Futura - Les fascinants turbocodes

Les turbocodes ont permis d'améliorer considérablement le pouvoir de correction d'un code. Exploitant des concepts innovants, ils ont d'abord connu une période de scepticisme au sein de la communauté de la théorie de l'information avant d'être adoptés et de connaître des applications commerciales.

Les principes des turbocodes ont permis à des chercheurs français de l'École nationale supérieure des télécommunications de Bretagne, à Brest, en France, d'obtenir des performances très proches de la limite théorique, prédite en 1948 par le mathématicien américain Claude Shannon. Parmi les résultats présentés par Shannon, celui-ci est particulièrement étonnant : « Dans une transmission numérique en présence de perturbation, si le niveau moyen de celle-ci ne dépasse pas un certain seuil et en utilisant un codage approprié, le récepteur peut identifier le message d'origine sans aucune erreur. »

Le résultat théorique établi par Shannon a constitué pour des milliers de chercheurs et d'ingénieurs un défi scientifique majeur car l'enjeu économique est considérable. Améliorer le pouvoir de correction d'un code, c'est, à même qualité d'information reçue (par exemple, pas plus d'une information binaire fausse sur 10.000 reçues en téléphonie numérique), permettre au système de transmission de fonctionner dans des conditions plus sévères. Il est alors possible de réduire la taille des antennes, le poids des batteries d'alimentation ou l'encombrement des panneaux solaires. Dans les systèmes spatiaux (satellites, sondes...), l'économie peut se chiffrer en dizaines de millions de dollars, car le poids des équipements et la puissance du lanceur s'en trouvent notablement réduits.

## **Codage convolutif:**

Le codage correcteur d'erreurs a été, jusqu'à ces dernières années, une affaire plutôt américaine. Une contribution majeure fut celle de Peter Elias qui introduisit le codage convolutif (1954), c'est-à-dire l'art et la manière de rendre un message binaire redondant de façon subtile. Le plus simple des procédés de codage consisterait à transmettre deux fois le même message, mais cela ne permet pas de corriger les erreurs ; cela les détecte simplement.

Supposons par exemple que l'on veuille transmettre « matin » et qu'après la double transmission, le récepteur comprenne la première fois « matin » et l'autre fois « satin ». Il y a de toute évidence une erreur quelque part, mais est-ce « matin » ou « satin » que le récepteur doit retenir ? Un codage plus élaboré consiste à transmettre le message original accompagné d'un synonyme : « matin » et « aube » par exemple. Si l'on reçoit « tatin » et « aube », ou « matin » et « auge », la correction est possible. C'est cette construction de synonymes, sous une forme binaire, que réalise le codage convolutif.

## **Invention des turbocodes:**

L'invention des turbocodes ne découle pas d'une théorie linéaire et limpide, encore moins d'un beau développement mathématique. Elle est le fruit d'un long tâtonnement dont l'origine est à trouver dans les intuitions et les travaux de quelques chercheurs européens : Gérard Battail (France), Joachim Hagenauer et Peter Hoeher (Allemagne) qui, à la fin des années 1980, annonçaient les promesses du traitement probabiliste (le traitement probabiliste associe aux valeurs binaires « 0 » et « 1 » des poids de vraisemblance qui sont mis à jour tout au long des différents traitements dans le récepteur, jusqu'à la décision finale) dans les systèmes de communications. D'autres auparavant, notamment aux États-Unis : Michael Tanner, Robert Gallager... avaient imaginé plus tôt des procédés de codage et de décodage précurseurs des turbocodes.

La mise au point des turbocodes passa par de nombreuses étapes, très pragmatiques et souvent peu conformes aux dogmes du codage, et aussi par l'introduction de néologismes, tels que « concaténation parallèle » ou « information extrinsèque », aujourd'hui intégrés dans le jargon international de la théorie de l'information.

Après une période de profond scepticisme dans la communauté de la théorie de l'information, par suite des annonces en 1993 des performances obtenues par les turbocodes (International Conference on Communications, Genève), ceux-ci furent adoptés par le CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems), comité de normalisation pour les agences spatiales mondiales (ESA, Nasa...).

La première mission européenne avec turbocode fut la sonde Smart 1. Rapidement, d'autres comités de normalisation ont intégré le turbocodage dans les standards de troisième génération de systèmes de communication : l'UMTS, en Europe, ou le CDMA2000, aux États-Unis et en Asie, sont des exemples connus d'applications commerciales. D'autres systèmes avec turbocode (Inmarsat, Eutelsat, DVB-RCS, DVB-RCT, BRAN, IEEE 802.16, enregistrement magnétique...) sont d'ores et déjà normalisés ou en cours de spécification.

## **Vocabulaire:**

perturbation, n.f – smetnja

seuil, n.m – prag

encombrement, n.m – zakrčivanje

redondant, a – izlišan, redundantan

limpide, adj – bistar, jasan

découler, v – proizilaziti

tâtonnement, n.f - pokušaj i greška (slobodan prevod)

vraisemblance, n.f – verovatnost