

# INITIATION A L'ELECTRONIQUE

## TOUT DOIT-IL ETRE NUMERIQUE

Une des tendances qui s'affirment le plus en ce moment est un passage des méthodes « analogiques » aux méthodes « numériques » (ou « digitales ») dans l'électronique. Précisons un peu ce dont il s'agit. Une représentation électrique du type « analogique » consiste à lier la grandeur qui nous intéresse à une valeur électrique (généralement une tension ou une intensité), dont la variation **continue** permet de représenter celle de la grandeur. Par exemple, si cette grandeur est la quantité de liquide contenu dans un réservoir, que l'on remplit avec un certain débit, nous pouvons représenter cette quantité par la charge d'un condensateur. Si

l'intensité du courant qui le charge est, à chaque instant, proportionnelle au débit du liquide (fig. 1), on réalise ainsi une bonne représentation analogique du volume de liquide dans le réservoir. On lira ce volume (ou, plus exactement, la valeur analogique qui le représente) en mesurant la tension aux bornes du condensateur (car celle-ci est proportionnelle à la quantité d'électricité contenue dans le condensateur). A l'opposé, la méthode « numérique » (ou « arithmétique » ou « digitale », consiste à exprimer la grandeur qui nous intéresse par un **nombre**, dont la variation est essentiellement **discontinue**. Pour reprendre le même exemple que ci-dessus, on pourra exprimer la quantité de liquide dans le réservoir par le nombre affiché sur un compteur électronique, si l'on

transmet à ce dernier, par exemple, une impulsion chaque fois que l'on a envoyé un millilitre de liquide dans le réservoir (fig. 2). La valeur lue affichera donc, en centimètres cubes, le volume de liquide. La première arrivée de cette « numérisation » a été faite dans nos montres, en y remplaçant l'affichage analogique, que nous donnent les aiguilles qui tournent régulièrement (ou peu s'en faut), par un affichage numérique, celui du résultat d'un comptage de secondes (ou de dixième de secondes).

## LE NUMERIQUE COMME INTERMEDIAIRE

D'autres applications ont suivi : on a vu apparaître les chiffres dans les compteurs de

vitesse des automobiles, dans les thermomètres, dans les balances, etc. Le stade suivant a été une « numérisation » moins voyante, mais fort efficace : l'avènement du disque « compact ». Alors que, dans un microsillon classique, le signal sonore est stocké sous forme analogique, par les déviations des flancs du sillon, dans le disque à lecture laser, tout le signal audiofréquence est codé sous forme de nombres successifs. Seulement, là, il faut que ces informations soient « traduites » en une variable analogique pour commander la pression acoustique qui restituera dans nos oreilles le son enregistré. Peut-être existe-t-il quelques « fanatiques » qui préfèrent voir défiler sur un écran d'ordinateur les séries d'octets qui « codent » la symphonie *Jupiter* de Mozart (ils seront gâ-

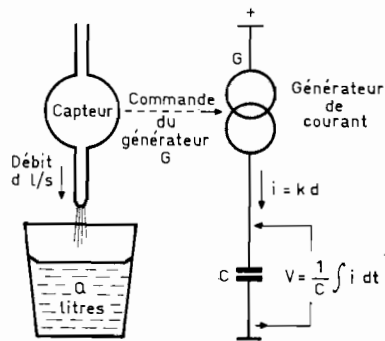


Fig. 1. - Exemple de grandeurs analogiques dont les variations sont continues.

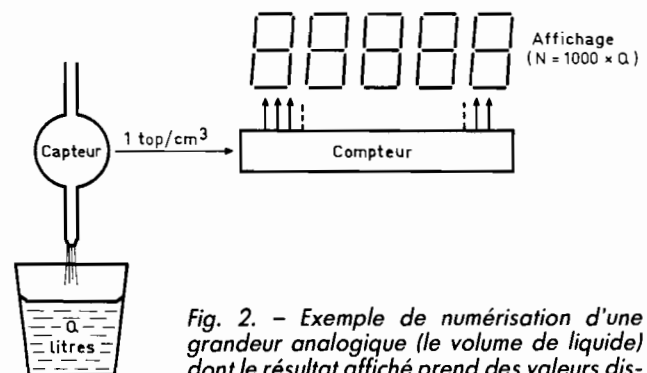


Fig. 2. - Exemple de numérisation d'une grandeur analogique (le volume de liquide) dont le résultat affiché prend des valeurs discontinues.

tés, il y en a près de deux cents millions)... L'auteur, pour sa part, préfère la musique (chacun ses goûts !).

Tout cela pour dire que la généralisation du « numérique » est extrêmement importante. Elle l'est même tellement que certains n'hésitent pas à dire que « l'analogique, c'était le passé ; le numérique, c'est le présent et surtout l'avenir ».

Or, il s'agit là d'une généralisation hâtive. Non, l'analogique n'est pas la technique des « son et lumière ». Si, dans des nombreux cas, elle a cédé la place aux techniques numériques pour le plus grand bien de l'utilisateur, il y a de nombreuses applications où elle se révèle supérieure au numérique.

Comme il ne faut pas traiter cela d'un point de vue passionnel, mais avec l'objectivité qui convient à un technicien, il est donc indispensable de commencer par se mettre au courant des deux aspects de la technique contemporaine, l'aspect analogique et l'aspect numérique. C'est là le but de cette série d'articles.

## AVANTAGES DE LA METHODE ANALOGIQUE

Généralement, les techniques et circuits utilisés pour les présentations analogiques sont plus simples. Nous disposons, en effet de nombreuses possibilités pour obtenir une variation continue précise d'un courant ou d'une tension.

En particulier, les amplificateurs opérationnels sont fort précieux à ce point de vue.

Les indications données par les méthodes analogiques sont généralement plus faciles à interpréter par nos sens, surtout quand il s'agit de variations. En reprenant l'exemple de la quantité de liquide

dans un réservoir, la montée plus ou moins rapide, ou l'arrêt du mouvement d'une aiguille figurent d'une façon plus « parlante » une augmentation de volume plus ou moins rapide, ou un arrêt du remplissage.

Pour prendre un autre exemple, essayez de régler une tension à sa valeur maximale (par exemple, quand on accorde un circuit sur une fréquence, et que l'on mesure, pour cela, la tension détectée). On peut le faire avec un voltmètre « analogique » (c'est-à-dire à aiguille), ou avec un voltmètre numérique.

Si vous utilisez cette deuxième solution, le passage de la tension par son maximum est bien moins facile à déceler que la déviation maximale d'une aiguille.

Quand on regarde l'heure sur une montre à aiguilles, on ne cherche pas tant à lire les nombres indiqués par les aiguilles, mais bien plus à associer au « dessin » des deux aiguilles une notion d'heure. La preuve en est que, dans les montres à aiguilles, on tend de plus en plus à supprimer l'écriture des nombres sur le cadran. On a commencé par ne plus écrire que 3, 6, 9 et 12. On arrive maintenant à de simples traits de repères, sans aucun chiffre.

De même, les automobilistes qui ont un indicateur de vitesses numérique se plaignent souvent du fait que, pour en voir l'indication, il est nécessaire de mobiliser plus longuement son attention (pour lire le nombre et l'interpréter) qu'on ne le fait pour un indicateur à aiguille (nous verrons plus loin comment les constructeurs ont partiellement résolu ce problème). Or, quand on conduit une voiture, il est important de consacrer la plus grande partie possible de son temps à regarder à travers le pare-brise (ou dans le rétroviseur).

## INCONVENIENTS DE LA METHODE ANALOGIQUE

Le premier apport des méthodes numériques, et le plus important, a été la **précision**.

En effet, la méthode analogique est limitée par le principe même de la lecture de la tension ou de l'intensité qui représente la grandeur intéressante. En particulier, les voltmètres analogiques permettent rarement de dépasser une précision de 1 %.

En effet, imaginons un appareil analogique quasi parfait, dont la déviation à pleine échelle soit rigoureusement étalonnée. Autrement dit, en lui appliquant la tension d'une source de référence, parfaitement connue, de 10,000 V (soit 10 V précise à mieux de

0,5 mV), on voit l'aiguille, sur l'échelle 10 V, arriver exactement en face de la graduation 10.

Un tel instrument est certes très bon. Mais si, en mesurant une autre tension, nous voyons l'aiguille arriver exactement en face de la division 7,00, pourrions-nous affirmer que la valeur à mesurer est exactement 7,00 V (à 0,005 V près) ? Non, et ceci pour deux raisons.

D'abord, nous ne pouvons pas garantir la **linéarité** de la lecture. Le plus souvent, l'échelle imprimée sur le cadran est faite d'après un modèle standard, correspondant à la « réponse » moyenne des galvanomètres dont un modèle de série équipe le voltmètre en question. Or, il peut y avoir, d'un galvanomètre à l'autre, des différences dans

# MONTEZ LE SON.



### Kits Audax

Quitte à faire le son, faites-le vous-même. H.P. prêts à monter pour créer votre propre enceinte.



Kaméleon

LISTE DES DEPOSITAIRES  
45, av. Pasteur - 93106 Montreuil  
Tél. 42 87 50 90

# AUDAX

leurs courbes de déviation en fonction de l'intensité qui y passe.

Ensuite, si nous tentons de lire aussi bien que possible la position de l'aiguille, nous ne pouvons en aucun cas garantir que cette lecture est faite avec une erreur inférieure au **millième** de la déviation totale. Bien des causes interviennent pour nous l'interdire, entre autres l'erreur de parallaxe, et même... la simple électrisation du verre du galvanomètre.

Eh oui ! l'électricité statique peut influencer une aiguille : appliquez une tension constante à un voltmètre analogique et frottez donc le verre avec un chiffon sec : vous verrez ce que cela peut donner.

Si nous voulons vraiment connaître la tension avec une incertitude inférieure au centième de volt, à moins d'employer un appareil du type « différentiel à tensions étalons », nous sommes obligés d'utiliser un voltmètre numérique. Nous le prendrons du type « 4 digits 1/2 » ou « 20 000 points », suivant une terminologie qui sera explicitée plus loin.

Là, notre tension puisqu'elle est inférieure à 10 V, est affichée par une suite de quatre chiffres (ce qui ne veut pas forcément dire que nous la connaissons avec une incertitude de l'ordre du millivolt, comme nous le verrons plus loin). Mais, si le constructeur de l'instrument nous le garantit, nous pourrions faire une lecture dont la précision est sans aucun rapport avec les performances du meilleur des instruments à aiguille.

## « QUANTUM » N'EST PAS PRECISION

Revenons un peu sur cette idée de précision. Supposons que notre voltmètre numérique affiche le nombre 7,012.

Nous pouvons tout de suite constater que, si la tension augmente seulement d'un millivolt, l'affichage change, devenant alors 7,013.

Nous voyons apparaître ici la notion fondamentale de « quantum » de comptage. Il s'agit de la variation de la grandeur qui correspond à un accroissement d'une unité de la valeur lue. Dans notre cas, le « quantum » est le millivolt, puisque, chaque fois que la tension appliquée au voltmètre augmente d'un millivolt, la valeur lue augmente d'une unité.

Pouvons-nous conclure que la mesure est exacte au millivolt près ? Non, sauf si le constructeur du voltmètre nous le spécifie. Notre appareil peut déceler une **variation** de tension d'un millivolt, mais il faut, en plus :

- que son zéro soit bien réglé ;
- que sa « linéarité » soit suffisante, autrement dit que la correspondance entre la tension appliquée et la valeur lue soit assez proche d'une proportionnalité rigoureuse.

Sur ce dernier point, la connaissance de la méthode utilisée pour convertir une tension (grandeur analogique à variation continue) en un comptage (grandeur numérique à variation discontinue) nous permet de nous faire une idée sur les différentes causes d'erreurs qui peuvent rendre illusoire la précision « apparente » de l'instrument.

En effet, dans un voltmètre numérique, il y a un circuit (ou un groupe de circuits) qui réalise la « conversion analogique-numérique », que l'on désigne souvent sous le nom de « ADC » (Analog to Digital Conversion), et que nous rencontrons ici pour la première fois (mais pas pour la dernière !). Or, nous verrons plus loin la confiance que l'on peut accorder à une telle conversion.

Précisons tout de suite que, dans la grande majorité des

cas, les convertisseurs qui réalisent cette transformation sont excellents. Mais il faut que cela nous soit précisé.

## EXTENSIONS DE LA NOTION D'EXPOSANT

Le cas du convertisseur analogique-numérique du voltmètre est un peu particulier, car il nous fournit directement un résultat en code décimal, ou peu s'en faut. Le plus souvent, les convertisseurs analogique-numérique donnent leurs résultats en code binaire, ce qui nous amène à revoir un peu ce qu'est une telle numération (en nous excusant auprès de ceux des lecteurs qui savent déjà cela parfaitement).

D'abord, un petit rappel. Dans de nombreux cas, on simplifie l'écriture des nombres comportant une unité suivie de quelques zéros. On note, par exemple, que le nombre 10 000 000 (dix millions) est le produit de sept facteurs égaux à dix, ce qui s'écrit, dans les ordinateurs :

$10\ 000\ 000 = 10^7$   
(on lit « dix puissance sept »).

Cette notation a le mérite de simplifier certains calculs. Si nous divisons dix millions ( $10^7$ ) par mille ( $10^3$ ), nous savons que l'on peut simplifier, le quotient étant 10 000, en supprimant trois zéros au numérateur comme au dénominateur, soit en retranchant le nombre de zéros du dénominateur (trois zéros) de celui du numérateur (sept zéros) :

$10\ 000\ 000 / 1\ 000 = 10^7 / 10^3 = 10^{7-3} = 10^4$

Or, cette règle de division (qui se fait en soustrayant l'exposant du dénominateur de celui du numérateur) peut donner un résultat « bizarre » si nous voulons l'appliquer à la division de cent (dix puissance deux) par cent mille (dix puissance 5).

En effet, si nous soustrayons cinq de deux, le résultat est

-3. D'après notre définition de l'exposant (nombre de facteurs égaux à dix à multiplier entre eux) il est stupide de parler de « dix puissance moins trois », car on ne peut multiplier entre eux « moins trois » facteurs.

Nous conviendrons tout simplement, pour que la règle de division soit plus générale, que la notation :

$10^{-3}$  signifie :  $1/10^3$

C'est donc une « extension abstraite » de la notion de puissance, mais elle ne conduit à aucune contradiction avec la règle de division. Bien au contraire, elle en augmente le domaine de validité.

## ET L'EXPOSANT ZERO » !! ? ?

Nous irons encore un peu plus loin. Si nous divisons, par exemple, un million par un million, nous savons que le quotient est égal à l'unité. Or, si nous appliquons notre règle de division par soustraction des exposants, nous arrivons à  $1\ 000\ 000 / 1\ 000\ 000 = 10^6 / 10^6 = 10^{6-6} = 10^0$

Là aussi, si l'on se limite à notre définition des exposants par le nombre de facteurs à multiplier entre eux, l'exposant nul est une absurdité. Mais, si nous convenons, une fois pour toutes, de dire que « dix puissance zéro » est une façon (bien compliquée, nous le reconnaissons) de dire « un », la validité de notre règle de division se trouve encore élargie.

Résumons-nous. Nous sommes convenus de dire que :

$10^{-9} = 1/10^9$  (par exemple) et que :  $10^0 = 1$

Mais notons bien que tout ce qui précède peut s'appliquer à des « puissances » d'un nombre autre que dix. On peut aussi bien dire, par exemple, que :

$2^{-12} = 1/2^{12}$  et que :  $2^0 = 1$

## LA NUMERATION ? UNE HISTOIRE DE « PAQUETS »

L'auteur présente ici toutes ses excuses pour le côté un peu fastidieux et **apparemment** « évident » de ce qui va suivre, mais il pense que la meilleure façon de comprendre sans problème les numérations non décimales est d'étudier la numération décimale, comme s'il s'agissait d'une nouveauté.

Avant de nous lancer dans la numération binaire, examinons un peu la méthode utilisée pour coder en décimal un nombre d'objets.

D'abord, s'il y a moins de dix objets, nous conviendrons d'associer à chaque nombre d'objets un symbole appelé « chiffre », qui sera :

1 pour un objet ;  
2 pour deux objets...

...  
9 pour neuf objets.

Ces symboles sont les chiffres dits « arabes ». Cet adjectif est authentique, l'ancienne civilisation arabe ayant apporté énormément à la science arithmétique (entre autres). Mais, ce qui est plus curieux, c'est que ces chiffres ne sont pas utilisés de nos jours par les Arabes, qui emploient les chiffres « indiens » indiqués sur la figure 3.

## LA NUMERATION DECIMALE... COMME SI VOUS NE LA CONNAISSIEZ PAS

Il faut trouver maintenant un moyen d'exprimer par des symboles un nombre d'objets **supérieur à dix**. Pour cela, il nous faut arriver à une mé-

Arabes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Indiens	.	(	५	३	५	०	7	v	^	q

Fig. 3. - Table d'équivalence entre numération arabe et indienne.

thode de **groupement** des objets.

Elle est parfaitement logique. De même que celui qui, traçant sur un papier un trait vertical pour chaque objet compté, les réunit (en les barrant par un petit trait horizontal) par groupes de cinq, par exemple, pour en faciliter le comptage, nous allons, pour compter un groupe d'objets, les rassembler en « paquets » (par exemple dans des sacs), chacun contenant un nombre défini (appelé « base ») de ces objets.

Dans le système décimal, cette base est dix. Si nous voulons opérer ainsi sur vingt six objets, par exemple, nous pourrions en faire deux paquets de dix, il en restera six. Nous pourrions exprimer ce nombre sous la forme : deux paquets plus six objets, ce qui est bien plus explicite et facile à comparer à un autre nombre que si on laisse les objets sans les grouper.

## LES « PAQUETS DE PAQUETS »... ET LA SUITE

Maintenant, nous recommandons avec une collection de quatre cent trente-cinq objets. Le premier groupement en paquets de dix nous donne quarante trois paquets (et il reste cinq objets non groupables en paquet de dix). Pour comparer plus facilement le nombre avec un autre du même ordre, nous pouvons simplifier encore sa « présentation ». En effet, quarante trois paquets, c'est beaucoup, et la

comparaison avec le nombre de paquets d'une autre collection ne sera pas immédiat. Dès lors, pourquoi ne pas appliquer aux paquets eux-mêmes la méthode de groupement que nous avons utilisée pour les objets. Nous les grouperons donc en « paquets de dix paquets » (appelons ces nouveaux groupes des « caisses », par exemple) ce qui nous donne : quatre caisses, et il reste trois paquets (plus cinq objets).

Chaque « caisse » contient donc dix fois dix objets, soit  $10^2$  objets.

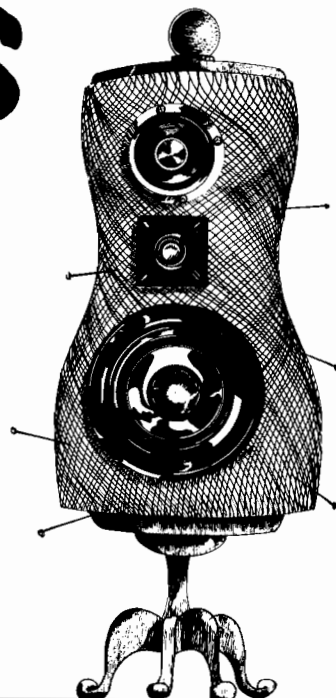
Dès que nous avons exprimé le contenu de notre collection :

- en nombre de caisses ;
  - en nombre de paquets non groupables en caisses ;
  - en nombre d'objets non groupables en paquets ;
- nous avons donné une expression très représentative de tout nombre inférieur à mille.

Veut-on dépasser mille ? Maintenant, la solution découle logiquement de ce qui précède. S'il y a plus de dix caisses, on va les grouper en « paquets de dix caisses » (appelons-les des « camions », par exemple).

Chaque « camion » contiendra donc dix caisses de dix

# DU COUSU MAIN POUR LES PIQUES DU SON.



## Kits Siare

Tout pour monter vous-même vos H.P.  
Suivez le patron vous aurez le son.  
Sur mesure.

Kameteon

LISTE DES DEPOSITAIRES  
45, av. Pasteur - 93106 Montreuil  
Tél. 42 87 50 90

# SIARE

paquets de dix objets, soit  $10^3$  objets. S'il y a plus de dix camions, nous les grouperons en « paquets de dix camions » (appelons-les des « cargos »), s'il y a plus de dix cargos, nous les grouperons en « flotilles » de dix cargos chacune, etc.

## REMPLAÇONS LES NOMS PAR DES POSITIONS

Avec le système des dénominations (paquets, caisses, camions, cargos, etc.), nous risquons d'être un peu à court de vocabulaire (surtout quand nous irons faire une incursion dans le système binaire). Alors, nous allons faire une nouvelle convention.

Pour ne pas avoir à parler de paquets, de caisses, etc., nous allons prévoir (fig. 4) une « grille », dont nous supposons qu'elle se limite, pour le moment, à cinq cases. Dans la case située la plus à droite, nous indiquerons, en utilisant son chiffre symbole, le nombre d'objets qui restent quand on fait le premier groupement en paquets de dix.

Dans la case située juste à gauche, nous indiquerons par un symbole le nombre de « paquets » que l'on ne peut grouper en « caisses ». Dans la case juste à gauche, nous noterons le nombre de « caisses » que l'on ne peut pas grouper en « camions », etc.

Donc, maintenant, chaque case est affectée à une des dénominations (objets, paquets, caisses, camions, etc.) que nous avons utilisées au début. Cette affectation étant définie une fois pour toutes, au lieu de dire qu'un nombre d'objets se traduit par : deux cargos, un camion, sept caisses, trois paquets, huit objets,

nous noterons symboliquement ce nombre comme l'indique la figure 5, en logeant les symboles voulus dans les em-

placements appropriés de la grille de la figure 4.

Nous allons repérer les cases de la grille, de droite à gauche, par les nombres 0, 1, 2, 3 et 4 (nous verrons bientôt la raison de ce choix).

## « DECODAGE » DU NOMBRE DECIMAL

Si, maintenant, nous voulons connaître la signification pratique de la représentation symbolique utilisée sur la figure 5, nous y arriverons facilement. En effet, nous savons que la case « 4 » correspond aux « cargos » (dix mille objets, soit  $10^4$ ), la case 3 aux « camions » (mille objets, soit  $10^3$ ), et la case 2 aux « caisses » (cent objets, soit  $10^2$ ).

La case 1 correspond aux « paquets » de dix objets, et nous pouvons écrire ce nombre :

$10 = 10^1$  (d'où le nom de « case 1 »).

Enfin, la case la plus à droite correspond aux objets isolés, autrement dit aux « unités » ; or, d'après notre convention, nous pouvons appeler l'unité :  $10^0$ .

d'où le nom de « case 0 » pour celle qui est la plus à droite.

Notre nombre vaut donc :

$$2 \times 10^4 + 1 \times 10^3 + 7 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 8 \times 10^0$$

On obtient donc le nombre en réalisant une addition, dont chacun des termes est le produit :

(chiffre situé dans une case) multiplié par :

(dix élevé à la puissance égale au numéro repère de la case).

Par exemple, dans la case repérée par le numéro 2, il y a le chiffre 7, donc nous allons multiplier sept par dix à la puissance deux, qui vaut cent.

## LA NOTION DE « POIDS »

La puissance de dix associée à une case (soit 1000 ou  $10^3$  pour la case numéro 3) se nomme le « poids » associé à la case. En effet, tout se passe comme si, pour réaliser un certain poids dans le plateau d'une balance, nous entassions sur ce plateau :

- deux « poids » de 10 000 grammes ;
- un « poids » de 1 000 grammes ;
- sept « poids » de 100 grammes ;
- trois « poids » de 10 grammes ;
- huit « poids » de 1 gramme.

Pourquoi « poids » entre guillemets ? L'auteur avoue être très « puriste » en ce qui concerne les unités, or le gramme est une unité de **masse**, et, si l'usage admet de parler d'un « poids de cent grammes », il s'agit tout de même d'une erreur, les kilogrammes (et grammes) étant des unités de **force** : on l'exprime en **newtons**.

Certains diront : « C'est vraiment compliquer pour le plaisir que de parler de paquets, de caisses, de camions... au lieu de parler de dizaines, de centaines, de mille, etc. ! » L'auteur reconnaît bien volontiers qu'il y a là une complexité qui **semble** inutile ; mais, si vous avez bien saisi l'idée, en l'associant au système de numération, vous arriverez très facilement à l'associer à tout autre système de numération, ayant une base différente de dix.

## ET SI UNE CASE ETAIT VIDE ?

Cette méthode de la « grille » avec des cases pour coder un nombre est excellente. On l'emploie couramment quand on veut être sûr d'éviter toute erreur : pensez aux différents formulaires administratifs.

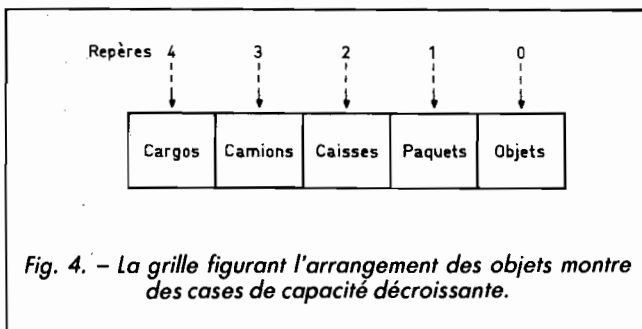


Fig. 4. - La grille figurant l'arrangement des objets montre des cases de capacité décroissante.

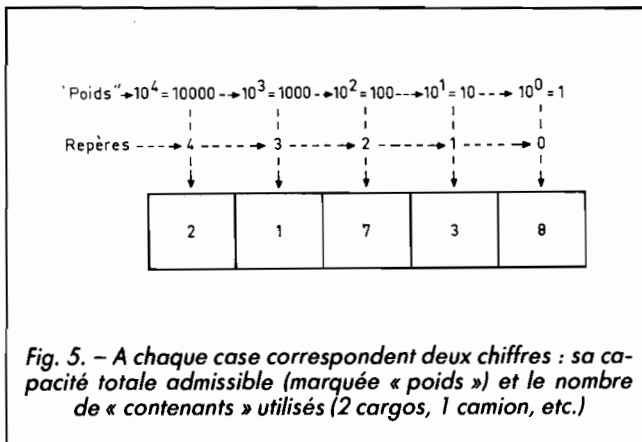
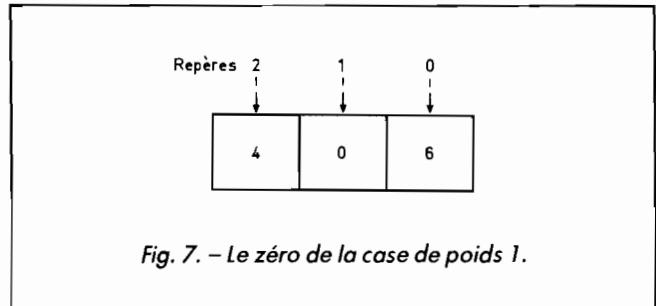
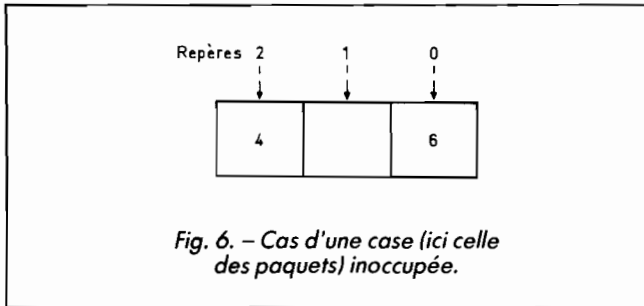


Fig. 5. - A chaque case correspondent deux chiffres : sa capacité totale admissible (marquée « poids ») et le nombre de « contenants » utilisés (2 cargos, 1 camion, etc.)



Mais tout le monde sait qu'on finit par noter les chiffres les uns à la suite des autres, sans tracer la grille ni les cases.

Précisons toutefois que, en informatique, il y a bien des cas où l'emploi de cette grille est une nécessité, le nombre devant obligatoirement être écrit dans un « format » donné.

Maintenant, supposons que notre nombre d'objets soit tel que, lors du groupement en paquets, nous ayons trouvé un nombre de paquets qui soit un multiple de dix. Il en résulte que, quand nous grouperons les paquets en caisses, il ne restera pas de paquet « non groupable ».

Si, par exemple, nous avons groupé les objets en quarante paquets et qu'il reste alors six objets, nous pourrions faire quatre caisses de (dix paquets chacune) avec les quarante paquets, et, sur une grille à trois cases (suffisante pour notre exemple), le nombre pourra se noter comme l'indique la figure 6. Nous n'avons rien mis dans la case repérée par le numéro 1 (celle où l'on indique le nombre de « paquets ingroupables en caisses »), puisqu'il n'y a pas de paquet isolé.

Si une telle notation est admissible quand la grille est bien tracée, elle ne l'est presque plus quand on supprime les cases de la grille : un espace vide, entre le chiffre 4 (nombre de « caisses ») et le chiffre 6 (nombre d'objets isolés) peut facilement disparaître si l'on écrit mal.

D'où la nécessité de dire **explicitement** que cette case ne contient rien, au lieu de se contenter de ne pas la remplir. Nous devons donc définir un symbole spécial qui représente l'absence. C'est le « zéro », une notion d'une abstraction très poussée, quoique son usage généralisé nous la fasse considérer comme une évidence.

On note donc le nombre non comme sur la figure 6, mais ainsi que le montre la figure 7.

Ainsi, même en supprimant les cases, on ne risque pas d'erreur : le 0, entre le 4 et le 6, nous montre clairement que :

- le 4 est bien **troisième position** en comptant de droite à gauche ;

- on a bien pensé à regarder combien il y avait de « paquets isolés non groupables en caisses », et on a vu qu'il n'y en avait pas.

Une petite difficulté (que nous retrouverons souvent) vient du fait que la case numéro **trois** (en comptant à partir de la droite) est repérée par le chiffre **2**, mais c'est normal, puisque nous devons compter en commençant par le zéro, ce qui est nécessaire pour que le « poids » associé à chaque case soit égal à dix élevé à une puissance égale au numéro repère de la case. Donc, pour la case des unités, il faut la repérer par « zéro », puisque, d'après nos conventions, la seule puissance de dix qui soit égale à l'unité est  $10^0$ .

## ET LES NOMBRES NON ENTIERS ?

Si nous mesurons, par exemple, une distance en mètres, il se peut que cette distance contienne un nombre entier de mètres. Mais, le plus souvent, ce n'est pas le cas, et nous pouvons désirer une meilleure précision.

L'idée fort ingénieuse de prolonger l'écriture du nombre vers la droite, en séparant ce qu'on ajoute de la partie entière par une virgule (en France) ou par un point (ailleurs) implique que, juste après la virgule, nous utilisons, dans le cas d'une longueur exprimée en mètres, un comptage du nombre de **dixièmes de mètre** que l'on

# A NE PAS METTRE ENTRE TOUTES LES OREILLES.

**Sono Audax**  
H.P. haute puissance.  
Les pros et tous ceux qui en veulent en savent quelque chose.

LISTE DES DEPOSITAIRES  
45, av. Pasteur - 93106 Montreuil  
Tél. 42 87 50 90

**AUDAX**

Hamelton

peut ajouter aux mètres déjà comptés sans dépasser la longueur à mesurer.

Cette dernière était, par exemple, comprise entre six et sept mètres. La partie qui dépasse au-delà de six mètres peut contenir deux « dixièmes de mètre » mais pas trois. Nous dirons que la longueur vaut six mètres plus deux dixièmes de mètre.

La précision ne nous suffit pas ? Nous allons alors voir combien on peut ajouter de « centièmes de mètre », en plus des deux dixièmes, sans dépasser la longueur à mesurer. Supposons qu'on puisse en ajouter cinq, mais pas six. Nous dirons alors que la longueur vaut (par défaut) : six mètres plus deux dixièmes de mètre plus cinq centièmes de mètre.

## OU L'ON RETROUVE LES EXPOSANTS NEGATIFS

Or, si nous nous rappelons notre extension de la notion d'exposant, selon laquelle nous avons posé, par exemple :

$$1/10^2 = 10^{-2}$$

Nous pouvons dire que les dixièmes de mètre sont des  $10^{-1}$  mètre, et les centièmes de mètres des  $10^{-2}$  mètre.

La longueur se notera, par défaut :

$$6 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

Dès lors, nous voyons qu'il suffit d'étendre, vers la droite, notre grille à cases de la figure 4, mais en repérant les numéros des cases, à droite de la virgule (fig. 8), par les nombres **negatifs** - 1, - 2, - 3, etc.

Comme on le voit, les « poids » de ces cases à droite de la virgule seront :  $1/10$ , soit  $10^{-1}$  ;  $1/100$ , soit  $10^{-2}$  ;  $1/1\ 000$  ; soit  $10^{-3}$ , etc.

## SORTONS (ENFIN !) DU SYSTEME DECIMAL

Ce qui constitue la « perfection » du système décimal est sa logique, et non le fait que la « base » soit le nombre dix, choisi en partie à cause du nombre de doigts de la main, et, dit-on, en partie à cause de la propriété « magique » du nombre dix, qui est la somme des quatre premiers nombres entiers :

$$10 = 1 + 2 + 3 + 4.$$

A part cela, ce nombre n'est pas très intéressant. Il est mauvais pour les partages (dix ne se divise que par 2 et 5) et peu commode pour l'électronique.

Un système de numération utilisant, pour les groupements en « paquets », « caisses », « camions », etc., une « base » autre que dix serait tout aussi

« parfait ». Il aurait la particularité d'avoir des tables arithmétiques (addition, soustraction, multiplication et division) différentes de celles que nous avons apprises dès notre petite enfance.

Un tel système présente aussi une autre particularité. La liste des symboles des nombres doit comporter autant de symboles que la « base » contient d'unités, pour pouvoir exprimer un nombre de un chiffre compris entre zéro (inclus) et le plus grand nombre entier inférieur à la base. En base dix, par exemple, il nous faut dix symboles, de 0 à 9.

Si nous choisissons une base inférieure à dix, nous utiliserons moins de symboles. Pour un comptage en base deux, il nous suffira de **deux** symboles. Pour une base supérieure à dix, seize par exemple, nous devrions disposer de seize symboles.

Quels symboles allons-nous utiliser ? Si la base est inférieure à dix, pourquoi ne pas employer ceux de la numération décimale, en nous limitant aux seuls qui nous sont utiles ? En « base deux », par exemple, utilisons les symboles 0 et 1 (en se rappelant que les symboles 2, 3... n'ont « plus de signification »).

Si la base est supérieure à dix, il est possible de prendre, pour les dix premiers symboles, ceux que nous connaissons (de 0 à 9). Et ensuite ? L'usage est d'utiliser les lettres de l'alphabet, en majuscules.

Le A est le symbole du dix, le B du onze, etc.

Donc, après avoir choisi une base, nous allons procéder comme avec la méthode décimale, par groupement en « paquets », puis en « caisses », etc.

## UN EXEMPLE AVEC UNE BASE EGALE A SEPT

Prenons comme exemple un cas purement abstrait, car il n'y aurait aucun intérêt à utiliser la base sept.

Nous disposons donc des symboles de chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

Examinons comment se noterait, en base sept, le nombre 1987. Comme nous l'avons dit, si nous disposions de 1987 objets, pour en exprimer le nombre en base sept, nous commencerions par les grouper en paquets de sept. La première question est « Combien obtiendrions-nous de paquets, et combien resterait-il d'objets non groupés ? »

Or, il y a un moyen très simple de le savoir. Divisons 1987 par sept. Nous obtenons un quotient de 283 et un reste de 6. Cela signifie que nous pourrions faire 283 paquets, et qu'il restera six objets.

Maintenant, avec ces 283 paquets, combien pourrions-nous faire de « caisses » de sept paquets de sept, et combien restera-t-il de paquets non groupables en caisses ? La même méthode nous donne la réponse : cherchons le quotient et le reste dans la division de 283 par sept.

Nous trouvons un quotient de 40 et un reste de 3. Il y aura donc quarante « caisses » et il restera trois paquets non groupables en caisses (plus les six objets non groupables en paquets).

Continuons. Avec ces 40 caisses, combien aurons-nous de

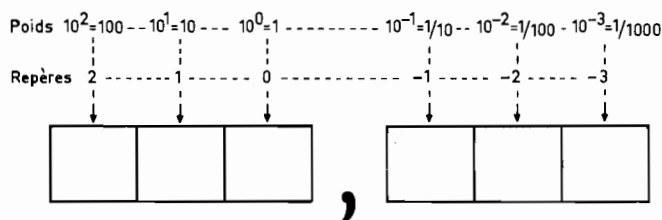


Fig. 8. - Les cases peuvent se voir affecter des poids à exposants négatifs en numérisation décimale.

groupes de sept caisses, autrement dit combien de « camions » ? En divisant 40 par 7, on trouve un quotient de 5 et un reste de 5. Il y aura donc cinq « camions » et il restera cinq « caisses non groupées ». Notre collection de 1987 objets se trouve maintenant répartie en : cinq camions, cinq caisses, trois paquets, six objets.

Nous noterons donc ce nombre, en base sept, dans une grille, comme l'indique la figure 9. Sur cette figure, nous avons indiqué, comme pour les « grilles à cases » précédentes, le numéro de repère des cases (juste au-dessus) et le « poids » correspondant.

Ces « poids » sont :

$$7^0 = 1, 7^1 = 7, 7^2 = 49 \text{ et } 7^3 = 343$$

Une notation assez utilisée pour représenter un nombre avec une base B (non décimale) consiste à l'écrire entre parenthèses, en mettant la valeur de la base B en indice. Notre nombre se noterait alors :

$$(5536)_7$$

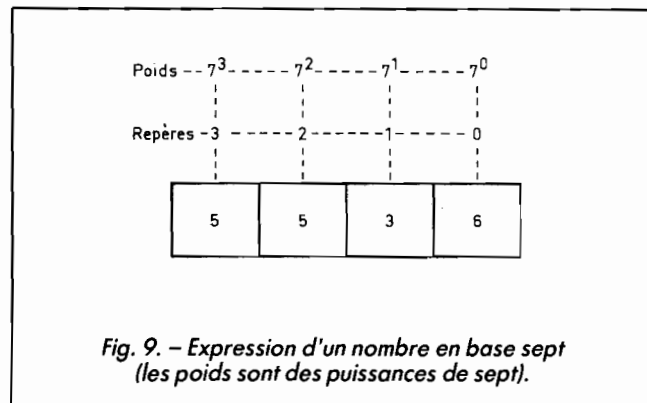
## PAR PITIE, LISEZ EN OUBLIANT LE « DECIMAL » !

Dès maintenant, mettons les lecteurs en garde. On **ne doit pas lire**

ce nombre sous la forme « cinq mille cinq cent trente-six ». Si on le fait **on est sûr de se tromper** à un moment donné. En effet, le premier 5, le plus à gauche, ne signifie pas cinq fois « mille », mais cinq fois 343 ( $7^3$ ), pas plus que le 3, par exemple, ne signifie « trente », car ce mot veut dire « trois fois dix ».

Les **chiffres** ont gardé la même signification qu'en décimal, mais, par exemple, le mot

« cent » signifie  $10^2$  (et non  $7^2$ ), donc il **ne doit pas être utilisé pour énoncer** un nombre en base non décimale. Comment faut-il lire le nombre, alors ? La seule méthode correcte est d'énoncer les chiffres dans l'ordre : « cinq, cinq, trois, six ».



Pourquoi insister à ce point ? Parce que bien des gens (pardon, messieurs les informaticiens) ont l'horrible habitude de lire les nombres exprimés en base seize (nous allons y arriver), quand ils ne comportent (ce qui est fréquent) que des chiffres appartenant à la notation décimale, comme s'il s'agissait de nombres décimaux. Tant mieux pour eux s'ils s'y retrouvent !

Vérifions que notre nombre en base sept est correct. Pour cela, il faut le reconvertir en nombre décimal, ce qui est très facile.

En effet, ce que nous avons écrit avec la notation :

$$(5536)_7$$

signifie :

$$5 \times 7^3 + 5 \times 7^2 + 3 \times 7^1 + 6 \times 7^0 \text{ ou :}$$

$$5 \times 343 + 5 \times 49 + 3 \times 7 + 6 \times 1$$

Prenez une calculette, faites le compte, et vous trouverez bien une somme égale à 1987.

Remarquez en passant que, grâce à notre long (trop long) préambule sur la numération décimale, nous venons de justifier « sans en avoir l'air » les deux méthodes utilisables pour la conversion d'un nombre décimal en base 7 (divisions successives par sept) et

ment, et il ne restera aucune caisse non groupée (85 par 17 : quotient 17, reste 0). Ces 17 camions se grouperont en trois « cargos » de cinq camions, et il restera deux camions.

Donc, il y a :

trois cargos, deux camions, pas de caisse isolée, un paquet, quatre objets

et on note le résultat en base 5 sous la forme :

$$(32014)_5$$

qu'on **ne lit pas** « trente-deux mille quatorze », mais « trois, deux, zéro, un, quatre ».

Cette notation signifie :

$$3 \times 5^4 + 2 \times 5^3 + 0 \times 5^2 + 1 \times 5^1 + 4 \times 5^0$$

soit  $3 \times 625 + 2 \times 125 + 0 \times 25 + 1 \times 5 + 4$ .

Le dernier exemple est une « colle » pour les lecteurs :

En quelle base doit-on exprimer le nombre 813 (hommage à Arsène Lupin !) pour qu'il s'écrive (1455) ? (Après avoir honnêtement cherché, si vous « séchez », ce qui ne serait pas du tout déshonorant, allez voir en page...).

La base est supérieure à 5, puisque le chiffre 5 est utilisé. En divisant 813 par la base à trouver, on trouvera un reste de 5 (puisque le chiffre des unités est 5).

Donc,  $813 - 5 = 808$  est divisible par la base. Si l'on ne retient que les facteurs supérieurs à 5, on trouve que 808 est divisible par 8, par 101, par 202, et par 404. En essayant la base 8, on voit que cela va.

Il aurait été, d'ailleurs, inutile d'essayer les bases 101, 202 ou 404 : avec de telles bases, le nombre trouvé aurait eu deux chiffres, car on ne peut faire de « caisses » de  $101 \times 101$  objets avec 813 objets, encore moins avec une base 202 ou 404.

(à suivre)  
J.-P. OEHMICHEN

pour la conversion opposée (multiplications des chiffres par les « poids » et addition).

## ENCORE DEUX EXEMPLES POUR ETRE BIEN SUR D'AVOIR COMPRIS

Convertissons en base cinq (symboles des chiffres 0, 1, 2, 3 et 4) le nombre décimal 2134.

Si on groupe 2 134 objets en paquets de cinq, on obtiendra 426 paquets et il en restera 4 (2134 divisé par cinq donne un quotient de 426 et un reste de 4). Ces 426 paquets se groupent en 85 « caisses » (de cinq paquets de cinq objets), et il reste un paquet (426 divisé par 5 : quotient 85, reste 1).

Groupons les 85 caisses en camions de cinq caisses. On pourra en faire 17 exacte-