

Chapitre 2 : Le filtrage numérique

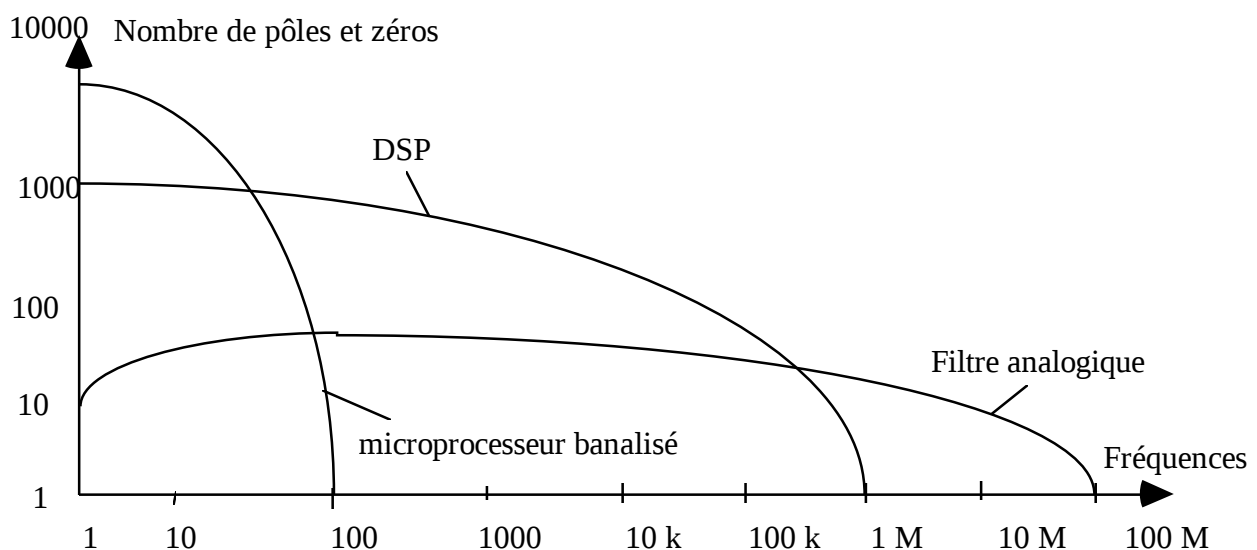
L'appellation de filtrage fait penser aux opérations qui sont effectuées dans le domaine analogique. Si l'on compare les filtres analogiques et numériques, on peut observer des analogies et des différences :

- Analogie de **comportement** : c'est par analogie avec les filtres analogiques que l'on conçoit les filtres numériques et c'est à leurs réponses en amplitude et en phase que l'on compare celles des filtres numériques, tout au moins dans un premier temps.
- Différence fondamentale de **structure** : les filtres numériques sont implantés sur des processeurs standards ou dédiés (processeurs de traitement du signal) ; à cet égard il est bon de rappeler que l'utilisation d'un micro-ordinateur n'a de sens que si les phénomènes mis en jeu ne sont pas trop rapides. Si la rapidité est trop importante, il faut utiliser des cartes spécialisées avec processeur de traitement du signal. On peut noter que la notion de structure doit être comprise dans le sens **d'algorithme** et pas seulement dans le sens de structure de réalisation matérielle.

1. Définition d'un filtre numérique

Un filtre numérique est constitué d'un groupement de circuits logiques astreints à un processus de calcul (ou algorithme) qui confère à ce filtre une fonction déterminée (passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande, intégrateur, différentiateur, ...). Le calcul porte sur une séquence (ou suite) de nombres introduites à son entrée et fournit une séquence numérique modifiée, c'est-à-dire "filtrée" ou traitée, à sa sortie. La plupart des modèles de filtres analogiques peuvent ainsi être reproduits sous forme numérique. Les éléments physiques (résistance, capacité, inductance, amplificateurs opérationnels) sont en quelque sorte transposés en éléments logiques.

L'avantage majeur des processeurs de traitement du signal réside dans la rapidité des traitements (multiplication hard) ce qui permet de les utiliser pour des applications industrielles temps réel.



La courbe ci-dessus donne les performances comparées de filtres numériques conçus à partir de techniques différentes et du filtre analogique.

Comme on peut le constater, le filtrage analogique couvre une gamme de fréquences beaucoup plus large, mais se trouve limité en nombre de singularités (c'est la richesse en pôles et en zéros qui détermine la "raideur" d'un filtre).

2. Constitution des filtres numériques

Un filtre numérique est généralement constitué des éléments suivants :

- un ou plusieurs organes de retard (ce sont des registres à décalage jouant le rôle de mémoires retardées), pilotés par une horloge de période,
- des opérateurs arithmétiques (additionneurs et multiplieurs),
- des registres fournissant les coefficients de pondération du filtre.

La réalisation concrète d'un filtre numérique consistera en fait à matérialiser l'algorithme de calcul pour la structure retenue. On aura la possibilité de travailler :

- soit en logique câblée (assemblage d'organes logiques, tels que portes, mémoires, etc ...),
- soit en logique programmée (organisation autour d'un processeur de traitement du signal (DSP) ou, même, utilisation d'un microprocesseur(micro-ordinateur) standard).

3. Champ d'applications

Le champ d'applications du filtrage numérique est très vaste puisqu'il va des télécommunications au traitement de la parole, en passant par les systèmes d'asservissement, les radars et sonars, la prospection sismique, la "HiFi", etc... C'est surtout, à l'origine, dans les télécommunications que leur usage s'est très vite répandu car à la fois leur capacité de mémoire et la vitesse de traitement se trouvaient adaptées à la plupart des fonctions remplies sous forme numérique :

- codage-décodage (MPEG, JPEG), compression d'images et du son (informatique, télévision numérique),
- modulation FSK ("Phase Shift Keying"),
- corrections normalisées,
- séparateurs de canaux,
- modems (RTC, réseaux câblés, RNIS),
- Hi Fi, instruments de musique,
- contrôleurs de disques durs,
- accélérateurs graphiques 3D, animation en réalité virtuelle,
- reconnaissance d'images,
- cartes sons,
- suspensions actives automobiles,
- servo-moteurs à commande numérique,
- télécopies,
- radars.

Dans de nombreuses applications sont utilisés des DSP dédiés, c'est-à-dire qu'ils sont directement "programmés" avec un logiciel particulier à la conception (soit en ROM, soit câblé).

4. Propriétés des filtres numériques

Les avantages du filtrage numérique par rapport au filtrage analogique sont importants :

- reproductibilité : les caractéristiques de tous les filtres numériques établis sur une même configuration sont rigoureusement identiques,
- souplesse : la réponse en fréquence peut être très aisément modifiée en changeant les coefficients arithmétiques ; le domaine des fréquences de travail est facilement déplacé par modification de la fréquence d'échantillonnage,
- précision : les différentes manipulations étant effectuées sur des nombres, la précision ne dépend, en grande partie, que de celle du CAN et de celle du CNA,
- association des filtres : la mise en série de filtres numériques ne pose aucun problème d'interaction, tel que celui que l'on rencontre pour l'adaptation des impédances des filtres analogiques,
- stabilité des caractéristiques : il n'y a pas de vieillissement des composants dû à l'influence de la température sur les caractéristiques du filtre.

Les principaux inconvénients sont liés au problème de l'échantillonnage (spectre du signal toujours limité) nécessitant l'utilisation de processeurs ayant une bonne rapidité d'exécution pour pouvoir traiter des signaux ayant une forte "dynamique" (fréquences élevées) en **temps réel**.