

# LES RÉSEAUX FERROVIAIRES MINIATURES: ANALOGIQUE, "COURANT PULSÉ" ET DIGITAL

(<http://jeanpierre.pillou.free.fr> / mai 2007)

## SOMMAIRE

1	INTRODUCTION .....	2
2	DE L'ANALOGIQUE AU "COURANT PULSÉ" .....	2
2.1	Principe du "courant haché" ou "pulsé" .....	2
2.2	Avantages et inconvénients.....	4
2.3	Mise en oeuvre .....	5
3	DU "COURANT PULSÉ" AU "DIGITAL" .....	7
3.1	Principe de la commande numérique ou "digitale" .....	7
3.2	Avantages et inconvénients.....	9
3.3	Mise en oeuvre d'un système digital .....	10

# **1 INTRODUCTION**

Ce document a pour but d'expliquer, sans trop entrer dans les détails, les différences entre les trois grandes approches de contrôle des réseaux:

- Le contrôle analogique: le plus ancien,
- Le contrôle par tension en créneaux ("courant pulsé"),
- Le contrôle numérique (ou "digital").

La section 2 fait une comparaison entre approche analogique, et "courant pulsé".

La section 3 explique la différence entre "courant pulsé" et "digital", puis aborde (très superficiellement) l'architecture des systèmes "digitaux".

Le but est d'exposer les principes de base, et pas d'entrer dans le détail des contrôles.

## **2 DE L'ANALOGIQUE AU "COURANT PULSÉ"**

### **2.1 Principe du "courant haché" ou "pulsé"**

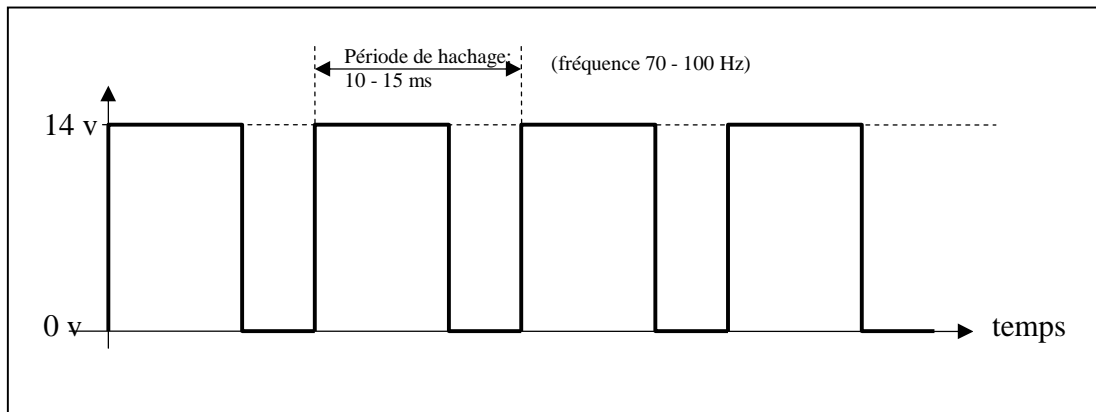
La commande analogique classique (que ce soit à partir du bon vieux transfo, ou des commandes plus modernes), consiste à modifier la tension continue envoyée sur les rails. Cette tension est en général variable entre 0 et 14 volt:

- Une tension à 0 volt correspond évidemment à l'arrêt.
- Une tension de 14 volts correspond à la vitesse maximum.

La commande par tension en créneaux, PWM en anglais, (improprement appelée aussi "par courant haché", ou "par courant pulsé", car la commande est en tension, pas en courant) consiste à envoyer, au lieu d'une tension continue, une tension périodique, de fréquence fixe, comme indiqué sur la figure 1.

La fréquence est fixe, mais la largeur du créneau pendant lequel on envoie la tension maximum est variable, ce qui permet de changer la valeur moyenne de la tension.

La tension varie entre la tension maximum (14 volts) et la tension minimum (0 volt), à une fréquence qui est le plus souvent de l'ordre de 70Hz à 100Hz.



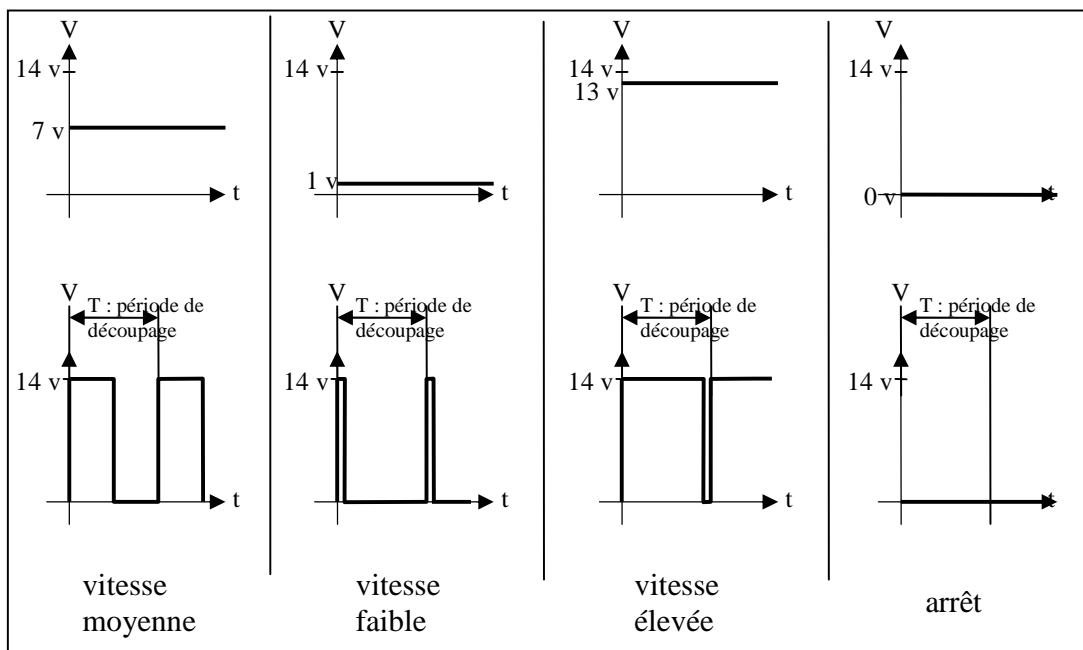
**Figure 1 - Commande par tension en créneaux ("courant pulsé").**

Pour le moteur, tout se passe comme si on envoyait la moyenne de cette tension en créneau.

La figure suivante montre, dans chacune des quatre colonnes, la correspondance entre tension continue (analogique classique: en haut), et tension en créneaux (en bas).

De gauche à droite, sont représentées les cas suivants:

- Vitesse moyenne
- Vitesse faible
- Vitesse élevée
- Arrêt total



**Figure 2: correspondance entre tension continue et tension en créneaux**

Noter que dans les deux cas extrêmes (vitesse maximum et arrêt), il n'y a plus de différence entre les deux modes:

- Dans le cas de la vitesse maxi, la tension est à 14 volt en permanence.
- Dans le cas de l'arrêt, la tension est à 0 en permanence.

## **2.2 Avantages et inconvénients**

### **Avantages**

OK, mais alors, quel est l'avantage de la tension en créneaux par rapport à la tension continue ?

En fait, il y a plusieurs avantages:

- Dans le cas d'une approche par cantons, l'électronique de contrôle de chaque canton est plus simple que dans le cas d'un contrôle analogique, car il est plus simple de contrôler une tension en "tout ou rien", qu'une tension qui peut prendre n'importe quelle valeur entre 0 et 14 volt.
- Le fonctionnement en "courant pulsé" est beaucoup plus souple qu'en continu. En continu, lorsqu'on monte doucement la tension à partir de 0 volt, la loco démarre tout d'un coup à partir d'une certaine valeur, mais avec une vitesse qui est en général loin d'être négligeable. En mode "pulsé", au contraire, ce démarrage est très progressif, et on peut atteindre des ralentis remarquables.
- L'intensité de l'éclairage ne varie plus avec la vitesse de la loco. Sauf à l'arrêt, où la tension reste à 0 en permanence, on peut récupérer la tension maxi de 14 volt sur l'impulsion active, quelle qu'en soit la durée, et donc utiliser cette tension de 14 volts pour l'éclairage.

### **Inconvénients**

L'inconvénient principal (possible) vient du fait que certains moteurs pourraient se dégrader lorsqu'ils sont soumis à ce type de tension (moteurs à rotor sans fer). Il est toutefois difficile de trouver des références précises sur ce problème, qui est très controversé.

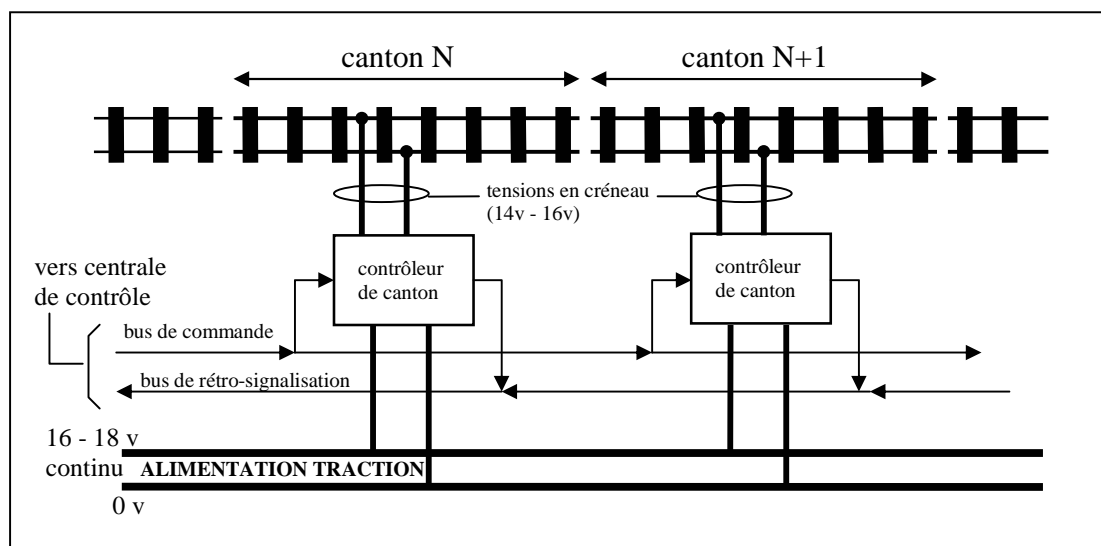
En général, pour ce type de moteurs, on recommande plutôt une fréquence de hachage plus élevée que 70 Hz - 100 Hz. Certains modes de hachages permettent de monter jusqu'à 20 KhZ!

## 2.3 Mise en oeuvre

La mise en oeuvre de ce principe impose les points suivants:

- La découpe en cantons isolés les uns des autres est indispensable puisque la tension appliquée sur un canton doit correspondre à la vitesse de la loco qui l'occupe, vitesse qui n'est pas la même que celle de la loco située sur le canton précédent.
- Une centrale de contrôle doit, à chaque fois qu'une loco arrive sur un nouveau canton, envoyer une consigne de vitesse (c'est-à-dire de largeur du créneau de hachage) à envoyer sur ce canton.

La figure 3 montre le synoptique du système (quasiment universel) qui permet de réaliser ces opérations.



**Figure 3 Mise en oeuvre de l'approche "courant haché"**

- A chaque canton, est associé un contrôleur de canton. Ce contrôleur génère la tension en créneau à partir de:
  - Une tension continue ("alimentation traction") en général de 16v à 18v. Cette tension est plus élevée que la tension finale à appliquer à la voie (et donc au moteur), en raison des chutes de tension dans l'électronique (diodes,...).
  - Une consigne de vitesse (ou plus exactement de largeur de créneau), reçue depuis la centrale de contrôle pour définir la vitesse de la loco. Cette information est transportée de la centrale vers les contrôleurs de cantons par le "**bus de contrôle**". Ce bus est souvent un bus série (RS-232 - RS 485, ..).

- En plus, chaque contrôleur de canton peut renvoyer une information de présence d'un train. Cette information est obtenue en mesurant le courant consommé (0 s'il n'y a pas de train). Le contrôleur renvoie cette information vers la centrale par l'intermédiaire d'un deuxième bus, en sens inverse du premier: le "**bus de rétro-signalisation**". Très souvent, physiquement, le bus de contrôle et le bus de rétro-signalisation utilisent le même support s'il est bidirectionnel.
- A noter, enfin, que la plupart du temps, la centrale de contrôle est un "PC" avec logiciel de contrôle.

Les deux systèmes les plus connus opérant selon ce principe sont:

- CATrain
- Driving Railway (Pégase Informatique)

### **3 DU "COURANT PULSÉ" AU "DIGITAL"**

#### **3.1 Principe de la commande numérique ou "digitale"**

En préambule, signalons qu'on devrait parler de commande numérique, et non de commande "digitale". Le terme "digital" est de l'anglais francisé.

Mais l'usage est là, et donc nous utiliserons le terme "digital" dans la suite.

Avant d'entrer dans plus de détails, les points suivants résument simplement la différence du "digital" par rapport au "courant haché".

- Le moteur de chaque loco est toujours piloté en "courant haché", mais la tension en créneau n'arrive plus par les rails: elle est générée localement, dans la loco, par un décodeur.
- Les rails véhiculent à la fois la puissance traction ET l'information de contrôle. En d'autres termes, si l'on se réfère à la figure 3 (mise en oeuvre de l'approche "courant haché"), on fait passer sur les rails l'équivalent de l'"**alimentation traction**" et du "**bus de contrôle**".  
Par contre, jusqu'à maintenant (mais c'est en train de changer), les protocoles digitaux au niveau des rails sont uni-directionnels, et donc la rétrosignalisation ne peut pas passer par les rails.

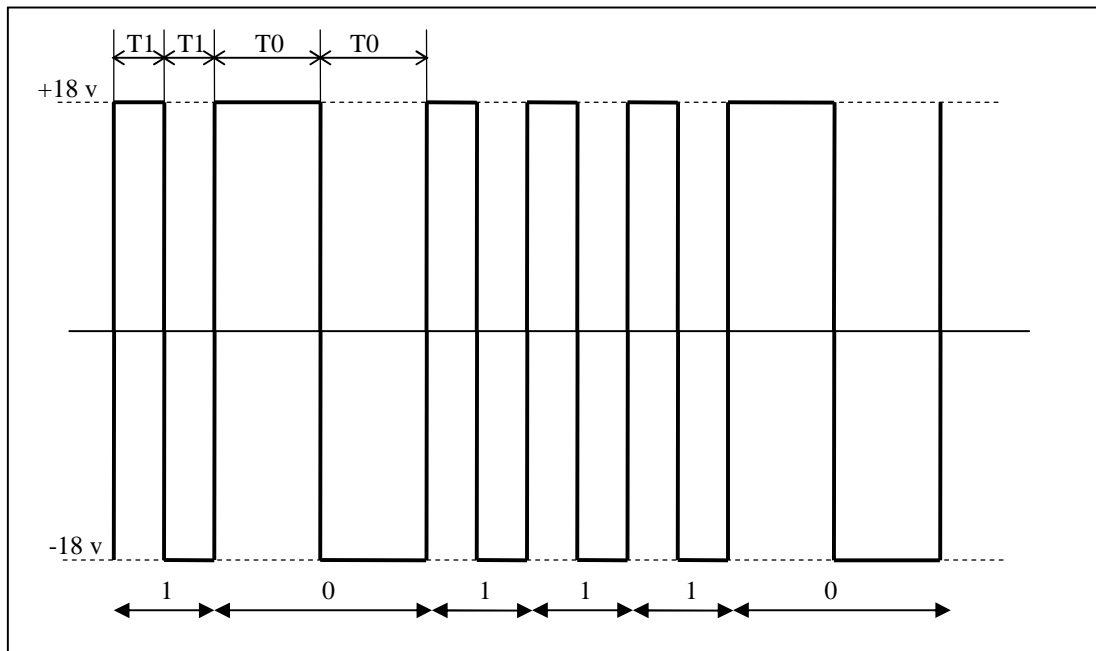
Il existe deux grandes lignes de protocoles digitaux, qui sont non compatibles:

- La ligne "Märklin"
- La ligne DCC

La description qui suit correspond au système DCC. Mais même si le système Märklin diffère dans les détails, le principe de base est le même.

La figure 4 montre le principe du codage du système DCC:

- Tout d'abord, la tension entre les deux rails varie entre +18 v et -18 v. Cette tension peut aller de (+16v/-16v) pour l'échelle N à (+22v/-22v) pour les trains type LGB.
- Ensuite, les informations d'adresses de locos, et valeurs diverses sont transmises en "binaire" sur le bus:
  - Un état "1" est représenté par une alternance positive de largeur T1 de valeur nominale 58 µs suivie par une alternance négative de même durée.
  - Un état "0" est représenté par une alternance positive de largeur T0 de valeur nominale 100 µs suivie par une alternance négative de même durée.



**Figure 4 Codage du système DCC**

Bien entendu, la spécification des durées T0 et T1 va plus loin que ce qui vient d'être dit, mais cela sort du cadre de cette présentation.

La figure 5 montre le synoptique d'un décodeur digital.

Il comporte trois éléments principaux:

- Le pont de redressement, qui permet de récupérer une tension redressée d'environ 16 volts à partir du +18v/-18v fourni par le DCC. Les 2 volts manquants sont dus aux diodes de redressement.
- Le hacheur de tension, qui alimente le moteur de la loco. Il utilise la tension redressée d'une part, et la consigne de vitesse issue du décodeur, de l'autre.
- Enfin le décodeur proprement dit, qui analyse le flot de "0" et de "1" sur le signal DCC: lors de la réception d'une adresse, il vérifie si cette adresse correspond bien à l'adresse de la loco. Si c'est le cas, il prend en compte les données destinées à la locomotive. Ces données sont de deux types:
  - consigne de vitesse (à transmettre au générateur de tension en créneaux).
  - une modification des fonctions F0 à F12. Ces fonctions sont utilisées pour l'éclairage (fonction F0), pour faire siffler le train, ....



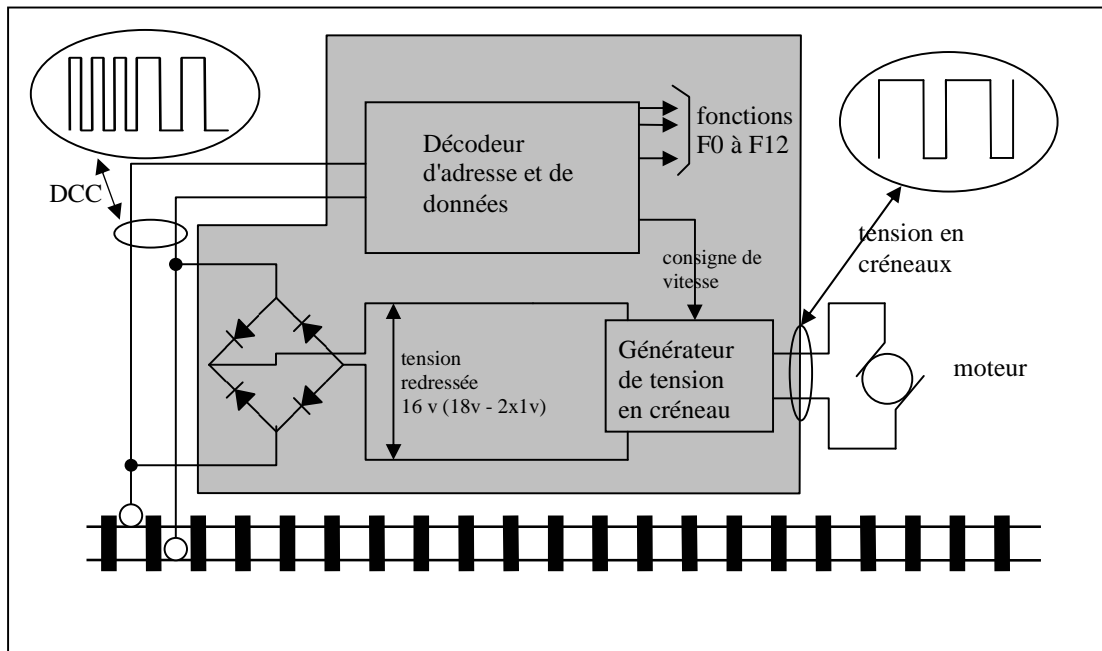


Figure 5 Synoptique d'un décodeur digital

### 3.2 Avantages et inconvénients

#### Avantages

En plus des avantages du "courant pulsé":

- grande souplesse de fonctionnement,
- ralenti remarquables,
- ...

le "digital" apporte les avantages suivants:

- fonctions F0 à F12 utilisables localement dans une loco (fumigène, sifflet, ...).
- Encrassage des rails très inférieur, en raison de l'inversion de polarité.
- Gestion locale (dans la loco) de l'inertie (ralentissement, et accélération).
- Les décodeurs peuvent avoir des fonctions internes bien plus sophistiquées que celles présentées sur la figure 5. Par exemple:
  - Possibilité (sur certains décodeurs) de pouvoir sélectionner la fréquence de hachage: soit 75 Hz, soit fréquence élevée (20Khz), pour les moteurs à rotor sans fer, en particulier.
  - Compensation de charge: les décodeurs munis de ce dispositif sont capables d'assurer une vitesse constante, quelle que soit l'effort de traction (en montée, par exemple).

## Inconvénients

- L'adaptation du matériel roulant:
  - Pas toujours évidente dans le cas de matériel ancien, et surtout à l'échelle N. Placer un décodeur dans une loco vapeur en N procure de grandes joies!
  - coûteuse, si on a un parc important de locos.
- Le digital se prête mal aux petits bricolages astucieux. En "analogique" pur, voire en "courant pulsé", on pouvait encore avoir recours à des dispositifs de sécurité inter-cantons, à base de diodes et de relais, donc à moindre coût. Alors qu'en digital, on doit avoir recours à des dispositifs électroniques du commerce, pilotés soit par des centrales de commande (telles que l'Intellibox de Uhlenbrock) soit par ordinateur et logiciel de contrôle. Dans tout les cas, cela aboutit à des configurations plus puissantes, c'est vrai, mais aussi plus coûteuses qu'en approche analogique.

### **3.3 Mise en oeuvre d'un système digital**

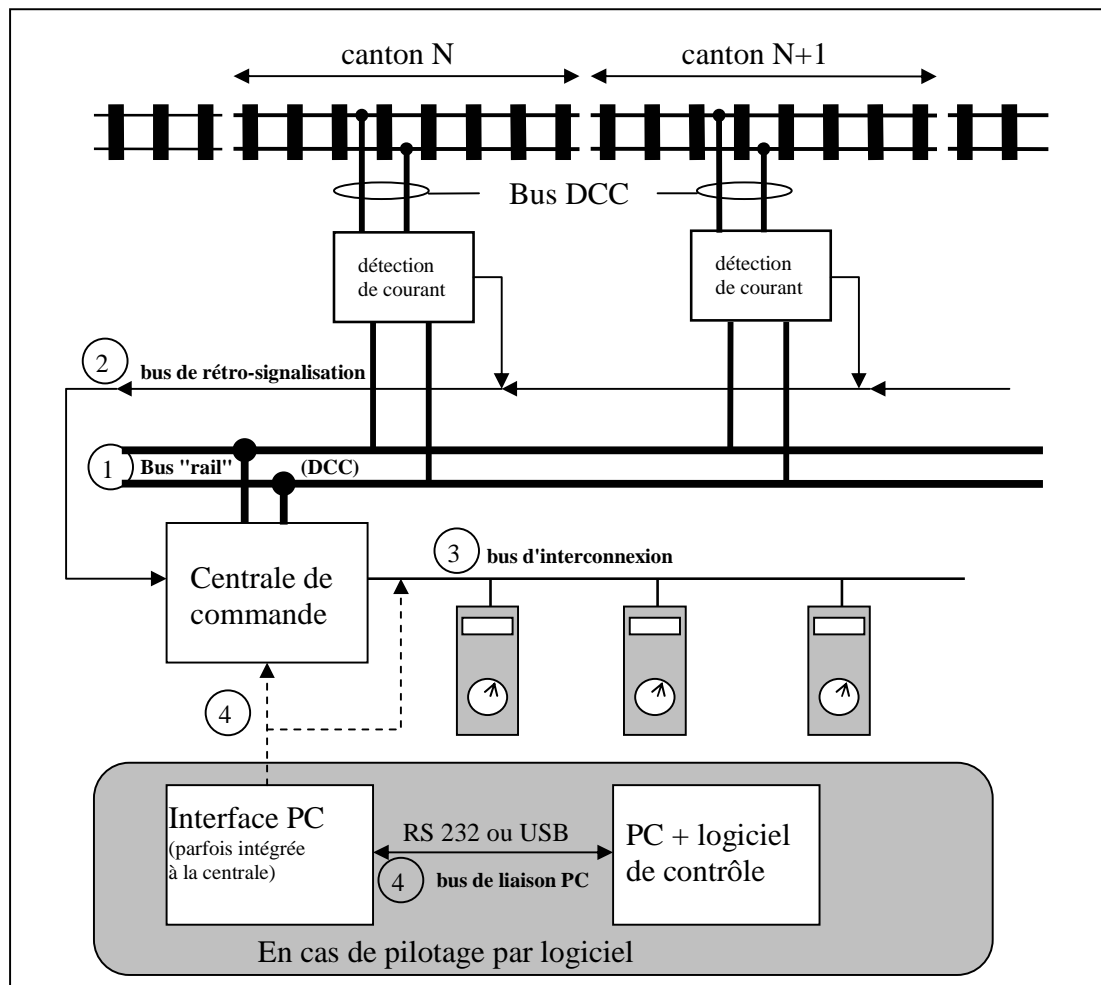
De ce qui précède il ressort qu'il n'est pas strictement nécessaire, contrairement aux systèmes analogiques, et en courant pulsé, d'isoler les cantons les uns des autres par interruption des rails. En effet, comme le bus de contrôle utilise les rails, en digital, l'indépendance des trains est garantie sans avoir recours à des coupures de rails.

Le seul point qui reste non résolu est celui de l'information de position des trains (par le bus de rétro-signalisation: voir figures 3 et 6).

- Si on utilise une détection de présence à base de capteurs opto-électroniques ou magnétiques, alors il n'y a pas besoin d'isoler les rails en début et fin de canton.
- Par contre, si on utilise un système de détection par mesure du courant, alors à nouveau, on doit procéder à cette isolation, pour ne mesurer le courant que sur le canton visé. Comme ce mode de détection est réputé plus fiable que les autres, il est quand même préférable d'isoler les cantons les uns des autres.

La figure 6 montre le synoptique d'un système digital. avec isolation des cantons (donc en vue d'une détection par mesure de courant).

Les modules de détection de courant ne font, en fait, que transmettre le bus "rails" (DCC) à la voie, mais en mesurant l'intensité de courant. Si le courant dépasse une valeur "seuil" (souvent de l'ordre de 1 mA), alors, le module de détection renvoie un signal vers la centrale de commande.



**Figure 6 Mise en oeuvre d'un système de commande digitale**

- Le coeur du système est la centrale de commande (comme la LZV100 sur le système LENZ, ou l'Intellibox de Uhlenbrock pour le système Märklin).
- 4 bus sont connectés à cette centrale:
  - Le bus "rails" (1) qui véhicule le bus de commande, et la puissance traction (bus DCC, ou bus Märklin).
  - Le bus de rétro-signalisation (2) (RS-bus chez Lenz, Loconet chez Digitrax, S88 chez Märklin).
  - Le bus d'interconnexion (3) (XpressNet chez Lenz, Loconet chez Digitrax), qui sert à relier entre elles, et à la station de commande, toutes les unités de contrôles ("throttles" (contrôleurs de trains), ...).
  - Enfin, le bus d'interconnexion au PC, dans le cas d'un pilotage par logiciel (XpressNet sur RS233 ou USB chez Lenz, P50 sur RS232 chez Märklin).