaire à jonction..... | 83 |
| Le transistor, le transistor français qui a raté le coche..... | 83 |
| Le CNET et le technetron..... | 88 |
| Chapitre 8 – Diodes et transistors..... | 89 |
| Transistors bipolaires et à effet de champ..... | 89 |
| Le transistor MOS..... | 89 |
| Variantes des MOS..... | 91 |
| MOS complémentaires (CMOS)..... | 91 |
| Transistors unijonction (UJT)..... | 92 |
| En quête de miniaturisation..... | 92 |
| La famille des diodes..... | 92 |
| Photodiodes et phototransistors..... | 94 |
| Thyristors et triacs..... | 94 |
| Composants et capteurs à effet Hall..... | 95 |
| Les puces..... | 96 |

| | |
|---|------------|
| Chapitre 9 – Naissance du circuit intégré..... | 97 |
| Jack Kilby invente l'intégration..... | 97 |
| Naissance de Fairchild..... | 98 |
| Robert (Bob) Noyce invente le procédé planar..... | 101 |
| Les tranches de silicium (wafers)..... | 102 |
| Chapitre 10 – Familles de circuits intégrés..... | 103 |
| Familles bipolaires..... | 103 |
| Familles MOS..... | 104 |
| Variantes FET et mixte bipolaire–CMOS..... | 106 |
| Circuits intégrés linéaires..... | 106 |
| Capteurs CCD à transfert de charge..... | 107 |
| Circuits TFT sur film mince..... | 109 |
| Circuits intégrés configurables et ASIC..... | 109 |
| Un compromis, les circuits hybrides..... | 111 |
| Chapitre 11 - Le fabuleux microprocesseur..... | 115 |
| Les débuts d'Intel..... | 115 |
| La loi de Moore..... | 115 |
| Busicom et les origines du microprocesseur..... | 117 |
| Le 4004, un petit 4 bits mais un grand pas pour l'humanité..... | 118 |
| Premier microprocesseur ou premier microcontrôleur ?..... | 118 |
| Les premiers microprocesseurs 8 bits..... | 118 |
| Des microprocesseurs 8 bits aux 16, 32 et 64 bits..... | 119 |
| La naissance de la compétition..... | 121 |
| Motorola..... | 121 |
| MOS Technology..... | 121 |
| Zilog et le Z80..... | 122 |
| AMD, principal concurrent d'Intel..... | 122 |
| L'architecture ARM..... | 122 |
| La meilleure architecture historique : Intel ou Motorola ?..... | 123 |
| Architectures CISC et RISC..... | 124 |
| Quand la politique s'en mêle..... | 125 |
| L'impossible défi de la garantie du bon fonctionnement..... | 126 |
| Chapitre 12 – Affichages numériques..... | 129 |
| Afficheurs pour le comptage..... | 129 |
| Afficheurs et écrans à cristaux liquides LCD..... | 130 |
| Affichages à diodes électroluminescentes (LED)..... | 131 |
| Les Amoled, ou LED organiques..... | 133 |
| Affichage plasma..... | 134 |
| Partie III Radio, télévision et applications grand public..... | 135 |
| Chapitre 13 – L'histoire des récepteurs radio..... | 137 |
| Grandes ondes, petites ondes et ondes courtes..... | 137 |
| L'amplification directe : le plus simple..... | 137 |
| La détection à réaction pour accroître la sensibilité..... | 138 |
| Le montage hétérodyne pour améliorer la sélectivité..... | 138 |
| Des jeux de tubes pour les nostalgiques..... | 140 |
| La contre-réaction pour améliorer la musicalité..... | 140 |
| Le contrôle automatique du volume pour réduire les fluctuations..... | 141 |
| Les postes de radio à transistors, ou transistors..... | 141 |

| | |
|---|-----|
| La modulation de fréquence pour une plus grande fidélité..... | 142 |
| Portables et autoradios..... | 142 |
| La stéréophonie..... | 142 |
| Eugène Aisberg, un vulgarisateur de génie..... | 143 |

Chapitre 14 – La télévision, une révolution culturelle.....145

| | |
|---|-----|
| Le mot télévision..... | 145 |
| Les précurseurs : le pantélégraphe de Caselli..... | 146 |
| Belin met au point le bélinographe..... | 146 |
| Senlecq imagine une analyse point par point..... | 146 |
| Le disque de Nipkow..... | 147 |
| Premières émissions expérimentales de Baird..... | 147 |
| Naissance du tube à rayons cathodiques..... | 149 |
| Boris Rosing et le tube-images..... | 149 |
| Vladimir Zworykin invente l'iconscope..... | 149 |
| Farnsworth invente l'image dissector..... | 151 |
| La famille des analyseurs d'image..... | 151 |
| La télévision en France..... | 152 |
| L'antenne Yagi..... | 152 |
| La télévision couleur..... | 153 |
| Les tubes image de réception avant les écrans plats..... | 154 |
| TNT et TVHD..... | 156 |
| Projection sur grand écran par vidéoprojecteur à LCD..... | 157 |
| La technologie DMD/DLP de Texas pour projection..... | 157 |
| Téléviseurs à écran plat, incurvé et UHD..... | 157 |
| Les évolutions de la télévision jusqu'au relief..... | 158 |

Chapitre 15 – Applications grand public.....159

| | |
|---------------------------------------|-----|
| Les calculatrices de poche..... | 159 |
| La montre électronique..... | 160 |
| Les jeux vidéo..... | 162 |
| Caméscopes..... | 164 |
| Appareils photo numériques (APN)..... | 165 |
| Le Walkman Sony (baladeur)..... | 165 |
| L'électroménager..... | 166 |
| La plaque de cuisson à induction..... | 166 |
| Le livre numérique..... | 166 |

Partie IV La révolution informatique.....169

Chapitre 16 – Naissance de l'informatique.....171

| | |
|---|-----|
| Préhistoire du calcul..... | 171 |
| Premières machines arithmétiques..... | 172 |
| Naissance d'IBM et de Bull..... | 174 |
| La CII et le plan français Calcul..... | 174 |
| Les théoriciens de l'informatique..... | 175 |
| L'ENIAC, première calculatrice à lampes..... | 177 |
| Le concept de programme enregistré de Von Neumann..... | 178 |
| Une femme, Grace Murray Hopper, invente le compilateur..... | 179 |
| Quatre générations historiques d'ordinateurs..... | 179 |
| L'exemple des mini-ordinateurs..... | 180 |
| Ces minis français qui ont précédé les micros..... | 181 |

| | |
|--|------------|
| Chapitre 17 – Le premier micro-ordinateur du monde..... | 183 |
| André Truong crée la R2E..... | 183 |
| François Gernelle, l'inventeur du micro-ordinateur..... | 186 |
| Les débuts du Micral..... | 188 |
| Le premier portable a aussi été créé par R2E..... | 188 |
| La fin de R2E..... | 189 |
| Les inventeurs ont-ils été distingués ?..... | 191 |
| Un immense échec industriel et économique..... | 191 |
| Chapitre 18 – La micro-informatique populaire..... | 193 |
| Le premier américain : l'Altair de MITS..... | 193 |
| Imsai suit à son tour..... | 194 |
| Apple démarre à son tour..... | 194 |
| Commodore et Tandy démarrent avec Apple..... | 197 |
| Le raz de marée du ZX81 de Sinclair, ou la micro à bas prix..... | 200 |
| Atari et les premiers jeux vidéo (Pong)..... | 201 |
| Thomson et les MO-5 et TO-7..... | 201 |
| Autres machines pour débutants..... | 202 |
| L'irruption d'IBM marque le début d'une nouvelle ère..... | 202 |
| Le PC, une machine standard portant la griffe IBM..... | 203 |
| Naissance des clones compatibles PC..... | 204 |
| La percée de l'Amiga..... | 208 |
| Le succès temporaire de l'anglais Amstrad..... | 209 |
| Quelques autres Français sur le marché des compatibles..... | 209 |
| Superordinateurs..... | 209 |
| Et demain, l'ordinateur quantique ?..... | 209 |
| Chapitre 19 – Ces programmes qui ont présidé au succès de la micro..... | 213 |
| Gary Kildall, inventeur du CP/M et du BIOS..... | 213 |
| Le MS-DOS..... | 214 |
| Bill Gates, longtemps l'homme le plus riche du monde..... | 214 |
| Le DOS, et puis Windows..... | 215 |
| Bureautique..... | 217 |
| Un nouveau venu, Borland, bat Microsoft sur les langages..... | 219 |
| Autres domaines..... | 219 |
| Chapitre 20 – Mémoires mécaniques, magnétiques et optiques..... | 221 |
| Le télégraphone de Poulsen..... | 221 |
| Le blattnerphone..... | 222 |
| Naissance de la bande magnétique..... | 222 |
| Du magnétophone à la cassette magnétique..... | 223 |
| La bande magnétique en informatique..... | 223 |
| Cartouches magnétiques..... | 224 |
| Tambours magnétiques..... | 224 |
| Disques magnétiques..... | 225 |
| Disques durs Winchester..... | 225 |
| Disquettes..... | 226 |
| Mémoires optiques : CD, DVD et Blu-Ray..... | 226 |
| Chapitre 21 - Mémoires électroniques..... | 229 |
| Mémoires à tores de ferrite..... | 229 |
| Mémoires à circuits intégrés..... | 230 |
| La clé USB et les cartes miniatures..... | 234 |

| | |
|---|-----|
| Les SSD, des substituts aux disques durs..... | 234 |
| Flash V-Nand 3D..... | 235 |
| L'invention de la carte à puce..... | 235 |
| Le génial Roland Moreno..... | 238 |
| Mémoires à bulles magnétiques..... | 238 |
| Mémoires à verre semi-conducteur..... | 239 |
| Les futures mémoires intégrées..... | 239 |
| L'ADN, support idéal de l'information ?..... | 240 |

Partie V Applications professionnelles et industrielles de l'électronique.....241

Chapitre 22 – Hyperfréquences et radars.....243

| | |
|---|-----|
| La révélation des hyperfréquences..... | 243 |
| Les précurseurs du radar..... | 243 |
| Les premiers radars..... | 244 |
| Le tube de puissance thyatron..... | 246 |
| L'oscillateur magnétron..... | 247 |
| Le tube à modulation de vitesse klystron..... | 247 |
| Tubes à ondes progressives..... | 248 |
| Radars Doppler..... | 248 |
| Lidars..... | 248 |
| Applications des radars..... | 249 |
| Fours à micro-ondes..... | 249 |

Chapitre 23 - Sonar et ultrasons.....251

| | |
|---|-----|
| Les précurseurs..... | 251 |
| Le quartz en électronique..... | 253 |
| Mise au point du sonar..... | 253 |
| Sonar à balayage latéral..... | 253 |
| Applications industrielles des ultrasons..... | 255 |

Chapitre 24 - Microscopie électronique.....257

| | |
|---|-----|
| Du microscope optique au microscope électronique..... | 257 |
| Microscope électronique en transmission..... | 257 |
| Microscope électronique à balayage..... | 259 |
| Microscope à effet tunnel..... | 259 |
| Cryomicroscopie électronique en transmission..... | 260 |
| Microscope à effet de force atomique..... | 260 |

Chapitre 25 - Nanotechnologies.....261

| | |
|--|-----|
| La vision de Richard Feynman..... | 261 |
| Les nanotubes..... | 262 |
| Sources lumineuses moléculaires à nanotubes..... | 263 |
| Nanomoteurs et accélérateurs MEMS..... | 263 |
| Les transistors de demain..... | 264 |
| Les mémoires de masse de demain..... | 266 |

Chapitre 26 – L'extraordinaire laser.....267

| | |
|--|-----|
| Maser et laser..... | 267 |
| Naissance du maser..... | 267 |
| Maiman produit un laser fonctionnel..... | 268 |
| La collection des lasers..... | 268 |

| | |
|--|------------|
| Diodes laser..... | 268 |
| Lasers à colorant..... | 269 |
| Applications du laser..... | 269 |
| Les hologrammes..... | 272 |
| Applications des hologrammes..... | 273 |
| L'imprimante laser..... | 273 |
| La stupéfiante impression 3D..... | 274 |
| Chapitre 27 - Automatismes et robotique..... | 277 |
| Comment est né le robot..... | 277 |
| Premiers automatismes et premiers robots..... | 278 |
| De Shakey, premier robot mobile, au chien Aibo de Sony..... | 279 |
| Commandes numériques..... | 281 |
| Robots industriels..... | 281 |
| Robots filoguidés..... | 282 |
| Identification radio avec la RFID..... | 282 |
| Les robots domestiques..... | 283 |
| Robots sexuels..... | 284 |
| La Chine entend devenir leader en robotique..... | 284 |
| Chapitre 28 - Mesure et instrumentation..... | 285 |
| Naissance d'une industrie : Hewlett-Packard et son générateur audio..... | 285 |
| Mesure des grandeurs électriques..... | 286 |
| Le pont de Wheatstone..... | 287 |
| Mesure des très faibles courants..... | 287 |
| Les oscilloscopes..... | 288 |
| Capteurs de pression et de contraintes..... | 289 |
| Mesure des débits..... | 289 |
| Capteurs intégrés..... | 291 |
| Systèmes microélectromécaniques MEMS..... | 292 |
| Chapitre 29 - Reconnaissance et synthèse de la parole..... | 295 |
| Applications du traitement de la parole..... | 295 |
| Reconnaissance de la parole..... | 295 |
| Synthèse de la parole..... | 296 |
| Serveurs vocaux..... | 297 |
| Martine Kempf et le Katalavox d'aide aux handicapés..... | 297 |
| Enceintes connectées..... | 299 |
| Chapitre 30 – Supraconductivité - Thermoélectricité..... | 301 |
| À la recherche d'une résistance nulle..... | 301 |
| L'effet Josephson..... | 303 |
| Applications des supraconducteurs..... | 304 |
| La thermoélectricité..... | 305 |
| Effet Peltier..... | 305 |
| Effet Seebeck..... | 305 |
| Chapitre 31 – Énergies renouvelables..... | 307 |
| Découverte de l'effet photovoltaïque..... | 307 |
| L'avion solaire..... | 309 |
| Éoliennes..... | 309 |
| Hydrogène et piles à combustible..... | 310 |
| Chapitre 32 – Médecine et chirurgie..... | 313 |

| | |
|---|------------|
| Les précurseurs..... | 313 |
| Électrocardiographie..... | 313 |
| Électroencéphalographie..... | 314 |
| Le compteur de Geiger-Müller en médecine..... | 314 |
| Stimulateurs cardiaques..... | 315 |
| Défibrillateurs..... | 315 |
| Correction de la vision..... | 316 |
| Imagerie médicale à rayons X..... | 316 |
| Échographie par ultrasons..... | 317 |
| Imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM)..... | 319 |
| Spectroscopie par résonance magnétique (SRM)..... | 319 |
| Tomographie à émission de positon..... | 320 |
| La biométrie..... | 320 |
| La chirurgie mini-invasive endoscopique..... | 321 |
| Les robots à l'hôpital..... | 321 |
| Le robot chirurgien..... | 321 |
| Nanoparticules contre le cancer..... | 322 |
| L'intelligence artificielle et le diagnostic..... | 322 |
| Chapitre 33 – Véhicules autonomes..... | 323 |
| L'alternateur et ses diodes..... | 323 |
| Injection électronique..... | 323 |
| Allumage électronique..... | 324 |
| Freinage et tenue de route..... | 324 |
| Suspension active..... | 324 |
| Éclairage et affichage..... | 324 |
| Contrôle de la distance de sécurité et l'anticollision..... | 324 |
| Limiteur et régulateur de vitesse..... | 325 |
| Surveillance de la pression des pneus..... | 325 |
| Ouverture des portes et démarrage automatiques..... | 325 |
| Direction électronique..... | 325 |
| L'aide à la navigation, GPS et Galileo..... | 325 |
| La voiture électrique..... | 326 |
| Le centre de contrôle : le microprocesseur..... | 326 |
| La voiture autonome..... | 326 |
| Le métro autonome..... | 327 |
| Le train autonome..... | 328 |
| Chapitre 34 - Guerre électronique..... | 329 |
| Applications du laser..... | 329 |
| Radars militaires..... | 330 |
| Fantassins robots..... | 331 |
| La guerre assistée par ordinateur..... | 331 |
| La bombe électromagnétique (bombe E)..... | 331 |
| Espionnage électronique : le système Echelon..... | 332 |
| Espionnage et attaques par Internet..... | 333 |
| Chapitre 35 – Internet..... | 335 |
| Internet, le réseau des réseaux..... | 335 |
| Le premier e-mail et le courrier électronique..... | 336 |
| Le protocole TCP/IP..... | 336 |
| Le Web est inventé au CERN..... | 337 |
| La messagerie instantanée..... | 337 |

| | |
|--|------------|
| Les fournisseurs d'accès Internet et leurs offres..... | 338 |
| Virus et malwares..... | 338 |
| Hackers et cybercriminels..... | 338 |
| Pegasus, l'espion des smartphones..... | 339 |
| Les cryptomonnaies..... | 339 |
| La 5G..... | 339 |
| La visioconférence à l'ordre du jour avec le Covid..... | 340 |
| La stéganographie, art de la dissimulation..... | 340 |
| Le darkweb ou la face cachée d'Internet..... | 341 |
| L'internet quantique..... | 341 |
| Législation européenne : DSA et DMA..... | 342 |
| Chapitre 36 – Télécommunications mobiles..... | 343 |
| Le Wi-Fi..... | 343 |
| Les assistants personnels (PDA)..... | 343 |
| Téléphonie sans fil..... | 344 |
| Les smartphones..... | 345 |
| SMS et MMS..... | 345 |
| Bluetooth pour faire communiquer sans fil des appareils proches..... | 346 |
| La NFC..... | 346 |
| Chapitre 37 - La conquête de l'espace..... | 347 |
| Les précurseurs..... | 347 |
| Jansky fonde la radioastronomie..... | 348 |
| Spoutnik et Explorer..... | 348 |
| Les Terriens dans l'espace..... | 349 |
| La conquête de la Lune..... | 350 |
| La station orbitale..... | 351 |
| La navette spatiale..... | 351 |
| Le vaisseau spatial autonome..... | 351 |
| Les femmes dans l'espace..... | 352 |
| SpaceX et l'ambitieux Elon Musk..... | 352 |
| La Chine, puissance spatiale..... | 353 |
| Le GPS..... | 354 |
| Le système de positionnement européen Galileo..... | 354 |
| Une nouvelle science, la météo de l'espace..... | 355 |
| Le tourisme spatial..... | 355 |
| La propulsion ionique..... | 356 |
| Chapitre 38 – L'intelligence artificielle (IA)..... | 359 |
| Une histoire d'algorithmes..... | 359 |
| Le processeur neuronal..... | 360 |
| Le <i>cloud computing</i> , ou l'informatique en nuage..... | 360 |
| Big data et data centers..... | 361 |
| <i>Deep learning</i> et <i>machine learning</i> | 362 |
| L'extraordinaire réalité virtuelle..... | 362 |
| Réalité augmentée et réalité mixte..... | 363 |
| L'inquiétante reconnaissance faciale..... | 364 |
| Supermarchés sans caisses..... | 364 |
| GAFAM, BATX, start-up et licornes..... | 365 |
| Le métavers..... | 366 |
| Les NFT, jetons non fongibles..... | 367 |
| L'intelligence artificielle et ChatGPT..... | 367 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| Bibliographie..... | 369 |
| Index des noms cités..... | 371 |
| Remerciements..... | 376 |
| Iconographie..... | 377 |

Dépôt légal janvier 2023

éditions ADAPT-SNES
46 avenue d'Ivry – 75013 – Paris
<https://www.adapt.snes.edu>

ISBN 978-2-35656-079-7



9 782356 560797 >