

immédiat. Avant de pouvoir être utilisés par le processeur, ces immédiats doivent subir une transformation. Pourquoi ? Pour chaque type d'immédiat, indiquer la transformation qu'il doit subir, et retrouver le circuit correspondant sur le schéma du processeur.

Question 4.1.2

A partir du format des instructions vu en cours, énumérer les différentes façons de calculer une adresse pour une instruction de chargement. Retrouver les différents composants du circuit du processeur qui interviennent dans le calcul des adresses des instructions de chargement.

Question 4.1.3

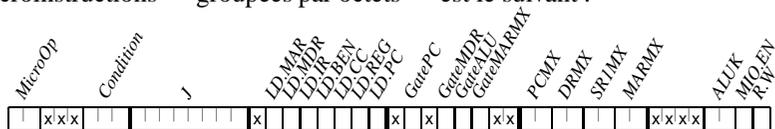
A partir du format des instructions vu en cours, énumérer les différentes façons de calculer l'adresse de destination d'une instruction de branchement. Retrouver les différents composants du circuit du processeur qui interviennent dans le calcul de l'adresse d'une instruction.

Question 4.1.4

On suppose que $PC = 0$ et que l'adresse 0 contient le code de l'instruction ADD R1, R2, R3. Retrouver toutes les étapes nécessaires à l'exécution de cette instruction, en commençant par son chargement. Spécifier à chaque fois la valeur des différents signaux de contrôle. Indiquer à quel cycle chaque signal doit être activé, en supposant que l'on commence l'exécution à $t = 0$. Ensuite, décrire le contrôle de l'exécution de l'instruction sous la forme d'un organigramme.

Exercice 4.2 - Microprogrammation des instructions

On dispose d'un *microcontrôleur* du même type que celui construit au TD précédent. Ce microcontrôleur permet de réaliser le contrôle microprogrammé du LC-2 à l'aide de microinstructions simples et de branchements conditionnels ou non. Il comporte 6 signaux de condition de branchement : le signal \overline{BEN} (qui vaut 1 lorsque le branchement ne doit pas être pris) est sélectionné lorsque $Condition_3 = 000$, et les 5 bits de poids fort du registre d'instruction IR correspondent aux valeurs de $Condition_3$ de 011 à 111. En sortie, ce microcontrôleur est capable de générer les 23 signaux de contrôle du LC-2. Les adresses des microinstructions sont codées sur 8 bits : $J[7:0]$ indique l'adresse de l'instruction suivante en cas de branchement. Le format détaillé des microinstructions — groupées par octets — est le suivant :



(Les 6 signaux concernant la gestion des interruptions ont été omis de cette version simplifiée.)

Question 4.2.1

En utilisant ce microséquenceur, réaliser le microprogramme qui permet de contrôler le processeur pour l'exécution de l'instruction ADD ci-dessus. Tester ce microprogramme.

Question 4.2.2

Écrire l'organigramme de contrôle des instructions AND, BR, STR et LEA, puis compléter le microprogramme précédent pour contrôler l'exécution de ces 4 instructions supplémentaires.

Exercice 4.3 - Programmation en assembleur

On propose d'écrire un petit programme en assembleur, et de l'utiliser pour tester le microprogramme de l'exercice précédent.

Question 4.3.1

Écrire un programme en assembleur LC-2 correspondant au code C suivant, en n'utilisant que les instructions de la question 4.2.2 :

```
for (i=0; i<10; i++) {
    a[i] = i;
}
```

Question 4.3.2

Écrire le code machine correspondant à ce programme assembleur, et vérifier son exécution sur le LC-2.