

HENRI ATLAN

L'organisation
biologique

et la théorie
de l'information

17



HERMANN

Table

Préface ix

Avant-propos xix

I. ÉLÉMENTS DE THÉORIE DE L'INFORMATION

Historique 5

1. Définition de la quantité d'information. Formule de Shannon 7

Quantité d'information d'un événement 7

Ensembles d'événements équiprobables. Ensembles d'événements à probabilités différentes

Quantité d'information d'un message 11

Cas de l'alphabet à deux symboles; définition de l'unité bit 13

Propriétés de la fonction H de Shannon 15

Indépendance. Continuité. Additivité. Échelle naturelle. Effets du remplacement de plusieurs probabilités par leur moyenne. Effets de la réunion de plusieurs catégories

Information et signification 18

Information transmise et quantité d'information 20

2. Problèmes de codage. Théorème de la voie sans bruit 22

Fréquences des symboles puissances entières de $\frac{1}{2}$. Équiprobabilité 23

Fréquences des symboles puissances entières de $\frac{1}{2}$. Non équiprobabilité 24

Fréquences quelconques. Équiprobabilité 28

Fréquences quelconques. Non équiprobabilité 29

Démonstration du théorème 30

Information et représentabilité 31

3. Transmission de l'information dans une voie avec bruit 32

Probabilités conditionnelles 33

Quantité d'information concernant deux variables non indépendantes 33

Grandeurs caractéristiques d'une voie de communication 38

Communication. Bruit. Ambiguïté 38

4. Théorème de la voie avec bruit 41

Capacité d'une voie. Énoncé du théorème 41

Redondance d'un message 42

Redondance et équivocation 44

Théorème de la voie avec bruit 44

Codes (n, k). Démonstration du théorème

TABLE

Probabilité d'erreur de transmission dans une voie de capacité C où un code (n, k) correcteur d'erreurs est utilisé 51
Expressions qualitatives du théorème de la voie avec bruit 52
Analogie avec le deuxième principe de la thermodynamique. Théorie de la régulation et loi de la variété indispensable. Notion de complexité.
Fonction H de messages d'une source dont les émissions de symboles successifs ne sont pas indépendantes 59
Chaînes de Markov. Redondance d'un message d'après Shannon.

II. APPLICATIONS BIOLOGIQUES

5. Quantité d'information des organismes vivants 65

Méthode de Dancoff et Quastler 65
Organisme décrit en termes d'atomes. Organisme décrit en termes de molécules. Quantité d'information de la cellule œuf. Quantité d'information du génome tirée de l'analyse génétique.
Quantité d'information d'une cellule bactérienne. Méthode de Morowitz 70

6. Information génétique 74

Le code génétique 75
Redondance des ADN 79
« Quantité d'information stockée » d'après Gatlin. Rôle de la redondance des ADN dans la différenciation cellulaire et les mécanismes de l'évolution. Modèle de Britten et Davidson. Remarques sur la redondance des ADN.

7. Théories du vieillissement 96

Effets de l'accumulation d'erreurs dans une voie simple 99
Représentation d'une population d'organismes par une distribution de probabilités sur différentes valeurs de $H(\lambda)$. Courbe de survie.
Généralisation et intégration de $H(\lambda)$. Application à une théorie de la mortalité et du vieillissement 105
Courbes de mortalité naturelle. Théorie de Mildvan-Strehler.
Vieillessement par épuisement d'une redondance initiale 113

8. Problèmes de neurocybernétique 115

Problèmes des codes nerveux 116
Quantité d'information maximum transmise par une connexion nerveuse. Discussion sur les calculs d'information dans le système nerveux.
La méthode des modèles. Automates naturels et artificiels 125
Automates fiables à partir de composants non fiables. Théories de Von Neumann et de Winograd-Cowan 129
Modèle de Mac Culloch-Pitts. Automates fiables à partir de composants non fiables. Solution de Von Neumann. Réseaux redondants et redondance dans la théorie de l'information. Réseaux redondants de Winograd-Cowan. Extension de la théorie des communications aux systèmes de traitement de l'information.

Machines qui apprennent à reconnaître les formes	155
<i>Fonctions de décision. Le perceptron. L'informon.</i>	
Structure et aléatoire	163
Apprentissage adaptatif et fiabilité	166

9. Théorie de l'information et thermodynamique 171

Définition statistique de l'entropie	171
Entropie et information	173
<i>Le deuxième principe de la thermodynamique. Le principe de néguentropie de l'information. Le démon de Maxwell et autres paradoxes. Thermodynamique comme développement de la théorie de l'information. Conséquences possibles en biologie. Nature physique de l'information dans les systèmes hiérarchisés. L'organisation comme transformation d'information en néguentropie. Protéines et démons de Maxwell. Problèmes de signe et d'unités dans la relation entropie-information.</i>	
Thermodynamique des phénomènes irréversibles	202
<i>États d'équilibre et états stationnaires. Bilan entropique. Rôle du taux de production d'entropie en thermodynamique des phénomènes irréversibles. Les structures dissipatives.</i>	
Taux de production d'information dans les systèmes organisés	210

III. L'ORGANISATION

10. Essais de définition de l'organisation biologique 217

Définitions qualitatives	219
<i>Théorie de l'autoassemblage programmé. Théorie des réseaux neuronaux. La hiérarchie des « intégrons » et la « logique du vivant ». L'apprentissage comme assimilation. Hasard organisationnel.</i>	
Information et organisation	231
<i>La fonction H de Shannon. Écart par rapport à l'équilibre. La redondance comme mesure de l'ordre et de l'organisation. Approche opérationnelle. Organisation et lois physiques. Principe de transfert d'ordre et structures hiérarchisées. Théorème de la voie avec bruit et mécanique quantique.</i>	
Les systèmes auto-organiseurs	242
<i>Première approche: accroissement d'ordre par accroissement de redondance. Deuxième approche: principe d'ordre à partir de bruit. Les petits aimants de Von Foerster. Autres analogies. Impossibilité logique d'une auto-organisation dans un système fermé. Essais de formulation mathématique. Généralisation: théorie de l'organisation par diminution de redondance sous l'effet des facteurs de bruit. Organisation des organismes vivants par rapport aux autres types d'organisation. Application à une logique de l'évolution. Le néodarwinisme et le principe d'ordre à partir de bruit. Auto-organisation et reproduction invariante. Morts ou vifs?</i>	
Bibliographie	285
Index	297