

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 16834

(54) Système d'entrées/sorties pour un système de traitement par multiprocesseurs.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 06 F 3/04.

(22) Date de dépôt 4 septembre 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *EUA, 7 septembre 1976, n° 721.043.*

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 52 du 24-12-1981.

(71) Déposant : Société dite : TANDEM COMPUTERS, INCORPORATED, résidant aux EUA.

(72) Invention de :

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Bureau D. A. Casalonga, office Josse et Petit,
8, av. Percier, 75008 Paris.

2° demande divisionnaire bénéficiant de la date de dépôt du 6 septembre 1977 de la
demande de brevet initiale n° 77 27011 (art. 14 de la loi du 2 janvier 1968 modifiée).

La présente invention se rapporte à un système de traitement par multiprocesseurs dans lequel des modules de processeurs interconnectés assurent un multitraitement (traitement en simultanéité dans des modules de processeurs séparés) et une multiprogrammation (traitement imbriqué dans un seul module de processeur).

La présente invention concerne, en particulier, un système capable de supporter des débits élevés de données de mouvements vers d'importants fichiers centraux en liaison directe avec l'ordinateur, et dans lequel une défaillance d'un composant unique ne peut ni arrêter ni affecter le fonctionnement du système.

De nombreuses applications exigent un traitement en direct avec l'ordinateur de quantités importantes de données à des débits élevés de mouvements. Ce traitement est, par exemple, nécessaire dans les applications relatives au commerce de détail en ce qui concerne les points de vente automatisés, les inventaires et les opérations de crédit et dans les établissements financiers pour les virements automatisés de fonds et les opérations de crédits.

Dans des applications de calcul de ce genre il est important, et souvent critique, que le traitement des données ne soit pas interrompu. Une défaillance d'un système de traitement en liaison directe avec l'ordinateur peut paralyser une partie de la gestion concernée et causer des pertes importantes de données et d'argent.

Ainsi, un système de ce genre en liaison directe avec l'ordinateur doit fournir non seulement une puissance suffisante de calcul qui permet d'effectuer de nombreux calculs simultanément, mais également un mode d'exploitation qui permet de continuer sans interruption le traitement des données en cas de défaillance d'un composant du système.

Le système doit être conçu soit pour fonctionner même en cas d'incident grave (auquel cas l'incident ne donne lieu à aucune perte de capacité de traitement), soit pour fonctionner en mode "dégradé" (dans lequel il se produit un certain ralentissement mais la capacité totale de traitement est maintenue) en cas de défaillance.

En outre, le système doit également fonctionner de telle manière qu'une défaillance d'un composant unique ne peut affecter

ter l'exploitation du système. Le système doit fournir un calcul qui tient compte des erreurs. Dans le cas d'un calcul qui tient compte des erreurs, toutes les erreurs et défaillances du système doivent être corrigées automatiquement ou bien, si
5 elles ne peuvent être corrigées automatiquement, elles doivent être détectées ou bien, si elles ne peuvent être détectées, elles doivent être limitées et ne doivent pas affecter le reste du système.

Comme un module unique de processeur peut avoir une défaillance, il est évident qu'un système fonctionnant sans interruption en liaison directe avec l'ordinateur doit comporter plus d'un module de processeur.

Les systèmes qui comprennent plus d'un module de processeur peuvent donc satisfaire à l'une des conditions nécessaires à une exploitation non interruptible. Cependant, l'utilisation de plus d'un module de processeur dans un système ne réunit pas, par elle-même, toutes les conditions suffisantes au
15 maintien des capacités requises de traitement en cas de défaillance d'un composant, comme le montrera clairement la description qui va suivre.

Les systèmes de calcul qui sont prévus pour des calculs en liaison directe avec l'ordinateur, de grand volume et orientés vers les données de mouvements, et qui doivent fonctionner sans interruption, nécessitent donc des multiprocesseurs comme point de départ. Mais l'utilisation de multiprocesseurs ne
25 garantit pas que toutes les conditions suffisantes seront satisfaites et l'accomplissement des conditions suffisantes supplémentaires pour les systèmes de ce genre en liaison directe avec l'ordinateur a présenté un certain nombre de difficultés dans l'art antérieur.

L'art antérieur a abordé le problème du traitement ininterrompu des données en suivant généralement deux méthodes : soit en adaptant deux ou plusieurs gros ordinateurs monolithiques universels en vue d'une exploitation en commun, soit en
35 interconnectant plusieurs miniordinateurs afin de fournir des capacités de multitraitement.

Dans le premier cas, c'est-à-dire l'adaptation de deux gros ordinateurs monolithiques universels en vue d'une exploitation en commun, une méthode classique d'approche suivant
40 l'art antérieur consiste à faire partager aux deux ordinateurs

une mémoire commune. Mais dans un système de multitraitement de ce type, une défaillance de la mémoire commune peut paralyser tout le système. La mémoire commune soulève également un certain nombre d'autres difficultés, y compris la mise en séquence des accès à cette mémoire commune. Bien qu'il satisfasse à certaines des conditions nécessaires à un traitement non interruptible, ce système ne répond pas à toutes les conditions suffisantes.

En outre, les systèmes de multitraitement qui utilisent de gros ordinateurs universels sont plutôt coûteux car chaque ordinateur est construit sous la forme d'un ensemble monolithique dans lequel tous les composants (y compris l'ensemble des programmes, le système de refroidissement, etc.) doivent être doublés chaque fois qu'un autre processeur est adjoint au système, même si de nombreux composants doublés ne sont pas nécessaires.

L'autre approche du problème suivant l'art antérieur, qui consiste à utiliser plusieurs miniordinateurs, présente (en commun avec la solution qui consiste à utiliser de gros ordinateurs universels) l'inconvénient de devoir adapter une liaison entre des ordinateurs universels, l'inconvénient de devoir adapter une liaison entre des ordinateurs qui, au départ n'ont jamais été constitués pour assurer une telle liaison. En conséquence, les liaisons nécessaires sont habituellement établies par l'intermédiaire du canal d'entrées-sorties. Les liaisons par l'intermédiaire du canal d'entrées-sorties sont nécessairement plus lentes que les échanges à l'intérieur du processeur lui-même et ces liaisons entre processeurs assurent donc des communications relativement lentes entre les processeurs.

En outre, les liaisons entre processeurs exigent des cartes spéciales d'adaptation qui augmentent sensiblement le coût de l'ensemble du système et qui introduisent la possibilité de défaillances de composants uniques qui pourraient immobiliser le système. Le fait de doubler les liaisons entre processeurs et les cartes d'adaptation afin d'éviter les problèmes de défaillances de composants critiques uniques, augmente encore plus sensiblement le coût de l'ensemble du système.

Le doublement des liaisons et des cartes d'adaptation entre tous les processeurs est devenu très encombrant et plutôt complexe du point de vue de l'exploitation.

Une autre difficulté de l'art antérieur réside dans la manière dont les connexions sont faites aux appareils périphériques.

Si plusieurs appareils périphériques sont connectés à une ligne unique d'entrées-sorties d'un processeur faisant partie d'un système de traitement par multiprocesseurs et si ce processeur a une défaillance, les appareils périphériques seront alors indisponibles pour le système, même si le processeur défaillant est connecté par une liaison entre processeurs à un ou plusieurs autres processeurs du système.

Afin d'éviter cette difficulté, on a prévu dans l'art antérieur un commutateur de lignes d'entrées-sorties qui permet d'interconnecter les lignes d'entrées-sorties, afin d'assurer des accès continus aux appareils périphériques en cas de défaillance d'un processeur relié aux appareils périphériques par une ligne particulière d'entrées-sorties. Les commutateurs de lignes sont coûteux et ils présentent également le danger de défaillances individuelles qui pourraient provoquer la coupure d'une partie sensible de l'ensemble du système.

La fourniture du logiciel aux systèmes de traitement par multiprocesseurs de l'art antérieur constitue également un important problème.

Le logiciel des systèmes d'exploitation conçus pour ces systèmes de multitraitement tendent à être inexistantes. Lorsqu'un logiciel est réalisé pour ces systèmes de traitement par multiprocesseurs, il est très souvent limité à un petit nombre de processeurs et il n'est pas adapté à l'adjonction de processeurs supplémentaires. Dans de nombreux cas, il faut soit modifier le système d'exploitation, soit inclure certaines des fonctions du système d'exploitation dans le programme de l'utilisateur, ce qui constitue une opération longue et coûteuse.

Dans l'art antérieur, un système d'exploitation standard et satisfaisant de liaisons des processeurs fait défaut. De même, on ne dispose pas d'un système d'exploitation permettant d'adjoindre automatiquement des processeurs supplémentaires dans un système de multitraitement constitué pour recevoir une adjonction modulaire de processeurs, lorsqu'un accroissement de la puissance de calcul est nécessaire.

Un premier objet de la présente invention est de fournir

un système de traitement par multiprocesseurs, en vue d'applications en liaison directe avec l'ordinateur et orientées vers les données de mouvements, qui élimine les difficultés rencontrées dans l'art antérieur.

5 Un objet fondamental de la présente invention est d'assurer qu'aucune défaillance individuelle ne peut immobiliser le système ni affecter de manière significative l'exploitation du système. A cet égard, le système qui fait l'objet de la présente invention est construit de telle sorte qu'aucun composant
10 unique n'est connecté à une partie du système, mécaniquement ou électriquement.

La garantie que toute erreur qui se produit peut être corrigée, détectée ou empêchée d'affecter le système est un objet en étroite relation avec la présente invention.

15 La présente invention a encore pour objet important de fournir une structure de système et un mode fondamental d'exploitation qui libèrent l'utilisateur de la nécessité d'intervenir dans le matériel composant le système et dans le protocole de liaison entre les processeurs. Dans la présente invention,
20 chaque composant principal se présente sous une forme modulaire de manière à pouvoir être démonté ou remplacé sans qu'il soit nécessaire d'immobiliser le système. En outre, ce dernier peut être élargi sur place (soit horizontalement par l'adjonction de modules standards de processeurs, soit verticalement dans la
25 plupart des cas par l'adjonction d'appareils périphériques, sans interruption du système ni modification du matériel ou du logiciel.

Le système de traitement par multiprocesseurs qui fait l'objet de la présente invention se compose de plusieurs modules de
30 processeurs indépendants et de plusieurs circuits indépendants de données.

Dans un exemple particulier de réalisation de la présente invention, 16 modules séparés de processeurs sont interconnectés par l'intermédiaire d'une ligne entre processeurs en vue du
35 multitraitement et de la multiprogrammation. Dans cet exemple particulier de réalisation, chaque module de processeur supporte jusqu'à 32 organes de commande d'appareils et chacun d'eux peut commander jusqu'à huit appareils périphériques.

Plusieurs circuits et sorties indépendants sont prévus
40 entre tous les composants principaux du système pour assurer

qu'une communication est toujours possible, par l'intermédiaire de deux circuits au moins, entre les modules de processeurs et entre ceux-ci et les appareils périphériques, et pour assurer également qu'une défaillance unique n'arrêtera pas l'exploitation du système.

Ces multiples circuits de liaison comprennent des lignes multiples interconnectant chacun des modules de processeurs, des sorties multiples dans chaque organe de commande des appareils et des lignes d'entrées-sorties connectant chaque organe de commande des appareils pour permettre l'accès par deux modules différents de processeurs au moins.

Chaque module de processeur est un module standard et il comprend une mémoire centrale, un appareil de commande entre processeurs et un canal d'entrées-sorties qui font partie du module d'une unité centrale.

Chaque module de processeur comporte un microprocesseur alimenté et exploité au moyen de microinstructions incluses sous la forme d'un jeu d'instructions fondamentales dans chaque module de processeur.

Le jeu d'instructions fondamentales incorporé dans chaque module de processeur implique le fait d'une liaison entre processeurs et, lorsqu'un module de processeur supplémentaire est adjoint au système, le système d'exploitation (dont une copie se trouve dans chaque module de processeur) est informé de la disponibilité d'une nouvelle ressource exploitable au sein du système d'exploitation existant, sans qu'il faille modifier ni le matériel ni le logiciel du système.

Pour augmenter ses performances et maintenir des débits très élevés de mouvements, chaque module de processeur comprend un deuxième microprocesseur qui est consacré aux opérations d'entrées-sorties.

Un accès à double entrée à la mémoire centrale, par l'intermédiaire de l'unité centrale et du canal d'entrées-sorties, permet un accès direct à la mémoire pour les transferts d'entrées-sorties afin d'augmenter également leurs performances.

Chaque module de processeur est matériellement constitué pour s'adapter sur un nombre minimal de grandes plaquettes à circuits imprimés. Le fait de n'utiliser que quelques plaquettes pour chaque module de processeur ménage une place pour l'ensemble des programmes et réduit au minimum la longueur de

la liaison entre processeurs, requise pour interconnecter tous les modules de processeurs. Une liaison relativement courte entre processeurs réduit au minimum la distorsion des signaux dans la liaison entre processeurs et permet une vitesse élevée de communication entre les processeurs.

Chaque ligne entre processeurs est une ligne synchrone à grande vitesse qui réduit au minimum la servitude dans les communications entre processeurs et qui permet au système de réaliser des débits élevés.

Un contrôleur séparé de ligne surveille toutes les transmissions sur la ligne. Le contrôleur de ligne inclut une logique de sélection de processeur pour déterminer la priorité d'échange de données entre deux modules quelconques de processeurs sur la ligne entre processeurs. Le contrôleur de ligne comprend également un état logique de commande de la ligne afin de constituer une paire émettrice-réceptrice de modules de processeurs et une base de temps pour un échange d'informations sur la ligne entre la paire émettrice-réceptrice de modules de processeurs.

Chaque contrôleur de ligne comprend une horloge de ligne et chaque unité centrale de chaque module de processeur possède sa propre horloge. Il n'y a donc pas de système d'horloge-mère susceptible de subir une défaillance individuelle qui pourrait immobiliser l'ensemble du système de traitement par multiprocesseurs.

Chaque module de processeur comprend, dans le contrôleur entre processeurs du module de processeur, un certain nombre de circuits montés sur des plaquettes à circuits imprimés et qui sont consacrés aux communications par les lignes entre processeurs.

Chaque commande entre processeurs comprend également des mémoires-tampons à accès rapide (mémoires-tampons en file d'attente et une mémoire-tampon hors de la file d'attente) qui peuvent être vidées et remplies par l'unité centrale sans perturber la ligne entre les processeurs. Ceci permet de maintenir dans la ligne entre processeurs un débit de données supérieur à celui qui pourrait maintenir n'importe quelle paire unique de processeurs. Plusieurs échanges de données entre les paires de modules de processeurs peuvent être imbriqués sur une base apparemment simultanée.

Du fait que la ligne entre processeurs fonctionne de manière

asynchrone par rapport à chaque unité centrale particulière, chaque mémoire-tampon en file d'attente et hors de la file d'attente est rythmée par le module de processeur ou par le contrôleur de ligne, mais pas par les deux simultanément.

5 Par conséquent, à chaque mémoire-tampon en file d'attente et à chaque mémoire-tampon hors de la file d'attente sont associées, dans la commande entre processeurs, une logique qui fonctionne en synchronisme avec l'horloge de ligne et une autre logique qui fonctionne en synchronisme avec l'horloge de l'unité
10 centrale. Les verrouillages logiques déterminent certains passages de la logique d'un état à un autre afin d'empêcher une perte de données dans les échanges entre les lignes asynchrones entre processeurs et le module de processeur.

15 La logique est également disposée pour que, dans le cas où l'alimentation d'un module de processeur baisserait, il n'y ait aucun effet transitoire sur les lignes entre processeurs parce que le module de processeur est en train de perdre le contrôle. Une baisse d'alimentation du module de processeur sur une ligne entre processeurs ne troublera donc pas l'activité
20 d'une autre ligne entre processeurs.

Le contrôleur de ligne et la commande entre processeurs de chaque module de processeur agissent donc conjointement pour effectuer la gestion de toutes les lignes entre processeurs simultanément au traitement par les unités centrales, de sorte
25 qu'il n'y a aucun gaspillage de la puissance de traitement. Cette gestion des lignes est réalisée avec une faible servitude envers le protocole du fait qu'il faut très peu de cycles de lignes entre processeurs pour établir un échange de lignes (quels que soient le module de processeur qui est émetteur et le module
30 de processeur qui est récepteur) relativement à la quantité d'informations réellement transmises.

La logique de sélection des processeurs du contrôleur de ligne comprend une ligne individuelle de sélection qui relie la logique de sélection des processeurs à chaque module de processeur. Les lignes de sélection sont utilisées de trois manières
35 dans le protocole d'établissement d'une paire émettrice-réceptrices de modules de processeurs et d'une base de temps pour l'échange d'informations sur la ligne entre la paire émettrice-réceptrice. Les lignes de sélection sont utilisées a) en balayage pour déterminer quel module particulier de processeur est
40

désireux d'émettre, b) en réception pour interroger un module de processeur et savoir si ce module particulier de processeur veut recevoir et c) en combinaison avec une instruction d'émission pour faire connaître au module du processeur émetteur la
5 base de temps afin d'émettre.

Le module du processeur récepteur est qualifié pour recevoir des données "en entrée" non sollicitées par lui et sans instruction du programme.

Les blocs de données entre une paire émettrice-réceptrice de modules de processeurs sont transmis en paquets par la ligne
10 reliant les processeurs. A la fin de chaque transmission de paquet, la commande entre processeur d'un module de processeur récepteur est déconnectée logiquement de la ligne entre processeurs pour permettre à la logique de l'état de contrôle des lignes de
15 mettre en séquence une paire différente émettrice-réceptrice de modules de processeurs ainsi qu'une base de temps, afin d'effectuer une transmission de paquet entre l'autre paire émettrice-réceptrice de modules de processeurs. Ainsi, comme on l'a noté
20 ci-dessus, plusieurs transmissions de blocs de données entre différentes paires émettrices-réceptrices de modules de processeurs peuvent donc être imbriquées dans la ligne reliant les processeurs sur une base apparemment simultanée, du fait de la fréquence de base plus rapide de la ligne entre processeurs, comparativement à la vitesse plus faible de la mémoire des modules de
25 processeurs.

Chaque mémoire de module de processeur comprend une mémoire-tampon séparée pour chaque combinaison d'un module de processeur et d'une ligne entre processeurs.

Chaque mémoire inclut également une table de réception de
30 ligne pour diriger les données "en entrée" venant d'une ligne entre processeurs vers une position déterminée d'une mémoire-tampon correspondante de la mémoire d'un module de processeur récepteur. Chaque table de réception de ligne fournit une entrée de table de réception de ligne qui contient l'adresse dans laquelle doivent être mémorisées les données "en entrée", et le
35 nombre de mots attendus du module de processeur émetteur. L'entrée de la table de réception des lignes est mise à jour par des micro-instructions dans le module du processeur après la réception de chaque paquet et elle opère avec les micro-instructions
40 soit pour fournir une interruption de programme lorsque le bloc

entier de données a été reçu avec succès soit pour fournir une interruption au programme du logiciel en cours de déroulement dans le module de processeur, en réponse à la détection d'une erreur de transmission des données dans la ligne entre processeurs. La production d'une interruption du programme à la fin seulement de la transmission du bloc de données permet de rendre la transmission de données transparente au programme du logiciel en cours de déroulement dans le module de processeur. L'interruption en réponse à la détection d'une erreur fournit un contrôle d'intégrité de la transmission des données.

Le sous-système d'entrées-sorties du système de traitement par multiprocesseurs qui fait l'objet de la présente invention est constitué de manière telle qu'aucune défaillance individuelle de module de processeur ne peut gêner l'exploitation du système.

En outre, le sous-système d'entrées-sorties est constitué pour traiter des données à des débits très élevés de mouvements, pour optimiser la capacité de traitement et pour réduire au minimum les perturbations des programmes en cours de déroulement dans les modules de processeurs.

Comme on l'a noté ci-dessus, chaque module de processeur comprend un microprocesseur qui est consacré aux opérations d'entrées-sorties.

Le système d'entrées-sorties est un système à interruptions et il ne fournit une interruption de programme que lorsque la transmission des données est terminée. Ceci libère l'unité centrale de son rôle vis-à-vis de l'appareil pendant la transmission des données.

Chaque canal d'entrées-sorties est multiplexé par blocs pour traiter plusieurs transmissions de données par blocs depuis plusieurs organes de commande sur une base apparemment simultanée. Pour accomplir cette fonction, on imbrique des tranches de données de longueur variable dans les transmissions entre le canal d'entrées-sorties et les mémoires-tampons des organes de commande, sensibles aux contraintes.

Comme on l'a noté ci-dessus, chaque organe de commande comprend plusieurs entrées et une ligne séparée d'entrées-sorties est connectée à chaque entrée, de sorte que chaque organe de commande est connecté par l'intermédiaire d'au moins deux modules de processeurs différents.

Les entrées de chaque organe de commande sont constituées de telle sorte que chacune d'elles est logiquement et matériellement indépendante de l'autre. Aucune partie de composant d'une entrée ne constitue en même temps un composant d'une autre
5 entrée, de sorte qu'aucune défaillance individuelle d'un composant d'une entrée ne peut affecter le fonctionnement d'une autre entrée.

Chaque organe de commande inclut une logique qui assure la sélection d'une entrée d'accès seulement à la fois, de sorte que
10 la transmission de données erronées à une entrée ne peut jamais affecter une autre entrée.

Le système d'entrées-sorties qui fait l'objet de la présente invention relie les appareils périphériques en mode "dégradé". Il existe plusieurs circuits conduisant à chaque appareil particulier pour le cas d'une défaillance dans un circuit. Et une défaillance de l'appareil ou une défaillance du module de proces-
15 seur situé le long d'un circuit n'affecte pas l'exploitation d'un module de processeur sur un autre circuit conduisant à l'appareil.

Le système d'entrées-sorties qui fait l'objet de la présente invention est également constitué de telle sorte que n'importe quel type d'appareil peut être placé dans le système et le système d'entrées-sorties utilisera encore au maximum la largeur de bande du canal d'entrées-sorties.

Les organes de commande sont équipés d'une mémoire-tampon de sorte que toutes les transmissions entre les organes de commande et le canal d'entrées-sorties s'effectuent au débit maximal du canal.

L'organe de commande peut transmettre entre lui-même et un
30 appareil périphérique, des données sous forme de multiplets, mais l'organe de commande doit condenser et séparer les données afin de transmettre des mots entre lui-même et le canal d'entrée sorties.

Comme les mémoires-tampons sont disposées dans les organes de commande plutôt que dans le canal d'entrées-sorties, la présente invention limite la mise en mémoire-tampon à celle qui est requise par une composition particulière du système. La présente invention ne nécessite pas une mémoire-tampon séparée pour chaque
35 appareil périphérique afin d'éviter des surcharges, comme ce serait nécessaire si les mémoires-tampons étaient situées dans le
40

canal d'entrées-sorties plutôt que dans les organes de commande comme cela était souvent le cas dans l'art antérieur.

Comme on l'a noté ci-dessus, chaque mémoire-tampon est sensible aux contraintes et ceci procure un double avantage.

5 Tout d'abord, chaque mémoire-tampon peut être constituée de manière à posséder une profondeur totale en relation avec le type et le nombre d'appareils à desservir. Chaque organe de commande peut donc comporter une mémoire-tampon dont la capacité est fonction du type d'appareils à commander.

10 Ensuite, la constitution des mémoires-tampons sensibles aux contraintes et le mode de fonctionnement de la présente invention permettent aux mémoires-tampons de combiner leur action sans communiquer entre elles. Cette caractéristique permet, à son tour, une utilisation efficace et optimale de la largeur de bande du canal d'entrées-sorties.

15 La contrainte appliquée à une mémoire-tampon particulière est déterminée par le degré de remplissage ou de vide de la mémoire-tampon en combinaison avec le sens de la transmission par rapport au module de processeur. La contrainte augmente lorsque l'appareil périphérique a accès à la mémoire-tampon et elle diminue lorsque c'est le moyen de canal d'entrées-sorties qui a accès à la mémoire-tampon.

20 Chaque mémoire-tampon a une profondeur qui est la somme d'une profondeur de seuil et d'une profondeur d'attente. La profondeur de seuil est fonction du temps nécessaire pour desservir les organes de commande fortement prioritaires, tandis que la profondeur d'attente est liée au temps nécessaire pour desservir les organes de commande faiblement prioritaires connectés au même canal d'entrées-sorties.

25 La mémoire-tampon sensible aux contraintes inclut une logique de commande afin de garder la trace de la contrainte appliquée à la mémoire-tampon. La logique de commande est efficace pour effectuer des demandes de remise en service au canal d'entrées-sorties lorsque la contrainte traverse une profondeur de seuil de la mémoire-tampon.

30 Chaque mémoire-tampon qui a une demande de remise en service en cours, est connectée individuellement au canal d'entrées-sorties conformément à un programme de balayage qui résout la priorité parmi tous les organes de commande qui ont une demande de remise en service en cours.

35

40

Lorsque l'organe de commande est connecté au canal d'entrées-sorties, les données sont transmises entre la mémoire-tampon et le canal d'entrées-sorties en une tranche à ou au voisinage de la vitesse de la mémoire.

5 Ainsi, parce que les mémoires-tampons transmettent les données allant vers et venant des appareils périphériques à la vitesse relativement faible des appareils et parce qu'ils peuvent transmettre des données allant vers et venant des modules de processeurs à ou au voisinage de la vitesse de la mémoire
10 sous forme de transmissions par tranches, et en réponse à la contrainte appliquée à la mémoire-tampon, les transmissions par tranches peuvent être multiplexées par une division du temps, de sorte que des tranches individuelles venant de plusieurs organes de commande peuvent être imbriquées afin d'optimiser l'utilisation efficace de la largeur de bande du canal
15 d'entrées-sorties et afin également de pouvoir effectuer plusieurs transmissions de blocs à partir de différents organes de commande sur une base apparemment simultanée.

20 Des contrôles complets d'erreurs et des moyens de limitation d'erreurs sont prévus pour toutes les transmissions de données dans les circuits de données du système de traitement par multiprocesseurs.

25 Des contrôles complets d'erreurs et des moyens de limitation d'erreurs sont prévus pour toutes les transmissions de données dans les circuits de données du système de traitement par multiprocesseurs.

30 Les contrôles d'erreurs comprennent la totalisation des contrôles d'erreurs et des contrôles de parités dans les circuits des données correction d'erreurs dans le système de la mémoire centrale.

 Les contrôles d'erreurs concernent également les limitations des intervalles de blocage dans le canal d'entrées-sorties.

35 La limitation des erreurs est prévue dans le système d'entrées-sorties par une table de commande des entrées-sorties comportant une clé de deux mots pour chaque appareil périphérique afin de définir une zone de mémoire-tampon dans la mémoire centrale et la longueur de comptage du multiplet restant à transmettre à n'importe quel moment particulier pour une transmission particulière de données à un appareil. La table
40 de commande d'entrées-sorties est placée dans chaque processeur

au lieu de se trouver dans les organes de commande, afin de limiter les résultats d'une défaillance dans le mot de comptage ou le mot-adresse au seul module de processeur dans lequel le mot de comptage ou le mot-adresse est matériellement positionné. Chaque module de processeur qui est connecté pour accéder aux organes communs de commande et aux appareils connexes, contient sa propre copie de la table de commande d'entrées-sorties. La défaillance d'une clé de table dans un module de processeur n'affecte pas l'autre module de processeur car ce dernier possède sa propre copie correcte de la clé de la table.

Le système de traitement par multiprocesseurs qui fait l'objet de la présente invention comprend un système d'alimentation électrique qui alimente séparément les modules de processeurs et les organes de commande de manière à assurer une exploitation ininterrompue du reste du système de traitement par multiprocesseurs, en cas de défaillance dans l'alimentation électrique d'une partie du système de traitement par multiprocesseurs.

L'alimentation d'un module quelconque de processeur ou d'un organe de commande peut être coupée de manière à permettre l'entretien direct hors tension, alors que le reste du système de traitement par multiprocesseurs reste alimenté et opérationnel.

L'alimentation électrique comprend une alimentation séparée pour chaque module de processeur et deux alimentations séparées pour chaque organe de commande.

Les deux alimentations électriques séparées sont opérationnellement associées à l'organe de commande par l'intermédiaire d'un commutateur qui permet à une alimentation de fournir toute la puissance nécessaire à l'organe de commande en cas de défaillance de l'autre alimentation.

L'alimentation électrique qui fait l'objet de la présente invention crée également un signal d'alarme en cas de panne d'alimentation, qui a pour effet de conserver l'état logique du module de processeur en cas de panne d'une alimentation associée à ce module de processeur. Lorsque la tension est rétablie, le module de processeur est remis en fonctionnement dans un état qui est connu et sans pertes de données.

La mémoire du système de traitement par multiprocesseurs qui fait l'objet de la présente invention est divisée en quatre

zones logiques, à savoir les données de l'utilisateur, les données du système, le code de l'utilisateur et le code du système. Cette division de la mémoire en quatre zones séparées d'adresses logiques sépare le code des données de sorte que le code
5 peut être rendu non modifiable, et elle sépare également les programmes du système d'exploitation des programmes de l'utilisateur de sorte que les utilisateurs ne peuvent pas détruire par inadvertance le système d'exploitation.

Le système de traitement par multiprocesseurs qui fait
10 l'objet de la présente invention comprend un topogramme de mémoire qui accomplit plusieurs fonctions.

Une fonction du topogramme consiste à fournir un système à mémoire virtuelle dans lequel tous les codes et toutes les données sont translatables de manière inhérente, de sorte que
15 l'utilisateur n'a pas à se préoccuper de l'emplacement physique réel du système ou des programmes de l'utilisateur, ni de l'étendue de la mémoire physique connectée au système.

Le topogramme traduit les adresses logiques en adresses physiques pour constituer des pages de la mémoire centrale et
20 il fournit des interruptions pour fautes de pages pour les pages qui ne sont pas dans la mémoire centrale. Le système d'exploitation extrait les pages d'une mémoire auxiliaire (c'est-à-dire une mémoire implantée dans les appareils périphériques) et les introduit dans la mémoire centrale disposée dans le module
25 de processeur comme cela est nécessaire pour mettre en oeuvre un système à mémoire virtuelle dans lequel les adresses des pages physiques sont invisibles aux utilisateurs et dans lequel il n'est pas nécessaire que les pages logiques soient implantées dans des pages physiques contiguës ni qu'elles se trouvent dans
30 la mémoire centrale physique, mais dans lequel elles peuvent être dans une mémoire auxiliaire.

Le topogramme fournit également une fonction de protection et une fonction de gestion de la mémoire.

Le topogramme fournit un topogramme séparé pour chaque zone
35 logique séparée de mémoire.

Ce topogramme fournit une protection en séparant le code des données et également en séparant les programmes de l'utilisateur des programmes du système, comme on l'a fait remarquer ci-dessus.

40 Il fournit également une protection entre les utilisateurs

dans le cadre d'une exploitation en multiprogrammation car le topogramme qui est opérant pour un utilisateur particulier indique uniquement les pages physiques en mémoire du programme de cet utilisateur, ce qui empêche un utilisateur d'écrire dans une page
5 du programme d'un autre utilisateur. Cette caractéristique d'un topogramme d'utilisateur empêche donc un utilisateur de détruire le programme d'un autre utilisateur, sans qu'il soit nécessaire de recourir à des registres de protection.

En liaison avec le système d'exploitation, le topogramme accomplit une fonction de gestion de la mémoire de manière à réduire la servitude dans la gestion du système de mémoire a) en rendant disponibles des pages de la mémoire auxiliaire, b) en gardant une trace de la fréquence d'utilisation des pages physiques dans la mémoire centrale, c) en réduisant les transmissions d'entrées-sorties des pages de la mémoire virtuelle, et d) en réduisant les interruptions apportées au système d'exploitation. La
15 manière dont le topogramme accomplit ces fonctions fournit un système à mémoire virtuelle efficace.

Le nombre des pages disponibles dans la mémoire physique centrale est limité. Des pages physiques doivent donc parfois être extraites de la mémoire auxiliaire et introduites dans la mémoire physique centrale.

Un aspect important d'une gestion efficace de la mémoire est de garder une trace des pages de la mémoire physique centrale qui sont utilisées suffisamment fréquemment pour devoir être
25 retenues dans la mémoire physique centrale.

Un autre aspect important est de savoir si des pages particulières de la mémoire physique centrale peuvent être écrites (recouvertes) sans devoir être d'abord transférées sur une mémoire
30 re auxiliaire.

Le topogramme inclut des bits historiques qui font partie de l'entrée du topogramme pour chaque page. Ces bits historiques (qui se trouvent physiquement dans l'entrée du topogramme) donnent un histogramme de l'utilisation de la page physique donnée pendant une certaine période de temps. Et, dans la présente invention, les bits historiques sont périodiquement mis à jour par
35 l'ordinateur sans la nécessité d'intervention des programmes.

Chaque entrée de topogramme comprend également un bit-clé qui indique si une page particulière a été extraite de la mémoire
40 re auxiliaire.

Dans le topogramme même est donc incluse une information qui permet au système de gestion de la mémoire de déterminer si une page particulière de la mémoire physique centrale est un bon candidat au recouvrement (lorsqu'il est nécessaire d'extraire
5 une page de la mémoire auxiliaire et qu'aucune page vide ou page de code de la mémoire physique centrale n'est disponible pour un recouvrement) et pour déterminer également, si un recouvrement est nécessaire, s'il faut ou non transférer la page recouverte sur une mémoire auxiliaire avant que la page puisse être
10 recouverte. Comme des copies de toutes les pages sans bit-clé sont conservées dans la mémoire auxiliaire, aucune introduction en mémoire n'est nécessaire si le bit-clé n'est pas sur la page.

Le topogramme est contenu dans une partie de la mémoire qui est séparée de la mémoire centrale. Chaque topogramme est
15 constitué de manière à fournir un accès significativement plus rapide que l'accès à la mémoire physique centrale, de sorte que le topogramme peut être récrit pendant le temps où un accès à la mémoire physique est en train de s'effectuer. La ré-écriture du topogramme n'augmente donc pas la durée du cycle de la mémoire.

20 Comme on l'a noté ci-dessus, la mémoire comprend un double accès d'entrée pour l'unité centrale et pour le canal d'entrées-sorties. Ce dernier peut donc accéder directement à la mémoire, sans avoir à traverser l'unité centrale, pour des transmissions de données allant vers et venant d'un organe de commande. Les
25 accès de l'unité centrale à la mémoire et les accès du canal d'entrées-sorties à cette même mémoire peuvent donc être imbriqués dans le temps.

Toutes les transmissions de données venant de ou allant vers la mémoire en passant par le canal d'entrées-sorties sont effectuées par l'intermédiaire du topogramme des données du système.
30 Le topogramme des données du système ajoute des bits supplémentaires au cours de la traduction des adresses logiques en adresses physiques, ce qui permet d'accéder à un plus grand nombre de mots de la mémoire physique en utilisant une adresse logique
35 plus courte pour accéder à un espace physique plus grand que la longueur même des mots le permettrait normalement.

La présente invention fournit également une méthode de décodage de syndrome afin de décoder et de corriger les erreurs dans les modules de mémoires à semiconducteurs.

40 La zone de mémorisation du module de mémoire à semi-

conducteurs comprend des mots de 22 bits. Chaque mot comprend une zone de 16 bits d'information et une zone de six bits de contrôle.

5 Chaque module de mémoire comprend un détecteur d'erreurs pour corriger simultanément chaque bit unique, détecter toutes les erreurs de bits doubles et un grand nombre des erreurs de bits triples ou davantage en n'importe quel point du mot de 22 bits. La correction des erreurs inclut un générateur de bits de contrôle, un comparateur de bits de contrôle et un décodeur
10 de syndrome.

Le générateur de bits de contrôle fournit un code dans lequel chaque bit de contrôle est une combinaison linéaire de huit bits d'information et dans lequel chaque bit d'information est un composant d'exactly trois bits de contrôle.

15 Le comparateur de bits de contrôle fournit six bits de syndrome de sortie. L'entrée de chacun des bits de syndrome de sortie comprend huit bits d'information et un bit de contrôle.

Le décodeur de syndrome interprète la valeur des six bits de syndrome de sortie et identifie la présence ou l'absence
20 d'erreurs et le type d'erreurs, le cas échéant, dans le mot de 22 bits.

Un complémentateur de bits d'information est également prévu pour inverser une erreur de bit unique d'information, détectée par le décodeur de syndrome, et ainsi pour corriger l'erreur.

25 Le système de mémoire à semi-conducteurs tolère donc des erreurs de bits uniques et il peut être exploité malgré ces erreurs de bits uniques jusqu'au moment qui convient pour réparer la mémoire.

30 Le système et les méthodes de traitement par multiprocesseurs qui incorporent la structure et les techniques décrites ci-dessus et qui sont opérationnels suivant la description ci-dessus, constituent d'autres objets particuliers de la présente invention.

35 La présente invention sera bien comprise à la lecture de la description suivante faite en relation avec les dessins ci-joints dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma de fonctionnement, en perspective isométrique, d'un système de traitement par multiprocesseurs constitué suivant un exemple de réalisation de la présente invention. La figure 1 représente plusieurs modules 33 de processeurs
40

connectés par deux lignes 35 entre processeurs (une ligne X et une ligne Y), chaque ligne étant contrôlée par un contrôleur de ligne 37. La figure 1 représente également plusieurs organes de commande 41 à double entrée, chaque organe de commande étant
5 connecté aux lignes 39 d'entrées-sorties de deux modules de processeurs ;

- la figure 2 est un schéma de fonctionnement représentant les détails des connexions du contrôleur de la ligne X et du contrôleur de la ligne Y aux modules individuels de processeurs.
10 La figure 2 représente, sous forme schématique, les connexions reliant chaque contrôleur de ligne à la commande 55 d'un module individuel de processeur ;

- la figure 3 est une vue schématique détaillée de la logique de l'un des contrôleurs de ligne 37 représentés à la figure
15 2 ;

- la figure 4 est une vue schématique détaillée de la logique prévue pour la mémoire-tampon de sortie et la commande 67 communes dans la commande 55 d'un module de processeur représentée à la figure 2 ;

20 - la figure 5 est une vue similaire à la figure 4, mais représentant la logique prévue pour une mémoire-tampon dans la file d'attente et une commande 65 de la commande 55 d'un module de processeur ;

- la figure 6 est un schéma d'état de la logique 81 prévue
25 pour un contrôleur de ligne 37 et elle illustre la manière dont la logique répond aux lignes du protocole entrant dans le contrôleur de ligne et crée les lignes du protocole allant du contrôleur de ligne aux modules de processeur ;

- la figure 7 est un schéma d'état similaire à la figure 6,
30 mais représentant les logiques 73 et 75 prévues pour la mémoire-tampon hors de la file d'attente et la commande 67 communes de la figure 4 ;

- la figure 8 est un schéma d'état similaire aux figures
35 6 et 7, mais représentant les logiques 93 et 101 prévues pour la mémoire-tampon dans la file d'attente et la commande 65 de la figure 5 ;

- la figure 9 est une vue schématique représentant la séquence chronologique utilisée pour la transmission d'un paquet donné entre un module de processeur émetteur et un module de
40 processeur récepteur ;

- la figure 10 est un schéma logique de la partie logique 75 de l'état de vide de la ligne et de la partie logique 73 de l'état de remplissage de la mémoire-tampon hors de la file d'attente et de la commande 67 représentées à la figure 4 ;

5 - la figure 11 est une liste d'équations logiques utilisées pour le schéma logique représenté à la figure 10 ;

- la figure 12 est un schéma de fonctionnement du système d'entrées-sorties du système de traitement par multiprocesseurs représenté à la figure 1 ;

10 - la figure 13 est un schéma de fonctionnement du canal 109 d'entrées-sorties d'un module de processeur. La figure 13 représente les composants principaux du canal d'entrées-sorties et le circuit des données reliant à ces composants ;

15 - la figure 14 est une vue détaillée représentant les conducteurs individuels de la ligne 39 d'entrées-sorties de la figure 1 ;

20 - la figure 15 est un schéma de protocole de canal d'entrées-sorties montrant les changements d'état de la ligne T 153 pour une entrée-sortie d'exécution causées par le micro-programme 115 dans l'unité centrale 105. La séquence illustrée est déclenchée par l'unité centrale 105 et elle est transmise, par l'intermédiaire du canal d'entrées-sorties 109 du module de processeur 33 et la ligne T 153, à un organe de commande 41 représenté à la figure 1 ;

25 - la figure 16 est un schéma de protocole de canal d'entrées-sorties montrant les changements d'état de la ligne T 153 pour une séquence de reconnexion et de transmission de données déclenchée par le microprogramme 121 du canal d'entrées-sorties en réponse à un signal de demande émis par un organe de commande 41 ;

30 - la figure 17 est un schéma de protocole de canal d'entrées-sorties montrant les changements d'état de la ligne T 153 pour une instruction d'entrée-sortie d'interrogation ou une instruction hautement prioritaire d'interrogation déclenchée par le microprogramme 115 de l'unité centrale. La séquence illustrée est transmise par la ligne T 153 à un organe de commande 41 ;

35 - la figure 18 est une table identifiant les fonctions auxquelles font référence les mnémoniques des figures 15 à 17 ;

40 - la figure 19 est un schéma de fonctionnement montrant la structure générale des entrées 43 d'un organe de commande 41

représenté à la figure 1 ;

- la figure 20 est un schéma de fonctionnement d'une entrée 43 représentée à la figure 19. Cette figure 20 représente principalement les circuits de données au sein d'une entrée 43 ;

5 - la figure 21 est un schéma de fonctionnement représentant les détails des circuits de données de la logique commune 181 d'interface de l'organe de commande 41 représenté à la figure 19 ;

10 - la figure 22 est un schéma de fonctionnement montrant les parties constitutives d'une mémoire-tampon 189 de données située dans la partie commande d'un organe de commande 41 représenté à la figure 19 ;

- la figure 23 est un graphique illustrant le fonctionnement de la mémoire-tampon 189 de données illustrée aux figures 22 et 19 ;

15 la figure 24 est un chronogramme illustrant la relation entre le signal d'INDISPONIBILITE venant du canal 109 et le chargement des données dans le registre de données 213 de l'entrée, représenté à la figure 21, et elle illustre la manière dont le contrôle de parité est démarré avant que les données ne soient chargées dans le registre et comment il se continue jusqu'à ce que les données aient été complètement chargées dans le registre ;

- la figure 25 est une vue schématique montrant les détails du circuit de mise sous tension représenté aux figures 19 et 21 ;

25 - la figure 26 est un schéma logique de la logique 243 de commande de la mémoire-tampon 189, représentée à la figure 22, d'un organe de commande 41. La figure 26 montre comment la logique 243 de commande de la mémoire-tampon commande les liaisons dans la ligne de données et commande les indicateurs d'entrées et de sorties ;

30 - la figure 27 est une liste des équations logiques utilisées pour le registre 173 de sélection représenté à la figure 20 ;

- la figure 28 est un chronogramme montrant le fonctionnement de la liaison à deux lignes entre le canal des entrées-sorties 109 et les entrées 43 ;

35 - la figure 29 est un schéma logique montrant la logique dans le cas général de la liaison représentée à la figure 28. La logique représentée à la figure 29 fait partie de la machine 143 de ligne T du canal 109 d'entrées-sorties représenté à la figure 13

40 - la figure 30 est un schéma de fonctionnement d'un système d'alimentation électrique. La figure 30 montre comment plusieurs

alimentations indépendantes et séparées 30 sont réparties et associées aux organes de commande 41 à double entrée afin d'assurer à chaque organe de commande une alimentation principale et une deuxième alimentation en variante ;

5 - la figure 31 est une vue détaillée à grande échelle de l'agencement de commutation prévu pour commuter un organe de commande entre une alimentation principale et une deuxième alimentation en variante. La structure de commutation représentée à la figure 31 permet à la fois une commutation automatique dans le cas d'une défaillance de l'alimentation principale et une commutation manuelle suivant trois modes différents, à savoir hors circuit, automatique et en bascule;

10 - la figure 32 est un schéma de fonctionnement montrant les détails de l'une des alimentations séparées et indépendantes 303 illustrées à la figure 30 ;

15 - la figure 33 est un schéma de fonctionnement montrant le détail des lignes verticales et horizontales d'alimentation électrique connectant les sources 303 séparées d'alimentation, représentées à la figure 30, aux organes individuels 41 de commande. La disposition particulière des lignes, représentée à la figure 33, permet une sélection facile de deux quelconques des alimentations individuelles qui serviront d'alimentation principale et de deuxième alimentation en variante d'un organe particulier de commande ;

20 - la figure 34 est un schéma de fonctionnement du système de mémoire et elle montre les détails de la mémoire 107 du module de processeur 33 représenté à la figure 1 ;

25 - la figure 35 est un schéma de fonctionnement montrant les détails de la partie 407 du topogramme de la mémoire 107 représentée à la figure 34 ;

30 - la figure 36 est un schéma de fonctionnement montrant l'organisation de la mémoire logique en quatre zones d'adresses logiques et quatre parties séparées de topogramme correspondant aux quatre zones d'adresses logiques. La figure 36 montre également les détails des bits et des zones dans une entrée unique d'une partie de topogramme ;

35 - la figure 37 est un schéma de fonctionnement montrant les détails des modules de mémoire 403 illustrés à la figure 34. Le module de mémoire 403 représenté à la figure 37 est un module de mémoire à semiconducteurs ;

40

- la figure 38 est un schéma du générateur de bits de contrôle utilisé dans le module 403 de mémoire à semiconducteurs représenté à la figure 37. La figure 38 donne également une liste d'équations logiques de deux des structures arborescentes de parité de huit bits, utilisées dans le registre de bits de contrôle ;

- la figure 39 est un schéma du comparateur de bits de contrôle utilisé dans le module 403 de mémoire à semiconducteurs représenté à la figure 37. La figure 39 inclut l'équation logique de la structure arborescente de parité de neuf bits pour l'état zéro des bits de syndrome ;

- la figure 40 est un schéma du décodeur de syndrome utilisé dans le module 403 de mémoire à semiconducteurs représenté à la figure 37. La figure 40 donne également une liste d'équations logiques utilisées pour l'exploitation de la partie logique 511 du décodeur de syndrome ;

- la figure 41 est un schéma logique d'un complémentateur de bits utilisé dans le module 403 de mémoire à semi-conducteurs représenté à la figure 37; et

- la figure 42 représente les divers états d'un système de traitement par deux processeurs exécutant un programme d'application qui doit être exécuté en continu. Les schémas illustrent les deux processeurs successivement en état de défaillance et en cours de réparation et le programme d'application modifiant son mode de fonctionnement en conséquence.

On se reportera maintenant à la figure 1 qui est une vue schématique, en perspective isométrique, d'une partie d'un système de traitement par multiprocesseurs, conformément à un exemple de réalisation de la présente invention. Le système de traitement par multiprocesseurs est indiqué de manière générale à la figure 1 par la référence 31.

Le système 31 de traitement par multiprocesseurs comprend des modules individuels 33 de processeurs. Chaque module 33 de processeur comprend une unité centrale 105, une mémoire 107, un canal 109 d'entrées-sorties et une commande 55 entre processeurs.

Les modules individuels de processeurs sont interconnectés par des lignes 35 permettant les échanges entre processeurs.

Dans un exemple particulier de réalisation du système 31 de traitement par multiprocesseurs, jusqu'à seize modules 33 de processeurs sont interconnectés par l'intermédiaire de deux

lignes 35 entre processeurs, indiquées à la figure 1 comme étant la ligne X et la ligne Y.

Chaque ligne entre processeurs, comporte un contrôleur 37 de ligne associé à cette ligne.

5 Les contrôleurs de ligne 37, les lignes 35 entre processeurs et les commandes 55 entre processeurs, représentés à la figure 1, de même que les microprocesseurs 113, les microprogrammes 115 et les tables 150 de réception des lignes qui leur sont associées, représentés à la figure 2, fournissent un système de
10 lignes entre processeurs. L'architecture et le fonctionnement de ce système de lignes entre processeurs sont illustrés aux figures 2 à 11 et 42 et sont décrits plus en détail ci-après.

Le système 31 de traitement par multiprocesseurs comporte un système d'entrées-sorties prévu pour transmettre les données
15 entre les modules 33 de processeurs et les appareils périphériques, tels que les disques 45, les postes terminaux 47, les dérouleurs 49 de bandes magnétiques, les lecteurs de cartes 51 et les imprimantes ligne par ligne 53, représentés à la figure 1.

Le système d'entrées-sorties comprend une ligne 39 d'entrées-sorties associée à chaque canal 109 d'entrées-sorties d'un
20 module de processeur et une ou plusieurs organes de commande 41 à entrées multiples peuvent être connectés à chaque ligne 39 d'entrées-sorties.

Dans l'exemple particulier de réalisation illustré, chaque
25 organe de commande 41 comporte deux entrées 43 prévues pour les connexions à deux modules différents 33 de processeurs, de sorte que chaque organe de commande est connecté pour donner accès à deux modules de processeurs.

Le système d'entrées-sorties comprend un microprocesseur
30 119 et un microprogramme 121, inclus dans le canal 109 d'entrées-sorties comme le montre la figure 12, et qui sont consacrés aux transferts d'entrées-sorties.

Comme le montre également schématiquement la figure 12, le microprocesseur 113 et le microprogramme 115 de l'unité centrale
35 105 et de la table 140 de commande des entrées-sorties dans la mémoire centrale 107 de chaque module 33 de processeur sont opérationnellement associés au canal 109 d'entrées-sorties.

L'architecture et le fonctionnement de ces composants et d'autres composants du système d'entrées-sorties sont illustrés
40 aux figures 12 à 29 et ils sont décrits en détail ci-après.

Le système de traitement par multiprocesseurs inclut un système 301 de répartition de l'alimentation qui répartit les alimentations séparées entre les modules 33 de processeurs et les organes de commande 41 de manière à permettre un entretien en ligne et également à fournir une réserve de puissance à chaque organe de commande.

Comme le montre la figure 30, le système de répartition de l'alimentation inclut des sources d'alimentation séparées et indépendantes 303.

Une alimentation séparée 303 est prévue pour chaque module 33 de processeur et une ligne 305 connecte la source 303 d'alimentation à l'unité centrale 105 à la mémoire 105 d'un module 33 de processeur associé.

Comme l'illustre également la figure 30, chaque organe de commande 41 est connecté à deux sources 303 d'alimentation séparée par l'intermédiaire d'un commutateur automatique 311. Si une source 303 d'alimentation d'un organe de commande particulier 41 a une défaillance, cet organe de commande sera alimenté par l'autre source 303 d'alimentation et la commutation s'effectuera régulièrement et sans interruption ni pulsation de l'alimentation fournie à l'organe de commande.

Le système de répartition de l'alimentation agit conjointement avec le système à double entrée de l'organe de commande pour assurer une exploitation et un accès ininterrompus aux appareils périphériques, en cas de défaillance d'une entrée individuelle 43 ou d'une alimentation individuelle 303.

Le système de traitement par multiprocesseurs inclut un circuit 182 de mise sous tension, dont les détails sont donnés à la figure 25, de plusieurs composants du système afin d'établir que l'alimentation de ce composant particulier se trouve dans certaines limites acceptables.

Par exemple, le circuit 182 de mise sous tension est implanté dans chaque unité centrale 105, dans chaque organe de commande 41 et dans chaque contrôleur de ligne 37.

L'objet du circuit de mise sous tension est de présenter un signal établissant le niveau d'alimentation appliqué à ce composant particulier; si l'alimentation ne se situe pas dans certaines limites acceptables prédéterminées, la sortie du signal est utilisée pour invalider le signal de ligne approprié du composant dans lequel le circuit de mise sous tension est

implanté.

Le circuit de mise sous tension fonctionne dans quatre états : état hors tension; passage de l'état hors tension à l'état sous tension; état sous tension; et passage de l'état sous tension à l'état hors tension.

Le circuit de mise sous tension initialise tous les états logiques du système lorsque l'alimentation est brusquement coupée et, dans la présente invention, ce circuit de mise sous tension assure une fonction supplémentaire et très importante qui consiste à fournir un système conçu pour fonctionner même en cas d'incident grave, ainsi qu'un entretien en ligne. Pour ce faire, le circuit de mise sous tension qui fait partie de la présente invention est utilisé de manière unique pour commander les circuits d'interface qui commandent toutes les lignes d'intercommunications du système.

L'architecture et le fonctionnement du système de répartition de l'alimentation sont illustrés aux figures 30 à 33 et ils sont décrits en détail ci-après.

Le système de traitement par multiprocesseurs comprend un système de mémoire dans lequel la mémoire physique est divisée en quatre zones d'adresses logiques, à savoir : données de l'utilisateur, données du système, code de l'utilisateur et code du système. A ce sujet, on se reportera à la figure 36.

Le système de mémoire comprend un topogramme et une logique de commande, comme le montre la figure 34, afin de traduire toutes les adresses logiques en adresses physiques et indiquer les pages absentes du bit de la mémoire centrale et présentes dans la mémoire auxiliaire, comme cela est nécessaire pour mettre en oeuvre un système de mémoire virtuelle dans lequel les adresses physiques des pages sont invisibles aux utilisateurs.

Le système de mémoire comprend un accès à double entrée à la mémoire par l'intermédiaire de l'unité centrale et du canal d'entrées-sorties. Ce dernier peut donc accéder directement à la mémoire, sans devoir traverser l'unité centrale, pour des transferts de données venant de et allant vers un organe de commande.

L'architecture et le fonctionnement du système de mémoire sont illustrés aux figures 34 à 41 et ils sont décrits en détail ci-après.

Un système de détection d'erreurs est incorporé au système de mémoire afin de corriger tous les bits uniques et de détecter toutes les erreurs de bits doubles lorsqu'une mémoire à semiconducteurs est utilisée dans le système de mémoire. Ce système de détection d'erreurs utilise une zone de données de 16 bits et une zone de contrôle de 6 bits, comme le montre la figure 37, et il comprend un complémentateur 487 de bits de données, également représenté à la figure 37, pour corriger toutes les erreurs de bits uniques et détecter toutes les erreurs de bits doubles lorsqu'une mémoire à semiconducteurs est utilisée dans le système de mémoire. Ce système de détection d'erreurs utilise une zone de données de 16 bits et une zone de contrôle de 6 bits, comme le montre la figure 37, et il comprend un complémentateur 487 de bits de données, comme le montre également la figure 37, afin de corriger les erreurs de bits uniques.

Les figures 37 à 41 et la description qui les concerne donnent les détails du système de détection d'erreurs.

Avant d'entrer dans une description détaillée des systèmes et des composants mentionnés d'une façon générale ci-dessus, il faut noter les significations suivantes de la terminologie utilisée dans la présente demande de brevet.

Le terme "logiciel" se rapporte à un système d'exploitation ou aux instructions du programme d'un utilisateur; le terme "microinstructions" se rapporte à un microprogramme enregistré dans une mémoire morte; et le terme "matériel" se réfère à la logique électronique réelle et à la mémorisation des données.

Le système d'exploitation est un programme principal de gestion se déroulant dans chaque module de processeur qui comporte une gestion centrale de l'affectation de toutes les ressources du système accessibles à ce module de processeur. Le système d'exploitation fournit une fonction d'ordonnancement et il détermine le traitement qui utilisera ce module de processeur. Le système d'exploitation affecte également l'utilisation de la mémoire centrale (gestion de la mémoire) et il exploite le système de fichiers en vue de la gestion de la mémoire auxiliaire. Le système d'exploitation gère également le système de messages, ce qui facilite la transmission des informations par la ligne entre processeurs.

La disposition du système d'exploitation est compatible

avec la disposition modulaire des composants du système de traitement par multiprocesseurs décrit ci-dessus, par le fait qu'ils ne comportent aucun composant "global".

5 Au niveau le plus bas du système de logiciel, deux entités fondamentales sont mises en oeuvre, à savoir les traitements et les messages.

Un traitement est l'entité fondamentale de gestion au sein d'un système.

10 Chaque traitement comprend une zone spécialisée de données et de valeurs de registre, ainsi qu'un ensemble de codes éventuellement communs. Un traitement peut également accéder à une zone commune de données.

Plusieurs traitements coexistent dans un module 33 de processeur.

15 Les traitements peuvent résulter de l'application de programmes rédigés par l'utilisateur ou ils peuvent avoir des fonctions consacrées telles que, par exemple, la gestion d'un appareil d'entrées-sorties ou la création et l'élimination d'autres traitements.

20 Un traitement peut nécessiter les services d'un autre traitement et cet autre traitement peut être localisé dans le même module 33 de processeur qu'un traitement demandeur, ou l'autre traitement peut être localisé dans un autre module de processeur.

25 Les traitements fonctionnent de façon asynchrone et, par conséquent, ils nécessitent une méthode d'échanges qui permettra de placer une demande de service en file d'attente sans "courses" (une condition suivant laquelle le résultat dépend de la séquence du traitement qui aura été mis en route le premier), d'où la nécessité de "messages" (un système ordonné
30 d'échanges entre modules de processeurs décrit plus en détail ci-après).

De même, tous les échanges entre les modules de processeurs doivent apparaître les mêmes aux traitements, que ces derniers
35 soient localisés dans le même module de processeur ou dans des modules différents.

Comme le montrera plus clairement la description ci-après, l'architecture du logiciel est compatible avec le matériel et différents traitements peuvent être considérés comme étant équi-
40 valents à certains composants du matériel au point de vue dis-

position et fonction.

Par exemple, exactement comme le canal 109 d'entrées-sorties communique par la ligne 39 d'entrées-sorties avec l'organe de commande 41, un traitement de l'utilisateur peut faire une
5 demande (en utilisant le système de message) au procédé associé à cet organe de commande 41; ensuite, le traitement de l'organe signale à nouveau un état de la même manière que l'organe de commande 41 renvoie l'information au canal 109 d'entrées-sorties par la ligne 39 d'entrées-sorties.

10 L'autre entité fondamentale du système de logiciel, le message, se compose d'une demande de service aussi bien que d'une demande de données. Lorsque la demande sera terminée, toutes les valeurs demandées seront renvoyées au traitement demandeur.

Lorsqu'un message doit être envoyé entre des traitements
15 dans deux modules différents 33 de processeurs, on utilise les lignes 35 entre processeurs. Cependant, comme on l'a noté ci-dessus, tous les échanges entre les traitements apparaissent les mêmes aux autrattements, que ces derniers soient localisés dans le même module de processeur 33 ou dans des modules différents.

20 Cette organisation du logiciel présente plusieurs avantages.

La présente méthode de structuration du logiciel fournit également un logiciel significativement plus fiable. En permettant de compartimenter la structure du logiciel, on peut obtenir
25 des modules d'un plus faible volume et les interfaces entre les modules sont bien définis.

Le système est également d'un entretien plus facile, du fait de la compartimentation de fonction.

Les modules et les interfaces bien définis dans le système
30 de logiciel présentent également l'avantage de pouvoir être facilement extensibles, comme dans le cas de l'adjonction de modules supplémentaires 33 de processeurs ou d'organes supplémentaires de commande 41 au système de traitement par multiprocesseurs.

35 En outre, le fait que l'utilisateur, en rédigeant son programme, ne doit pas connaître l'architecture réelle de la machine ni l'implantation physique d'autres traitements, constitue un avantage pour l'utilisateur du système de traitement par multiprocesseurs et du système de logiciel.

40 Le logiciel fournit de nombreux modules fonctionnellement

équivalents avec des interconnexions redondantes, exactement comme le fait le matériel.

5 Par exemple, des messages circulant entre des traitements dans différents modules 33 de processeurs peuvent utiliser l'une ou l'autre ligne 35 entre processeurs. De même, des organes de commande 41 peuvent être exploités par des traitements dans l'un ou l'autre des modules 33 de processeurs, connectés à l'organe de commande 41.

10 Le système de matériel et le système de logiciel de traitement par multiprocesseurs, décrits ci-dessus permettent à l'utilisateur de mettre au point un système d'application qui tient compte des erreurs en raison de ses modules répétés avec des interconnexions redondantes.

15 Comme on l'a fait remarquer ci-dessus, les modules individuels 33 de processeurs sont interconnectés par l'intermédiaire de deux lignes 35 entre processeurs, une ligne X et une ligne Y, Chaque ligne 35 entre processeurs, en combinaison avec son contrôleur 37 de ligne et une commande connexe 55 entre processeurs prévue dans chaque module 33 de processeur, fournit
20 un circuit d'échange multimodulaire entre un module de processeur et n'importe quel autre module de processeur du système. L'utilisation de deux lignes assure que deux circuits indépendants existent entre tous les modules de processeurs du système. Par conséquent, une défaillance d'un circuit (d'une ligne)
25 n'empêche pas les échanges entre les modules de processeurs.

Le contrôleur 37 de ligne de chaque ligne 35 entre processeurs est un contrôleur qui, dans un exemple préféré de réalisation de la présente invention, est séparé et distinct des modules 33 de processeurs.

30 Chaque ligne 35 entre processeurs est une ligne synchrone, la synchronisation étant fournie par une horloge de ligne localisée dans les contrôleurs 37 de ligne. Les parties 55 de la commande entre processeurs de tous les modules associés à la ligne effectuent des changements d'état en synchronisme avec
35 cette horloge de ligne pendant les échanges par l'intermédiaire de la ligne.

Comme on le décrira plus en détail ci-dessous, l'unité de contrôle 105 fonctionne sur une horloge différente de l'horloge de ligne entre processeurs. Pendant le remplissage d'une mémoire-tampon hors de la file d'attente ou le vidage d'une mé-
40

moire-tampon en file d'attente de la commande 55 entre processeurs par l'unité centrale, le fonctionnement se fait à la fréquence de l'horloge de l'unité centrale. Cependant, la transmission de groupes de bits par la ligne entre processeurs s'effectue à la fréquence de l'horloge de la ligne.

Une caractéristique importante de la présente invention réside dans le fait que l'information transmise par la ligne entre processeurs l'est à des vitesses élevées sans aucune correspondance requise avec les fréquences d'horloge des diverses unités centrales 105. La vitesse de transmission de l'information par la ligne entre processeurs est également sensiblement plus élevée que ne le permettraient des accès directs d'entrée et de sortie des parties 107 de la mémoire à la vitesse de la mémoire. Cette caractéristique assure l'existence d'une largeur de bande de ligne appropriée, même lorsqu'un grand nombre de modules de processeurs sont connectés dans un système de traitement par multiprocesseurs.

L'avantage d'une utilisation d'horloge séparées pour chaque unité centrale 105 réside dans le fait qu'une horloge-mère n'est pas nécessaire, ce qui élimine une source possible de défaillance de composant unique qui pourrait immobiliser tout le système.

La commande 55 entre processeurs comprend des verrouillages logiques qui permettent d'exploiter les lignes 35 entre processeurs à une fréquence d'horloge et chaque unité centrale 105 à sa fréquence indépendante propre d'horloge sans pertes de données.

L'information transmise par la ligne l'est sous forme de groupes de bits comportant plusieurs mots. Dans un exemple préféré de réalisation de la présente invention, chaque groupe de bits se compose de seize mots dont quinze sont des mots contenant des données et dont un est un mot de contrôle.

La logique de commande implantée dans le contrôleur 37 de lignes et dans les commandes 55 entre processeurs des modules individuels 33 suit un protocole détaillé. Le protocole prévoit l'établissement d'une paire émettrice-réceptrice et d'une base de temps pour la transmission des groupes de bits de données. A la fin du système de base de temps prévu pour la transmission du groupe de bits de données, le contrôleur 37 de lignes est libéré pour une autre séquence. La façon particulière

dont ces fonctions sont remplies sera mieux comprise après la description ci-dessous des caractéristiques de structure des figures 3 à 9.

La ligne X 35 est de structure identique à la ligne Y 35, c'est pourquoi on ne décrira qu'une seule ligne en détail.

Comme le montre la figure 2, chaque ligne 35 comprend seize conducteurs individuels 57 de données de ligne, cinq conducteurs individuels 59 de protocole de ligne, un conducteur 61 de signaux d'horloge et un conducteur 63 de sélection pour chaque module 33 de processeur.

Comme l'illustre également la figure 2, la commande 55 entre processeurs de chaque module 33 de processeur comprend deux organes 65 en file d'attente (représentés à la figure 2 sous la forme d'un organe X en file d'attente et d'un organe Y en file d'attente) et un organe commun 67 hors de la file d'attente.

En se reportant particulièrement à la figure 4, on verra que l'organe commun 67 hors de la file d'attente comprend une mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente qui accomplit une fonction de mémorisation. Dans un exemple préféré de réalisation de la présente invention, la mémoire-tampon 69 comporte seize mots de seize bits chacun. La mémoire-tampon 69 est chargée par l'unité centrale et elle retient les données jusqu'au moment de la transmission du groupe de bits; à ce moment-là, les données sont libérées dans la ligne comme on le décrira plus en détail ci-dessous.

L'organe 67 hors de la file d'attente comprend également un registre récepteur 71, qui, dans un exemple préféré de réalisation de la présente invention, est un registre de quatre bits. Ce registre est chargé par l'unité centrale qui lui indique le numéro du module de processeur auquel les données seront envoyées.

La partie de commande de l'organe 67 hors de la file d'attente comprend une partie logique 73 de l'état de remplissage des processeurs qui fonctionne en synchronisme avec l'horloge de l'unité centrale, une partie logique 75 de l'état de vidage des lignes qui fonctionne en synchronisme avec l'horloge de la ligne X ou Y, et un compteur 77 hors de la file d'attente. Pendant le remplissage de la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente par l'unité centrale, le compteur 77 hors de la file

d'attente explore la mémoire-tampon 69 afin de diriger l'introduction des données dans chacun des seize mots de la mémoire-tampon et, lorsque le seizième mot est mémorisé dans la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente, le compteur 77 hors de la
5 file d'attente termine l'état de remplissage.

L'organe 67 en dehors de la file d'attente comprend également un indicateur 79 en dehors de la file d'attente, qui connecte l'ensemble de la partie hors de la file d'attente à la ligne
10 X ou Y 35. L'indicateur 79 hors de la file d'attente permet aux parties logiques 73 et 75 et à la mémoire-tampon 69 d'être communes aux lignes X et Y 35 entre processeurs.

Comme le montre la figure 3, le contrôleur de ligne 37 comprend une partie logique 81 de l'état de commande de ligne,
15 un compteur émetteur 83, une partie logique 85 de sélection de processeur, un registre récepteur 87, un compteur de groupe de bits 89 et une horloge de ligne 91.

On se reportera maintenant à la figure 5. Chaque organe 65 en file d'attente comprend une partie logique 93 de l'état de
20 remplissage des lignes qui fonctionne en synchronisme avec l'horloge de ligne, un registre émetteur 95, une mémoire-tampon 97 en file d'attente, un compteur 99 en file d'attente et une partie logique 101 de l'état de vidage des processeurs qui fonctionne en synchronisme avec l'horloge de l'unité centrale.

25 La figure 6 est un schéma d'état de la logique 81 prévue pour le contrôleur de ligne 37.

La figure 7 est un schéma d'état des parties logiques 73 et 75 de la partie 67 hors de la file d'attente.

30 La figure 8 est un schéma d'état des parties logiques 93 et 101 des parties 65 en file d'attente.

On se reportera à la figure 7. La partie logique 73 de l'état de remplissage des processeurs comporte fondamentalement quatre états, à savoir : VIDE, REMPLISSAGE, COMPLET et ATTENTE, comme l'indiquent les légendes respectives. La partie logique
35 75 de l'état de vidage des lignes comporte fondamentalement quatre états, à savoir : EN RESERVE, SYNCHRONISATION, EMISSION et EXECUTE, comme l'illustrent les légendes.

Continuant la description de la notation de la figure 7, on notera que les lignes en traits pleins terminées par des
40 flèches indiquent des passages de l'état actuel à l'état suivant.

Les flèches en traits interrompus se terminant aux flèches en traits pleins indiquent les conditions qui doivent être satisfaites pour que le passage indiqué puisse avoir lieu.

5 La synchronisation de machines qui créent ces états et qui fonctionnent à partir d'horloges relativement asynchrones exige une structure soigneusement étudiée du système de verrouillage. Ces verrouillages importants sont indiqués sur les schémas d'état par les flèches en traits interrompus. Ces verrouillages accom-
10 plissent une synchronisation de deux machines relativement asynchrones qui créent les états. Les flèches en traits interrompus, reliant aux figures 7 et 8 les machines qui créent ces états, représentent des signaux qui synchronisent les changements d'état des machines.

15 En ce qui concerne l'état de remplissage pour la partie logique 73, on doit bien noter que la condition hors de la file d'attente de la mémoire ne produira pas de fin de l'état de remplissage aussi longtemps que le compteur 77 hors de la file d'attente n'aura pas atteint le compte 15 (pour un compte qui part de zéro); à ce moment-là, l'état de REMPLISSAGE sera rem-
20 placé par l'état COMPLET.

De même, on doit noter que l'état d'EMISSION de la partie logique 75 ne prendra pas fin avec la condition d'instruction de sélection et d'émission aussi longtemps que le compteur 77 hors de la file d'attente n'aura pas atteint le compte de 15;
25 à ce moment-là, l'état d'EMISSION sera remplacé par l'état EXECUTE.

L'astérisque qui apparaît dans la notation de la figure 7 indique un pas de progression du compteur 77 hors de la file d'attente.

30 La figure 6 représente le schéma d'état de la logique 81 du contrôleur de ligne et elle illustre les quatre états fondamentaux de la logique, à savoir : EN RESERVE, BALAYAGE, RECEPTION et EMISSION.

La notation utilisée à la figure 6 est la même que celle
35 qui a été décrite ci-dessus pour la figure 7. Une ligne en traits pleins terminée par une flèche indique un passage d'un état à un autre et une ligne en traits interrompus se terminant par une flèche sur la ligne en traits pleins, indique une condition qui doit être réalisée pour permettre au passage indiqué (ligne
40 en traits pleins terminée par une flèche) de se produire. Un

astérisque placé sur une ligne de passage d'un état à un autre indique dans ce cas que le compteur émetteur 83 est avancé d'un pas de progression, simultanément au passage indiqué.

5 Les lignes de sortie en traits interrompus se terminant par une flèche à la figure 6, indiquent les instructions du protocole envoyées par le régulateur de lignes à la ligne entre processeurs.

10 Aux figures 7 et 6, une flèche en traits interrompus quittant un état indique une sortie logique, tel qu'un signal de sortie logique, allant de cet état à une ligne de protocole (dans le cas de la logique 75 d'état de vidage de la ligne) ou à une ligne d'état du module de processeur (dans le cas de la logique 73 de l'état de remplissage du processeur).

15 La figure 8 représente les schémas d'état de la partie 93 de la logique de l'état de remplissage des lignes et de la partie 101 de la logique de l'état de vidage des processeurs.

Le schéma d'état de la partie 93 de la logique comprend quatre états, à savoir : SYNCHRONISATION, ACCEPTATION, RECEPTION et COMPLET.

20 Le schéma d'état de la partie logique 101 comprend quatre états, à savoir : MISE A ZERO, PRET, INTERRUPTION et VIDAGE.

La notation (flèches en traits pleins et flèches en traits interrompus) est la même que celle qui a été décrite ci-dessus en ce qui concerne les figures 6 et 7.

25 L'astérisque à la figure 8 indique un pas de progression dans le compteur 99 en file d'attente.

La figure 9 est un chronogramme représentant la séquence chronologique selon laquelle se produisent les changements d'état mentionnés aux figures 6, 7 et 8.

30 La séquence représentée à la figure 9 effectue la transmission d'un groupe de bits, d'un module de processeur à un autre module de processeur à la fréquence d'horloge de la ligne (le module récepteur prévu étant supposé prêt à recevoir le groupe de bits).

35 La figure 9 représente les séquences chronologiques d'une transmission de groupe de bits effectuée avec succès, les représentations des signaux individuels étant indiquées de haut en bas à la figure 9 et les périodes de temps d'une horloge de ligne étant représentées chacune de gauche à droite à la
40 figure 9 dans l'ordre croissant des temps.

La ligne supérieure de la figure indique l'état du contrôleur de ligne et chaque repère de division représente une période d'horloge ou cycle de l'horloge 91 de ligne représentée à la figure 3. Chaque division du temps à la ligne supérieure se
5 reporté verticalement vers le bas afin de couper les représentations des divers signaux indiqués par les légendes portées à gauche de la figure.

Si l'on considère les signaux séquentiels présentés de haut en bas à la figure 9, le premier signal (en dessous de la
10 ligne d'état du contrôleur de ligne) est le signal de DEMANDE D'EMISSION (un signal du groupe du protocole repéré par la référence 59 à la figure 3); ce signal est, en particulier, le signal qui peut être validé par la partie logique 67 de commande hors de la file d'attente de n'importe quel module 33 de proces-
15 seur. Le signal est transmis à la partie logique 81 de l'état de commande de ligne du contrôleur 37 de ligne, comme le montre la figure 3.

Le signal suivant représenté à la figure 9, c'est-à-dire le signal de SELECTION, représente un signal qui provient de la
20 partie logique 85 de sélection de processeur du contrôleur 37 de ligne et qui est transmis par une seule à la fois des lignes 63 de sélection à un module 33 connexe de processeur.

Le signal suivant représenté à la figure 9, c'est-à-dire le signal d'ACCEPTATION D'EMISSION, ne peut être validé que par
25 un processeur particulier 33 lorsque ce dernier est sélectionné et lorsque sa partie logique 75 de l'état de vide de la ligne se trouve dans l'état d'EMISSION, comme le montre le troisième état de la figure 7. Ce signal d'ACCEPTATION D'EMISSION est utilisé par le contrôleur 37 de ligne pour établir l'identité d'un
30 module 33 de processeur désireux d'envoyer un groupe de bits.

Le signal suivant, c'est-à-dire le signal de COMMANDE DE RECEPTION, représente un signal venant du régulateur 37 de ligne et transmis par une des lignes 59 de protocole. L'action de ce signal est double.

Tout d'abord, en combinaison avec le signal de SELECTION
35 du récepteur, ce signal interroge le module 33 du processeur récepteur pour s'assurer que ce module de récepteur est prêt à recevoir, comme l'indique l'état ACCEPTATION à la figure 8).

Ensuite, ce signal a comme deuxième fonction d'invalider
40 la partie logique 75 de l'état de vidage de la ligne du module

récepteur, de sorte que ce dernier ne peut envoyer un numéro prévu de récepteur dans la ligne de données si la partie hors de la file d'attente du module récepteur prévu 30 a également un groupe de données en propre prêtes à être envoyées.

5 A ce sujet, pendant que le processeur émetteur impose le signal d'ACCEPTATION D'EMISSION, il envoie également le numéro prévu de récepteur dans la ligne pour que le régulateur 37 de ligne puisse l'utiliser. La ligne 35 elle-même est, bien entendu, une ligne non directionnelle de sorte que l'information peut être
10 envoyée vers la ligne 57 de données par un module quelconque en vue d'être utilisée soit par le contrôleur 37 de ligne pour une fonction de commande, soit par un autre processeur pour une fonction de transfert d'information. On doit noter qu'un module 33 ne peut envoyer des données dans la ligne que lorsque sa ligne de SELECTION est validée et que le signal de COMMANDE DE
15 RECEPTION n'est pas validé.

 Pendant le temps que le signal de COMMANDE DE RECEPTION est validé, le contrôleur 37 de ligne transmet le numéro du récepteur à la ligne 57 de données pour sa saisie par le module de
20 processeur récepteur sélectionné.

 La ligne du signal suivant, c'est-à-dire la ligne d'ACCEPTATION DE RECEPTION à la figure 9, représente un signal qui est transmis de la partie 93 de la logique d'état de remplissage de ligne du module récepteur sélectionné à la partie 81 de la logique d'état de commande de ligne du contrôleur 37 de ligne, par
25 l'une des lignes 59 de protocole, afin d'indiquer que le module récepteur sélectionné se trouve à l'état d'ACCEPTATION, comme l'indique la légende à la figure 8, et ainsi qu'il est prêt à recevoir le groupe de bits que le module émetteur est prêt à transmettre.

 Si le signal d'ACCEPTATION DE RECEPTION n'est pas validé par
30 le module récepteur, la SELECTION de l'émetteur, la COMMANDE D'EMISSION et la transmission par la base de temps du groupe même de bits de données ne se produiront pas.

 Si le signal d'ACCEPTATION DE RECEPTION est validé, la séquence indiquée par la ligne de COMMANDE D'EMISSION se produira
35 alors.

 La ligne de COMMANDE D'EMISSION représente un signal qui est émis par la partie logique 81 de l'état de commande de la ligne du contrôleur 37 de ligne et qui est transmis à la partie logi-

que 75 de l'état de vide de ligne du module 33 du processeur émetteur, par l'intermédiaire de l'une des lignes 59 de protocole.

5 En combinaison avec un signal de SELECTION du module du processeur émetteur, le signal de COMMANDE D'EXPEDITION permet au module du processeur émetteur d'envoyer un groupe de bits au module récepteur pendant les seize cycles d'horloge délimités par le signal de COMMANDE D'EMISSION.

10 La dernière ligne, c'est-à-dire la ligne 16 de données, représente l'information présente dans les lignes 57 de données pendant la séquence décrite ci-dessus.

15 Les données sont envoyées à la ligne par le module de processeur émetteur sélectionné et elles sont transmises au module de processeur récepteur dans la mémoire-tampon 97 hors de la file d'attente, représentée à la figure 5, pendant la base de temps de ce seizième cycle d'horloge. Ceci suppose que le signal d'ACCEPTATION DE RECEPTION a été reçu par le régulateur de ligne en réponse au signal de COMMANDE DE RECEPTION.

20 Si le signal d'ACCEPTATION DE RECEPTION n'avait pas été reçu par le contrôleur de ligne, le signal de COMMANDE D'EMISSION n'aurait pas été alors validé et le contrôleur 37 de ligne aurait repris l'état de BALAYAGE comme le montre la figure 6.

25 En se reportant aux figures 2, 7, 10 et 11, on décrira maintenant une opération caractéristique de la mémoire-tampon et de la commande 67 hors de la file d'attente d'un module 33 de processeur.

30 Comme le montre la figure 10, la partie 73 de la logique de l'état de remplissage du processeur comprend deux bascules bistables A et B, tandis que la partie 75 de la logique de l'état de vide de ligne comprend deux bascules bistables C et D.

35 En résumé des affectations d'états représentées par les tables AB et CD de la figure 10, l'état de VIDE est défini par $A = 0$, $B = 0$. L'état de remPLISSAGE est défini par $A = 1$ $B = 0$. L'état COMPLET est défini par $A = 1$, $B = 1$ et l'état d'ATTENTE est défini par $A = 0$, $B = 1$.

40 De même, les combinaisons correspondantes des variables des états C et D sont définies respectivement par les états EN RESERVE, SYNCHRONISATION, EMISSION et EXECUTION. Les affectations d'états énumérées précédemment pourraient également être données sous la forme d'équations logiques. Par exemple, l'état

de VIDE peut être représenté par l'équation $\overline{A.B}$ et cette notation est utilisée dans les listes d'équations logiques de la figure 11.

5 En fonctionnement et avec une référence particulière à la figure 7, l'état initial atteint par l'intermédiaire d'initialisation de mise sous tension ou la remise manuelle à zéro est l'état VIDE représenté à la partie supérieure gauche de la figure 7.

10 L'état VIDE de la logique 73 de l'état de remplissage du processeur envoie un signal "prêt" à l'unité centrale 105 pour indiquer la présence de cet état, comme le montre la flèche RDY en traits interrompus représentée quittant l'état de vide à la figure 7.

15 Lorsqu'une transmission par l'intermédiaire de la ligne entre processeurs est nécessaire, les microinstructions (micro-programme) de l'unité centrale, en réponse à un signal "prêt", fourniront un signal de réception dans la mémoire, représenté par la flèche en traits interrompus entrant dans le schéma de la figure 7. Ce signal de réception dans la mémoire synchronise le passage de l'état VIDE à l'état de REMPLISSAGE.

20 Pour transmettre les données dans la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente, les microinstructions de l'unité centrale fourniront un signal de mémorisation hors de la file d'attente, représenté par la flèche en traits interrompus entrant dans le schéma de la figure 7, pour chaque mot à stocker dans la mémoire-tampon 69

30 Chaque fois que ce signal de mémorisation hors de la file d'attente sera produit, le compteur 77 hors de la file d'attente progressera, commençant son compte à zéro jusqu'à ce qu'il atteigne un compte quinze.

Lorsque le signal de mémorisation hors de la file d'attente sera produit pour la seizième fois, un passage de l'état de REMPLISSAGE à l'état COMPLET, illustré par une flèche en traits pleins à la figure 7, est permis.

35 L'état COMPLET de la logique de l'état de REMPLISSAGE du processeur fournit une condition de synchronisation à la logique de l'état de vide de la ligne, illustrée par la flèche en traits interrompus portant de l'état COMPLET de la logique 73 et descendant vers la logique 75 à la figure 7.

40 La logique 73 de l'état de remplissage du processeur res-

tera à l'état COMPLET jusqu'à ce que la logique 75 de l'état de vide de la ligne ait atteint ensuite l'état EXECUTE.

5 Si l'on considère maintenant en particulier la logique de l'état de vide de la ligne représentée à la figure 7 par la référence 75, l'état initial EN RESERVE de la partie logique 75 à la figure 7 est de nouveau assuré par une initialisation de la mise sous tension ou par une remise manuelle à zéro.

10 La logique 75 de l'état vide de la ligne restera à l'état EN RESERVE jusqu'à ce que le passage à l'état de SYNCHRONISATION soit permis, comme le montre la flèche en traits interrompus venant de l'état COMPLET de la logique 73 de l'état de remplissage du processeur.

15 La logique 75 de l'état vide ne procédera à aucune synchronisation requise entre l'état de SYNCHRONISATION et l'état d'EMISSION.

C'est dans l'état d'EMISSION que le signal de DEMANDE D'EMISSION appliqué à la ligne et au contrôleur de ligne est validé, comme l'indique la flèche en traits interrompus partant de l'état d'EMISSION du schéma 75.

20 En réponse au signal de DEMANDE D'EMISSION, la logique 81 du contrôleur de lignes, représentée à la figure 6, balayera successivement les modules de processeurs jusqu'à ce que le module émetteur soit identifié, comme on l'a décrit ci-dessus avec référence à la figure 9.

25 Le contrôleur de lignes enverra un signal de COMMANDE DE RECEPTION et de SELECTION au module de processeur récepteur prévu et, à la réception du signal d'ACCEPTATION DE RECEPTION, le signal passera à la base de temps du groupe de bits, également repérée à la figure 9.

30 Pendant la base de temps du groupe de bits le contrôleur de ligne valide le signal de SELECTION du module de processeur émetteur et valide également le signal de COMMANDE D'EMISSION envoyé au module de processeur émetteur.

35 Ce signal de SELECTION et ce signal de COMMANDE DE SELECTION sont représentés entrant dans le schéma et synchronisant les signaux de passage sortant de et entrant dans l'état d'EMISSION, comme le montre la figure 7.

40 Tandis que les signaux de SELECTION et de COMMANDE D'EMISSION sont validés, chaque horloge de ligne fera progresser le compteur 77 hors de la file d'attente, à partir d'un compte de

zéro.

A la seizième période d'horloge de la SELECTION et de la COMMANDE D'EMISSION, le passage de l'état d'EMISSION à l'état EXECUTE est synchronisé comme le montre la flèche en traits interrompus permettant ce passage.

Lorsque la logique 75 de l'état de vide a atteint l'état EXECUTE, un passage de la logique 73 de l'état de remplissage du processeur, de l'état COMPLET à l'état d'ATTENTE, est synchronisé, comme le montre la flèche en traits interrompus partant de l'état "exécuté".

Ensuite, l'état d'ATTENTE de la logique 73 de l'état de remplissage du processeur synchronise un passage de la logique 75 de l'état de vide de la ligne, de l'état EXECUTE à l'état EN RESERVE, comme le montre une flèche en traits interrompus partant de l'état d'ATTENTE et synchronisant le passage indiqué.

Enfin, la logique 75 de l'état de vide de la ligne, étant dans l'état EN RESERVE, synchronise le passage de la logique à l'état VIDE, comme le montre la flèche en traits interrompus partant de l'état EN RESERVE.

A ce stade, un groupe de bits a été chargé dans la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente par le module de processeur et transmis par la ligne 35 au module de processeur récepteur, tandis que la logique 73 de l'état de remplissage du processeur de commande hors de la file d'attente et la logique 75 de l'état de vide de la ligne ont été ramenées à zéro.

La description ci-dessus concerne les passages d'état et les synchronisations indiquées à la figure 7. L'action des parties logiques 73 et 75, concernées par la description ci-dessus du fonctionnement du schéma de la figure 7, sera maintenant décrite avec référence au schéma logique de la figure 10 et à la liste d'équations logiques de la figure 11.

On se reportera d'abord à la figure 10. Comme on l'a mentionné ci-dessus, les bascules bistables A et B sont des bascules bistables J.K. à déclenchement par le bord dans lesquelles des changements d'état se produisent uniquement aux passages d'horloge, comme l'indiquent les petits symboles triangulaires et les légendes mentionnés du côté gauche des bascules bistables A et B à la figure 10.

Le schéma logique de la figure 10 a pour premier objet d'illustrer le passage d'un état à un autre dans les machines

produisant ces états et représentées à la figure 7. Ainsi, pour illustrer le passage de l'état de RESERVE à l'état de SYNCHRONISATION de la logique 75 d'état de vide, le fonctionnement est le suivant :

5 Pour effectuer un passage de l'état de RESERVE à l'état de SYNCHRONISATION, la variable d'état C doit être mise à 1.

10 L'équation logique pour l'entrée J de la variable d'état C est représentée à la figure 11 et elle est repérée par la référence 13. Dans cette équation, le blocage (représenté par la flèche en traits interrompus venant de l'état "complet" de la logique 73 de l'état de remplissage à la figure 7 et aboutissant à la flèche représentant le changement) correspond à la quantité (A.B) ou (COMPLET) dans l'équation repérée par la référence 103. Le symbole $\bar{D}$ ou (EN RESERVE) dans l'équation repérée par la référence 103 à la figure 11 correspond à l'état EN RESERVE indiqué par la légende à la figure 7. Le symbole J dans l'équation correspond à l'entrée J de la bascule bistable C de la figure 10. Et le symbole (C) correspond à la sortie vraie de la bascule bistable C de la figure 10.

20 On ne décrira pas plus en détail d'autres passages d'un état à un autre du schéma de la figure 7, avec références aux figures 10 et 11 car on suppose que ces passages sont effectués par le schéma logique de la figure 10 et que les équations logiques de la figure 11 sont absentes des exemples ci-dessus de passage de l'état de RESERVE à l'état de SYNCHRONISATION, comme on l'a décrit en détail ci-dessus.

25 Les figures 10 et 11 représentent le schéma logique et les équations logiques du schéma d'état de la mémoire-tampon hors de la file d'attente et de la commande 67. Les schémas logiques et les équations logiques correspondantes concernant la mémoire-tampon en file d'attente et la commande 65 ou le contrôleur 37 de lignes n'ont pas été illustrés, car ces schémas logiques et ces équations logiques sont analogues à ceux qui sont représentés aux figures 10 et 11 et on peut facilement les déduire des schémas d'état représentés aux figures 6 et 8.

30 Chaque module 33 de processeur du système de traitement par multiprocesseurs, représenté à la figure 1, est connecté aux deux lignes 35 entre processeurs, comme le montre la figure 1, et il peut communiquer avec n'importe quel module de processeur y compris lui-même, par l'intermédiaire de l'une ou l'autre

tre des lignes. Pour chaque transfert de données en bloc, un module de processeur est la source ou émetteur et l'autre module de processeur est le destinataire ou récepteur.

La transmission de données par un module de processeur par l'intermédiaire de l'une des lignes entre processeurs est déclenchée et réalisée par le logiciel au moyen de l'instruction d'EMISSION.

Dans l'instruction d'EMISSION, le microprogramme 115 et le microprocesseur 113 de l'unité centrale, représentés à la figure 2, agissent en liaison avec la partie commune 67 de la file d'attente de la commande 55 entre processeurs afin d'extraire un bloc de données de la mémoire 101, de le décomposer en groupes de bits, de calculer les mots du total de contrôle des groupes de bits et de transmettre le bloc à raison d'un groupe de bits à la fois, par l'intermédiaire d'une ligne au module du processeur récepteur. Les paramètres fournis à l'instruction d'EMISSION définissent le nombre de mots dans le bloc, l'adresse de début d'implantation du bloc, la ligne à utiliser, le processeur récepteur et une valeur maximale de délai initial d'attente pour que la partie commune 67 hors de la file d'attente, représentée à la figure 2 devienne disponible.

L'instruction d'EMISSION ne prend fin qu'après que le bloc entier a été transmis; ainsi, l'émission d'un bloc est un événement unique du point de vue du logiciel. Cependant, l'instruction d'EMISSION peut être interrompue et reprise, de sorte que la réponse du système d'exploitation aux autres événements n'est pas altérée par la longueur du temps requis pour terminer une instruction d'EMISSION.

La réception des données par un module de processeur, par l'intermédiaire des lignes entre processeurs, ne s'effectue pas au moyen d'une instruction du logiciel puisque les temps d'arrivée et les sources des groupes de bits de données ne peuvent être prévus. La réception des données est validée mais ne peut être déclenchée par le récepteur.

Le microprocesseur 113 de l'unité centrale extrait du traitement de l'instruction du logiciel un délai d'attente nécessaire pour l'exécution du microprogramme 115 de RECEPTION EN LIGNE. Ce microprogramme extrait de l'une des parties 65 en file d'attente, représentées à la figure 2, de la commande 55 entre processeurs le groupe de bits de données, stocke les données dans

une mémoire-tampon et vérifie que le total de contrôle des groupes de bits est correct.

5 Le réassemblage en blocs des groupes de bits reçus s'effectue au moyen de la table 150 de réception de ligne implantée dans la mémoire. La table de réception de ligne contient 32 entrées de deux mots, correspondant aux deux lignes venant de chacun des seize modules de processeurs possibles dans une mise en oeuvre particulière du système de traitement par multiprocesseurs. Chaque entrée de la table de réception de ligne
10 correspond à une ligne et un émetteur contient un mot-adresse et un mot de comptage. Le mot-adresse précise dans quelle mémoire-tampon de la zone des données du système les données "en entrée" venant de cet émetteur doivent être stockées. Le mot de comptage précise le nombre de mots contenant des données qu'il
15 reste pour terminer le transfert par blocs à partir de cet émetteur.

Lorsque chaque groupe de bits de données est reçu, le microprocesseur 113 de l'unité centrale suspend le traitement des instructions du logiciel et le microprogramme 115 de réception
20 de ligne est lancé. Ce microprogramme lit le mot-adresse et le mot de comptage venant de l'entrée de la table de réception de ligne de l'émetteur, stocke le groupe de bits de données dans la zone spécifiée, vérifie que le total de contrôle des groupes de bits est correct et stocke à nouveau les valeurs réglées du mot-adresse et du mot de comptage dans l'entrée de la table de
25 réception de ligne. Si le groupe de bits a amené le compte à zéro ou si le groupe de bits contenait un total de contrôle incorrect, le microprogramme de réception de ligne place un indicateur d'interruption de fin d'opération pour signaler au logiciel l'arrêt du bloc de données. Le microprogramme de l'unité
30 centrale reprend ensuite le traitement de l'instruction du logiciel au point où il avait été interrompu, sans autre perturbation qu'un retard causé au programme au cours de déroulement.

Une caractéristique importante réside dans le fait que des
35 blocs de données provenant de plusieurs émetteurs peuvent être tous assemblés en simultanéité par un module de processeur récepteur à partir des groupes de bits de données reçus dans n'importe quel ordre. Cet assemblage imbriqué de blocs formés à partir de groupes de bits est effectué d'une manière transparente
40 au programme en cours de déroulement dans le processeur récep-

teur. Seules des fins d'assemblage réussi de blocs ou des transmissions erronées provoquent l'interruption du programme.

Il importe également qu'un partage du temps ou découpage du temps du matériel des lignes entre processeurs ait été effectué dans deux zones.

5 Tout d'abord, chaque ligne entre processeurs et chaque contrôleur de ligne associé permettent la transmission de groupes de bits entre n'importe quel émetteur et n'importe quel ré-
cepteur suivant la nécessité. Le balayage circulaire par un
10 contrôleur de ligne afin d'identifier un émetteur demandeur, assure à tous les modules de processeurs une égale occasion d'émission par l'intermédiaire de cette ligne. Chaque ligne fournit un circuit de communication qui est exploité en temps partagé sans déséquilibre par tous les modules de processeurs.

15 Ensuite, chaque partie 65 en file d'attente de la commande 55 entre processeurs d'un module de processeur est exploitée en temps partagé par les groupes de bits "en entrée" provenant de plusieurs émetteurs. Ce qui revient à dire que la logique et la mémoire en file d'attente d'un processeur ne sont pas
20 réservées à un seul émetteur pendant la durée d'un transfert par blocs. Au contraire, chaque groupe de bits reçu est correctement dirigé dans la mémoire par l'entrée de la table de réception de ligne correspondant à son émetteur et à sa ligne. Les blocs de données provenant de plusieurs émetteurs sont as-
25 semblés correctement dans la mémoire du récepteur, indépendamment de l'ordre dans lequel les émetteurs utilisent la ligne.

Un module de processeur a deux manières de contrôler sa capacité de réception des groupes de bits par la ligne X ou par la ligne Y.

30 Tout d'abord, il existe un bit dans le registre de MASQUE d'interruption de l'unité centrale, correspondant à chaque ligne entre processeurs. Lorsque le bit de MASQUE est présent, des microinterruptions sont permises dans cette ligne. Des micro-interruptions (lancement du microprogramme de RECEPTION
35 DE LIGNE) se produisent lorsque la logique 101, représentée à la figure 5, de l'état de vide de processeur d'une part 65 en file d'attente atteint l'état de MICROINTERRUPTION après qu'un groupe de bits a été reçu dans une mémoire-tampon en file d'attente. Si le bit de MASQUE est absent à la réception
40 d'un groupe de bits, la microinterruption et le traitement sui-

vant du groupe de bits dans la mémoire seront différés jusqu'à ce que le bit de MASQUE soit amené par une instruction du logiciel.

5 Les opérations du logiciel, telles que le changement d'une entrée de la table de réception de ligne, sont effectuées avec des microinterruptions invalidées afin d'éviter des résultats imprévisibles. Aucun groupe de bits n'est perdu pendant que les microinterruptions sont invalidées. Le premier groupe de bits reçu sera maintenu dans la mémoire-tampon en file d'attente jusqu'à ce que la microinterruption soit validée. Les transmissions des groupes de bits suivants sont refusées aussi longtemps que la mémoire-tampon en file d'attente est pleine car la logique 93 de l'état de remplissage de ligne sera à l'état COMPLET et donc dans l'incapacité de valider le signal d'ACCEP-
10 TATION DE RECEPTION en réponse au signal de SELECTION.
15

Un deuxième moyen de contrôler sa capacité de réception des groupes de bits par la ligne réside dans l'action entreprise par un module de processeur après une interruption de l'achèvement de la réception par la ligne X ou la ligne Y (déclenchement d'un dispositif d'interruption du système d'exploitation).
20

Lorsqu'une erreur de total de contrôle est détectée dans un groupe de bits reçu ou lorsque le compte de mots de la table de réception de ligne, restant dans un bloc de données, atteint zéro alors qu'un groupe de bits est stocké dans la mémoire, le microprogramme de RECEPTION EN LIGNE indique une interruption de l'achèvement de la réception par la ligne X ou la ligne Y. En d'autres termes, le microprogramme envoie le signal RINT (INTERRUPTION DE RECEPTION), représenté à la figure 8, dans la logique 101 de l'état de vide du processeur en file d'attente, pour permettre la réception d'un autre groupe de bits. Cependant, lorsque l'achèvement de la réception est indiqué, le signal RINT (INTERRUPTION DE RECEPTION) n'est pas émis.
25
30

35 Il incombe donc au programme d'interruption du logiciel d'achèvement de la réception par la ligne d'émettre le signal RINT (INTERRUPTION DE RECEPTION) au moyen d'une instruction de programme RIR (DEMANDE D'INTERRUPTION DE RECEPTION), afin de revalider la partie 65 en file d'attente. Jusqu'à ce que cela se produise, la logique 93 de l'état de remplissage de ligne
40

en file d'attente reste à l'état COMPLET et aucun groupe supplémentaire de bits ne sera reçu.

5 Le signal d'interruption de l'achèvement de la réception peut donc désigner soit un transfert de données par blocs qui ont été émises et reçues sans erreur, soit un transfert partiel dans lequel une erreur de total de contrôle est détectée et dans lequel un transfert partiel de l'interruption de l'achèvement est créé en résultat de l'erreur de total de contrôle détectée. Dans ce dernier cas, l'émetteur continue à envoyer les blocs de données mais le récepteur rejette les blocs de données après que 10 l'erreur de total de contrôle a été détectée. Cette erreur apparaît avec une valeur négative dans le mot de comptage de la table de réception de ligne. Ces explications seront clarifiées par la description suivante de l'opération.

15 L'instruction d'EMISSION est une instruction qui exige quatre mots paramètres dans la pile du registre de l'unité centrale.

20 Le premier de ces quatre mots paramètres est un compte du nombre de mots à transmettre. Cette valeur doit correspondre au nombre attendu par la table de réception de ligne du module de processeur récepteur si l'on veut que la transmission s'achève avec succès.

25 Le deuxième mot paramètre est l'adresse, moins un, de la zone de données de la mémoire du processeur émetteur dans laquelle sont localisées les données à transmettre.

30 Le troisième mot paramètre est une valeur de délai d'attente affectée à l'achèvement de la transmission d'un seul groupe de bits (quinze mots contenant des données). La période d'attente repart de zéro pour chaque groupe de bits transmis par l'intermédiaire de l'instruction d'EMISSION.

35 Le quatrième mot paramètre précise la ligne (c'est-à-dire la ligne X ou la ligne Y) à utiliser et il indique le module de processeur récepteur. Le bit de poids fort du paramètre précise la ligne et les quatre bits de poids faible, dans un exemple particulier de réalisation de la présente invention, indiquent le numéro du module de processeur récepteur.

A l'achèvement d'une instruction d'EMISSION, il y a deux situations possibles :

40 La première situation est la suivante : il s'est produit un délai d'attente d'un groupe de bits et les groupes de bits

restants n'ont pas été transmis, l'instruction ayant pris fin à ce moment-là. Dans ce cas, les groupes de bits restants du bloc ne sont pas transmis.

5 La deuxième situation possible consiste en une indication de l'achèvement réussi de la transmission d'un bloc de données.

10 Ainsi, dans une première récapitulation de l'opération d'EMISSION, l'instruction d'EMISSION remplit la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente, représentée à la figure 4, au moyen de quinze mots contenant des données, joint un total de contrôle d'impairité et signale au contrôleur 37 de ligne qu'un autre groupe de bits est prêt à être transmis. Après que chaque groupe de seize mots a été transmis, l'exécution de l'instruction d'EMISSION reprend au point où elle a été laissée. Si le 15 dernier groupe de bits du blocs comprend moins de quinze mots, les mots restants sont complétés par des zéros. L'instruction prend fin lorsque le dernier groupe de bits est transmis.

La figure 5 représente le schéma logique et la figure 7 représente le schéma d'état du matériel d'émission.

20 La première action de la séquence d'instruction d'EMISSION est d'envoyer un signal de RECEPTION EN MEMOIRE à la logique 73 de l'état de remplissage du processeur, représentée à la figure 4, et de fournir le numéro du processeur récepteur, par l'intermédiaire de la ligne M représentée à la figure 4, 25 au registre récepteur 71. En même temps, l'index de l'indicateur 79 hors de la file d'attente est réglé en conformité avec le bit de poids fort de la ligne M afin de connecter l'organe 67 hors de la file d'attente soit à la ligne X, soit à la ligne Y.

30 Le signal de RECEPTION EN MEMOIRE fait progresser la logique 73 de l'état de remplissage du processeur, qui est initialement à l'état vide comme le montre la figure 7, vers l'état de REMPLISSAGE représenté à la figure 7. Ce changement d'état provoque le chargement du numéro du processeur récepteur dans le registre 71 représenté à la figure 4. 35

A ce stade, l'organe 67 hors de la file d'attente est prêt pour le chargement du groupe de bits de données dans la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente. Jusqu'à quinze mots sont extraits de la mémoire et sont stockés, par l'intermédiaire de la ligne M représentée à la figure 4, dans la 40

mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente. Le signal de stockage hors de la file d'attente a pour résultat d'introduire chaque mot, transmis par la ligne M, dans la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente à un emplacement précisé par le compteur 77 hors de la file d'attente. Chaque signal de stockage hors de la file d'attente a également pour effet de faire progresser d'une unité le compteur 77 hors de la file d'attente.

Au fur et à mesure que les mots sont extraits de la mémoire, le mot-adresse est augmenté d'une unité et le compte de mots à émettre est diminué d'une unité. Si le compte atteint zéro avant que les quinze mots ne soient extraits de la mémoire, la partie restante de la mémoire-tampon hors de la file d'attente est garnie de zéros afin de remplir les position inutilisées dans le groupe de bits de données.

En outre, au fur et à mesure que les mots sont introduits dans la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente, le microprogramme 115 représenté à la figure 2 calcule un total de contrôle modulo deux des mots contenant des données. Après que le quinzième mot contenant des données a été introduit, le mot de total de contrôle d'impairité est chargé dans le seizième emplacement de la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente.

A ce moment-là, le compteur 77 hors de la file d'attente a une valeur de compte égale à 15 et cette valeur, combinée au signal de stockage hors de la file d'attente, fait passer la logique 73 de l'état de remplissage du processeur, de l'état de REMPLISSAGE à l'état COMPLET, comme le montre la figure 7.

A ce stade, le microprogramme 115 a terminé l'introduction des données dans la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente. Le microprogramme attend alors la transmission du groupe de bits en recherchant l'apparition du signal PRÊT représenté à la figure 7.

Pendant cette attente de la transmission du groupe de bits, le microprogramme 115 fait évoluer un rythmeur et si le rythmeur dépasse le temps imparti ou s'arrête avant que le signal PRÊT ne soit validé, le microprogramme envoie à la logique 73 de l'état de remplissage du processeur, représentée à la figure 4, le signal hors de la file d'attente de remise à zéro. Ceci a pour résultat de ramener la logique 73 de l'état de remplissage du processeur à l'état de vide représenté à la figure 7, et le microprogramme met ensuite fin à l'instruction d'EMISSION avec

l'indication du dépassement du temps imparti.

En fonctionnement normal, l'état COMPLET de la logique 73 de l'état de remplissage du processeur synchronise la logique 75 de l'état de vide de la ligne de manière à la faire passer de l'état EN RESERVE à l'état de SYNCHRONISATION représenté à la figure 7. Ensuite, l'état de SYNCHRONISATION est remplacé automatiquement par l'état d'EMISSION et cet état provoque l'envoi du signal de DEMANDE D'EMISSION au contrôleur 37 de ligne. Le signal de DEMANDE D'EMISSION déclenche une séquence de transmission de groupes de bits décrite auparavant.

Comme on l'a décrit auparavant, lorsque le module de processeur émetteur a été identifié par le contrôleur 37 de ligne par balayage et lorsque le module de processeur récepteur a accepté la transmission du groupe de bits au moyen du signal ACCEPTATION DE RECEPTION, le groupe de bits est envoyé de la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente, par l'intermédiaire de l'indicateur 79 hors de la file d'attente, à l'une des lignes 57 de données afin d'être chargé dans le module de processeur récepteur en file d'attente.

Lorsque le seizième mot est envoyé dans la ligne, la valeur du compte 15 du compteur hors de la file d'attente, en combinaison avec le signal de COMMANDE D'EMISSION et le signal de SELECTION DE L'EMETTEUR, fait passer de l'état d'EMISSION à l'état EXECUTE la logique 75 de l'état de vide de la ligne.

L'état EXECUTE synchronise l'état COMPLET de la logique 73 de l'état de remplissage du processeur (comme le montre la flèche en traits interrompus joignant l'état EXECUTE à la flèche marquant à la figure 7 le passage de l'état COMPLET afin de passer à l'état d'ATTENTE.

Ensuite, l'état d'ATTENTE synchronise l'état EXECUTE afin de passer à l'état EN RESERVE comme le montre le schéma d'état représenté à la figure 7.

Enfin, l'état EN RESERVE synchronise l'état d'ATTENTE afin de passer à l'état VIDE, comme le montre également le schéma de la figure 7.

L'état de VIDE de la logique 73 de l'état de remplissage du processeur fournit l'indication PRÊT au microprogramme 115.

Si le groupe de bits qui vient juste d'être transmis est le dernier groupe de bits du bloc spécifié de données, l'instruction d'EMISSION prend fin et l'indication d'une transmission réussie

de bloc est donnée.

Si le groupe de bits transmis n'est pas le dernier du bloc de données, la séquence décrite ci-dessus se répète alors jusqu'à ce que tous les mots du bloc aient été transmis ou jusqu'à ce qu'une erreur de délai d'attente se soit produite.

L'instruction d'EMISSION peut être interrompue et reprise; cependant, l'instruction d'EMISSION ne peut être interrompue qu'entre les groupes de bits et l'interruption de l'instruction d'EMISSION n'a aucun effet sur les données transmises.

Ainsi, au moyen d'une seule instruction de programme (l'instruction d'EMISSION), un bloc de données comptant jusqu'à 32 767 mots est transmissible d'un module de processeur émetteur à un module de processeur récepteur et l'exactitude de la transmission est vérifiée par le total de contrôle des groupes de bits. De même, la transmission se produit à un débit élevé de transfert des données car la mise en mémoire-tampon fournie par la mémoire-tampon 69 hors de la file d'attente du module de processeur émetteur permet d'effectuer la transmission à la vitesse de la ligne entre processeurs, indépendante de la vitesse de la mémoire du module de processeur émetteur. Ceci permet une utilisation efficace de ce circuit de communication entre plusieurs modules de processeurs sur la base d'un découpage du temps.

Comme on l'a mentionné ci-dessus, il n'y a pas d'instruction pour la réception.

Pour qu'un module de processeur reçoive des données par l'intermédiaire d'une ligne entre processeurs, le système d'exploitation de ce module de processeur doit d'abord réaliser une entrée dans la table de réception de ligne. Chaque entrée de la table de réception de ligne contient l'adresse dans laquelle sont mémorisées les données "en entrée" et le nombre attendu de mots.

Pendant que le module de processeur émetteur est en train d'exécuter l'instruction d'émission et envoie les données dans la ligne, le matériel de réception de la ligne et le microprogramme 115 du module de processeur récepteur rangent les données en fonction de l'entrée de la table de réception de ligne (ceci se produit en imbrication avec l'exécution du programme du logiciel).

Lorsque le module de processeur récepteur reçoit le nombre

attendu de mots d'un émetteur donné, le programme en cours de déroulement est interrompu et cette transmission particulière par la ligne se termine.

La figure 5 représente le schéma logique et la figure 8
5 représente le schéma d'état du matériel de réception de ligne.

Comme on l'a fait remarquer précédemment, il existe des parties 65 en file d'attente X et Y identiques dans chaque module de processeur pour la ligne X et pour la ligne Y. La description qui suit se rapportera donc à une seule de ces parties
10 en file d'attente.

Après une mise à zéro initiale d'un module de processeur, ou après une opération précédente de réception, l'état de MISE A ZERO de la logique 101 de l'état de vide du processeur passe à l'état PRÊT. L'état PRÊT synchronise l'état de SYNCHRONISATION
15 de la logique 93 de l'état de remplissage de ligne pour faire passer la logique à l'état d'ACCEPTATION.

Dans cet état d'ACCEPTATION, la partie 65 en file d'attente renvoie le signal d'ACCEPTATION au contrôleur 37 de ligne en réponse à un signal 63 de SELECTION, représenté à la figure 2, de
20 ce module 33 de processeur. Ceci montre la facilité avec laquelle la partie 65 en file d'attente X reçoit les groupes de bits de données.

Dans la séquence de transmission des groupes de bits, décrite en détail ci-dessus, la combinaison du signal de SELECTION de
25 ce module de processeur et du signal de COMMANDE DE RECEPTION synchronise l'état d'ACCEPTATION de la logique 93 de l'état de remplissage de ligne et le fait passer à l'état de RECEPTION.

A ce passage d'un état à l'autre, le numéro du module de processeur émetteur est chargé dans le registre de l'émetteur 95
30 représenté à la figure 5.

A l'état de RECEPTION, le groupe de bits de données est transmis de la ligne de données à la mémoire-tampon 97 en file d'attente sous le contrôle du compteur 99 en file d'attente.

Lorsque le seizième mot du groupe de bits est chargé, il
35 provoque le passage de l'état de RECEPTION à l'état COMPLET, comme le montre la figure 8.

L'état COMPLET synchronise l'état PRÊT de la logique 101 de l'état de vide du processeur pour la faire passer à l'état de MICROINTERRUPTION, comme le montre la figure 8. L'état de
40 MICROINTERRUPTION présente un état COMPLET EN FILE D'ATTENTE à

la logique d'interruption de l'unité centrale. Ce signal COMPLET EN FILE D'ATTENTE produit une microinterruption à la fin de l'instruction suivante du programme si le bit de MASQUE correspondant à cette ligne est présent.

5 Le microprogramme 115 de réception de ligne lancé par l'interruption envoie d'abord un signal de BLOCAGE, représenté à la figure 5, à la logique 101 de l'état de vide du processeur. Ceci fait passer l'état de MICROINTERRUPTION de la logique 101 de l'état de vide du processeur à l'état de VIDAGE.

10 Le signal de BLOCAGE sélectionne également la partie en file d'attente X ou la partie en file d'attente Y; à condition, toutefois, que les deux parties en file d'attente soient complètes et validées, c'est la partie X en file d'attente qui est validée.

15 Ensuite, le microprogramme 115 produit le signal d'EMISSSION K qui provoque l'envoi du contenu du registre émetteur 95 dans la ligne K, représentée à la figure 5, afin d'obtenir le numéro du processeur émetteur de groupes de bits.

20 A l'aide de ce numéro de processeur, le microprogramme 115 lit l'entrée de la table de réception de ligne du processeur émetteur afin d'obtenir les mots-adresses et les mots de comptage.

25 Si le mot de comptage est nul ou négatif, le groupe de bits est rejeté; et, dans le deuxième cas, le microprogramme 115 envoie un signal d'INTERRUPTION DE RECEPTION qui fait passer la logique 101 de l'état de vide du processeur de l'état de VIDAGE à l'état de MISE A ZERO, comme le montre la figure 8. Dans ce cas, il n'y a pas d'autre action. La microinterruption prend fin et le traitement de l'instruction du programme est repris.

30 Si le comptage est positif, le microprogramme 115 extrait des mots de la mémoire-tampon 97 en file d'attente pour les lancer dans la ligne K par l'intermédiaire du signal K EN FILE d'ATTENTE, comme le montre la figure 5.

35 A chaque apparition du signal K EN FILE D'ATTENTE, le compteur 99 en file d'attente progresse afin de balayer la mémoire-tampon 97 en file d'attente.

Au fur et à mesure que chaque mot de données est extrait de la mémoire-tampon 97 en file d'attente, le mot de comptage est diminué, le mot-adresse de la mémoire est augmenté et le mot de données est stocké dans la mémoire.

40 Si le mot de comptage atteint zéro, aucun autre mot n'est

stocké dans la mémoire, un indicateur d'interruption de fin d'opération est placé et le numéro du processeur émetteur est stocké dans un emplacement de la mémoire. Dans ce cas, la logique 93 de la ligne de l'état de remplissage reste à l'état COMPLET jusqu'à ce qu'elle soit remise à zéro par une instruction de programme de DEMANDE D'INTERRUPTION DE RECEPTION.

Ainsi, lorsqu'un bloc de données aura été entièrement reçu, le mot de comptage contiendra une valeur comprise entre -14 et zéro. Après que l'interruption de la fin d'opération s'est produite, aucune autre transmission vers le processeur par la ligne qui provoque l'interruption n'est permise, jusqu'à ce que l'organe en file d'attente soit remis à zéro par une instruction de DEMANDE D'INTERRUPTION DE RECEPTION.

Au fur et à mesure que les mots contenant des données sont stockés dans la mémoire, un total de contrôle modulo deux des données du groupe de bits est calculé.

Si le total de contrôle est mauvais, le compte de mots dans l'entrée de la table de réception de ligne est réglé à -256, un indicateur d'interruption de fin d'opération est placé et le numéro du processeur émetteur est introduit dans la mémoire. Comme ci-dessus, la logique 93 de l'état de remplissage de la ligne reste à l'état COMPLET jusqu'à ce qu'elle soit remise à zéro par une instruction de DEMANDE D'INTERRUPTION DE RECEPTION.

Si le mot de comptage n'atteint pas zéro, et si le total de contrôle est bon, le microprogramme 115 de réception de ligne envoie un signal d'INTERRUPTION DE RECEPTION à la logique de l'état de vide du processeur, comme le montre la figure 5, ce qui fait passer la logique 101 de l'état de vide du processeur, de l'état de VIDAGE à l'état de MISE A ZERO, comme le montre la figure 8.

L'état de MISE A ZERO de la logique 101 synchronise la logique 93 de l'état de remplissage de la ligne et la fait passer de l'état COMPLET à l'état de SYNCHRONISATION, comme le montre également la figure 8.

A ce stade, la logique a été ramenée à l'état dans lequel elle se trouvait avant que le groupe de bits ne soit reçu, ce qui permet donc la réception d'autres groupes de bits.

Ces groupes de bits peuvent provenir du même émetteur, de manière à compléter le bloc de données, ou bien ils peu-

vent provenir d'un autre émetteur.

Ceci met fin à l'action du microprogramme 115 de réception de ligne et le microprocesseur 113 reprend le traitement des instructions du logiciel.

5 Lorsqu'il s'est produit une interruption de la fin de l'opération de réception, le programme de gestion de l'interrup-
tion du logiciel extrait le numéro du processeur émetteur de l'emplacement de la mémoire où ce numéro était stocké, et le
programme de gestion de l'interruption du logiciel peut ensuite
10 détecter si une erreur s'est produite dans le total de contrôle en examinant le mot de comptage de la table de réception de li-
gne de ce processeur émetteur.

 Dans le cas d'une erreur de transmission, le mot de compta-
ge a été amené à -256. En d'autres termes, le mot de comptage
15 contiendra une valeur comprise entre -14 et zéro.

 Comme on l'a mentionné ci-dessus, il incombe donc au pro-
gramme de gestion de l'interruption de la fin d'opération de ré-
ception de ligne de produire un signal d'INTERRUPTION DE RECEP-
TION, par l'intermédiaire d'une instruction de programme de
20 DEMANDE D' INTERRUPTION DE RECEPTION, afin de valider à nouveau la partie 65 en file d'attente.

 Pour résumer l'opération de réception, exactement comme
l'émission d'un bloc de données par un module de processeur
émetteur est vue par le logiciel comme un seul événement, la ré-
25 ception des données par un processeur récepteur ne provoque pas d'interruption de programme du module de processeur récepteur
jusqu'à ce que le bloc de données tout entier ait été reçu jus-
qu'à ce qu'une erreur se soit produite. De même, les parties 65
en file d'attente servent de mémoires-tampons pour permettre la
30 transmission de données aux débits de transmission par ligne tout en permettant la mémorisation des données et le contrôle
des données à la vitesse de la mémoire. Cette capacité d'utili-
ser le débit élevé de transmission de la ligne assure une lar-
geur de bande appropriée de ligne de manière à desservir plu-
35 sieurs modules de processeurs sur une base de découpage du temps. Enfin, le fait qu'un mot de total de contrôle soit prévu dans
chaque groupe de bits de données, fournit au module de proces-
seur récepteur un moyen de vérifier l'exactitude des données
reçues par le circuit de communication du système de multipro-
40 cesseurs.

L'information transmise par la ligne entre processeurs l'est sous le contrôle du système d'exploitation et elle est transmise d'un traitement dans un module de processeur 33 à un autre traitement dans un autre module de processeur 33. Un traitement tel qu'on l'a décrit ci-dessus dans la description du système de traitement par multiprocesseurs, forme une entité fondamentale dans le système de logiciel et plusieurs traitements coexistent dans un module de processeur 33. L'information transmise par la ligne entre processeurs, entre des traitements implantés dans différents modules de processeurs, se compose de deux types d'éléments : les groupes de bits de contrôle et les données.

Les groupes de bits de contrôle sont utilisés pour informer le module 33 de processeur récepteur en ce qui concerne les lancements de messages, les annulations et les transmissions de données.

A ce sujet, il faut noter que, bien que les lignes 35 entre processeurs interconnectent les modules de processeurs 33, un traitement dans un module particulier 33 de processeur communique avec un autre traitement ou avec d'autres traitements dans un autre module 33 de processeur, par l'intermédiaire d'un procédé de multiplexage dans la ligne 35 entre processeurs. La circulation dans la ligne entre deux modules 33 de processeurs contiendra, par conséquent, des transmissions entre des traitements qui se trouvent à des stades variés d'exécution. De nombreuses transmissions entre traitements sont, par conséquent, imbriquées sur une base apparemment simultanée.

Le matériel utilise le découpage de temps dans la ligne 35 entre processeurs au niveau des groupes de bits, et de nombreux traitements communiquent entre eux, aussi bien à l'intérieur des modules 33 de processeurs que par les lignes 35 entre processeurs dans la mesure nécessaire, par des mouvements de messages qui sont imbriqués l'un dans l'autre. En aucun cas, une ligne 35 entre processeurs n'est affectée à un mouvement particulier entre traitements.

Les données sont envoyées dans la ligne entre processeurs en un ou plusieurs groupes de bits et elles sont toujours précédées d'un groupe de bits de contrôle et toujours suivies d'un groupe de bits de fin de bloc.

Le groupe de bits de contrôle précédant les groupes de

bits de données est nécessaire car une ligne n'est jamais affectée à un message particulier et le groupe de bits de contrôle sert par conséquent à identifier correctement le message et à indiquer la quantité de données à recevoir dans le message.

5 Cette transmission de l'information (groupe de bits de contrôle, information, groupe de bits de fin de bloc) se fait en un tout indivisible une fois qu'elle est commencée. Le module de processeur émetteur envoie les blocs de données sous la forme d'une transmission individuelle (composée d'un certain nombre
10 de groupes de bits de données) et il envoie le groupe de bits de fin de bloc également sous la forme d'une transmission individuelle; c'est alors seulement que le module de processeur émetteur peut envoyer une information relative à un autre message.

Le groupe de bits de fin de bloc a un double objet.

15 Tout d'abord, si une erreur est commise au cours de la transmission des données (et le reste du bloc de données doit alors être rejeté), le groupe de bits de fin de bloc indique la fin du bloc.

Ensuite, si le processeur émetteur tente d'envoyer trop de
20 données (et, de nouveau, le bloc doit être rejeté), le groupe de bits de fin de bloc fournit un moyen de reconnaître que les données ont été transmises et que la transmission de données est terminée.

Ou bien l'information transmise est reproduite sur différents circuits (de manière à assurer son arrivée au récepteur)
25 ou bien un accusé de réception du récepteur est exigé (de telle sorte que l'information est rejetée en cas de nécessité). Une erreur individuelle quelconque de lignes ne peut donc provoquer une perte d'information et une erreur individuelle quelconque
30 de ligne ne sera pas perçue par les deux traitements concernés.

Le logiciel de réception de ligne est verrouillé avec le matériel de réception de ligne, c'est-à-dire la partie 65 en file d'attente représentée à la figure 2, par un contrôle de la transmission de l'information entre cette partie en file d'at-
35 tente et la mémoire 107.

Ceci permet d'effectuer des opérations telles que la modification de l'information de la table de réception de ligne, sans conditions de courses (problèmes de synchronisation).

Une fois que l'information de la table de réception de li-
40 gne a été mise à jour, on supprime le verrouillage en éliminant

l'interruption préalable de fin d'opération et en validant à nouveau les microinterruptions de réception de ligne en mettant en action le bit de masque de ligne dans le registre de masque.

5 Cette action a deux conséquences. Elle permet au matériel en file d'attente d'accepter un groupe de bits dans la partie en file d'attente et elle permet également au microprogramme de réception de ligne de transmettre cette information de la partie en file d'attente à la mémoire.

10 Le système de matériel et de logiciel est constitué de telle sorte qu'aucune information n'est perdue en cas de défaillance de l'alimentation électrique du système (telle qu'une panne totale de l'alimentation en courant alternatif à partir du réseau) ou en cas d'effet transitoire sur une ligne qui provoque une panne momentanée de l'alimentation d'une partie du système.

15 L'action combinée de ce système de matériel et de logiciel inclut un signal d'alarme d'alimentation, indiqué dans la ligne 337 de la figure 3 et fourni à la partie 65 en file d'attente représentée à la figure 2 de sorte que, au plus, un groupe supplémentaire de bits d'information peut être introduit dans la
20 partie en file d'attente après réception du signal d'alarme d'alimentation.

L'action du logiciel, dans le cas présent, inclut une instruction de SELECTION qui force les parties en file d'attente à être complètes. Le résultat net est d'assurer qu'aucune transmission ne sera complétée après que le module 33 de processeur
25 aura reçu son signal d'alarme d'alimentation, de telle sorte que chaque transmission est connue lorsque l'alimentation de la logique est coupée.

Les lignes 35 entre processeurs sont utilisées par le système
30 me d'exploitation pour assurer que les autres modules de processeurs du système sont en fonctionnement. Toutes les deux secondes N, chaque module 33 de processeur doit avoir reçu un tel groupe de bits de chaque module 33 de processeur du système. Un module de processeur qui ne répond pas est considéré comme
35 étant en panne. Si un module de processeur ne reçoit pas son propre message, ce module 33 de processeur sait alors qu'il est en état de défaillance et il ne prendra pas la relève des organes
41 de commande d'entrées-sorties.

La figure 42 illustre schématiquement la manière dont un
40 programme particulier d'application peut se dérouler de façon

continue, même si diverses parties du système de traitement par multiprocesseurs peuvent devenir inopérantes.

5 Chacune des vues séparées représentées à la figure 42 illustre une composition d'un système de traitement par multiprocesseurs qui se compose de deux modules 33 de processeurs connectés par une double ligne 35 entre processeurs (une ligne repérée X et une ligne repérée Y), d'un organe 41 de commande qui commande plusieurs terminaux à clavier, et d'un autre organe 41 de commande qui commande un disque.

10 Les vues individuelles de la figure 42 indiquent les diverses parties du système de traitement par multiprocesseurs rendues inutilisables et réintroduites ensuite dans un état utilisable dans le système de traitement par multiprocesseurs.

15 La séquence débute par la vue de gauche supérieure et elle se poursuit dans l'ordre indiqué par les flèches en traits larges disposées entre les vues. La séquence passe ainsi de l'état 1 indiqué comme étant l'Etat Initial, à l'état 2 : Unité Centrale 0 Coupée, puis à l'état 3 : Unité Centrale 0 Remise en état, à l'état 4 : Unité Centrale 1 Coupée et à l'état 5 : Unité Centrale 1 Remise en état, comme l'indiquent les légendes au-dessus
20 de chaque vue séparée.

Dans l'état initial du système de traitement par multiprocesseurs, représenté par la vue intitulée "Etat Initial" et placée en haut à gauche de la figure 42, une copie PA du programme d'application est en cours d'exécution. Cette copie lance
25 un appel de système pour créer la copie PB sous forme d'un double auquel le programme d'application PA passe ensuite l'information. L'ensemble des entrées et sorties se fait par le module 0 de processeur. Dans cet état initial, la ligne 35 entre pro-
30 cesseurs peut tomber en panne ou être coupée, comme l'indiquent les barres tracées sur la ligne X, et elle peut être réintroduite ensuite dans le système de traitement par multiprocesseurs sans produire aucun effet sur le programme d'application PA.

Dans la vue suivante, intitulée "Unité Centrale 0 Coupée",
35 le module 0 de processeur est rendu inutilisable. Le système de traitement par multiprocesseurs informe le programme d'application PA de ce qui s'est passé et le programme d'application PA n'essaie plus de communiquer avec le programme PB. L'ensemble des entrées-sorties est commuté par le système de traitement
40 par multiprocesseurs de telle sorte qu'elles s'effectuent par

le système de traitement par multiprocesseurs de telle sorte qu'elles s'effectuent par l'intermédiaire du module 1 de processeur, et le programme d'application continue à desservir les terminaux sans interruption par la ligne 39 d'entrées-sorties connectant le module 1 de processeur aux organes 41 de commande, comme l'indique la flèche en traits pleins à droite de la ligne 39 d'entrées-sorties.

Dans l'état suivant d'exploitation du système de traitement par multiprocesseurs, illustré par la vue du milieu en haut de la figure 42 et intitulée "Unité Centrale 0 Remise en état", le module 0 de processeur est remis en service par l'intermédiaire d'une commande de console. Le module 0 de processeur est rechargé avec le système de traitement par multiprocesseurs, à partir du disque, au moyen du module 1 de processeur. Le programme d'application PA est informé que le module 0 de processeur est maintenant prêt à fonctionner et le programme d'application PA ordonne au système de traitement par multiprocesseurs de créer une autre copie du programme d'application dans le module 0 de processeur. Cette autre copie est désignée par les initiales PC. Les terminaux continuent à être desservis sans interruption.

Ensuite, le module 1 de processeur est rendu inopérant, comme le montre la vue intitulée "Unité Centrale 1 Coupée". Le programme d'application PC est informé de ce fait par le système de traitement par multiprocesseurs et le programme d'application PC prend la relève de l'application. Le système de traitement par multiprocesseurs effectue automatiquement toutes les entrées-sorties par l'intermédiaire du module 0 de processeur. Les terminaux continuent à être desservis sans interruption.

Enfin, comme le montre la vue placée en haut à droite de la figure 42 et intitulée "Unité Centrale 1 Remise en état", le module 1 de processeur est rendu utilisable au moyen d'une commande de console et il est rechargé avec le système de traitement par multiprocesseurs, à partir du disque, au moyen du module 0 de processeur. Le programme d'application PC est informé que le module de processeur est maintenant disponible et il ordonne au système de traitement par multiprocesseurs de créer une autre copie de lui-même (programme d'application PD) dans le module 1 de processeur. Tous les éléments du système de traitement par multiprocesseurs sont maintenant exploitables.

Pendant tout ce temps, les deux lignes entre processeurs

et les deux modules de processeurs ont été rendus inutilisables et ont été réintroduits dans le système sans que le programme d'application et les terminaux aient subi d'interruption.

5 Une caractéristique importante du système de traitement par multiprocesseurs réside dans le fait que, non seulement le programme d'application peut se dérouler alors qu'il y a une défaillance, mais également que l'élément défaillant peut être réparé et/ou remplacé pendant que le programme d'application continue à se dérouler. Ceci est vrai non seulement pour les
10 modules de processeurs et les lignes entre processeurs, mais également pour tous les éléments du système de traitement par multiprocesseurs tels que les alimentations électriques, les ventilateurs dans le châssis, etc. Le système 31 de traitement par multiprocesseurs est ainsi un véritable système continu.

15 Le système 31 de traitement par multiprocesseurs, représenté à la figure 1, comprend un système d'entrées-sorties et des organes 41 de commande à double entrée, comme on l'a noté précédemment d'une manière générale.

20 Le système d'entrées-sorties a pour objet général de permettre la transmission des données entre un module 33 de processeur et des appareils périphériques.

La présente invention a pour caractéristique importante le fait que la transmission des données peut s'effectuer par des circuits redondants afin d'assurer des traitements en mode
25 "dégradé", de telle sorte qu'une défaillance d'un module 33 de processeur ou d'une partie d'un organe 41 de commande ne bloquera pas la transmission des données de et vers un appareil périphérique particulier.

30 Chaque organe 41 de commande comporte deux entrées 43 et une structure correspondante qui, en liaison avec les deux lignes correspondantes 39 d'entrées-sorties, permet un accès redondant à un appareil périphérique, comme on le décrira plus en détail ci-dessous.

35 Le système d'entrées-sorties qui fait l'objet de la présente invention comporte également quelques caractéristiques particulièrement significatives en matière de performances. Par exemple, une des caractéristiques de performance du système d'entrées-sorties qui fait l'objet de la présente invention réside dans la vitesse (largeur de bande) à laquelle fonctionne
40 la structure des lignes d'entrées-sorties. Les organes 41 de

commande collectent les données auprès des appareils périphériques qui transmettent les données à des débits relativement faibles et transmettent les données collectées aux modules de processeurs suivant un mode de multiplexage en tranches de temps à ou au voisinage de la vitesse de la mémoire des modules 33 de processeurs.

Comme le montre la figure 1, chaque module 33 de processeur est relié à et prend en charge plusieurs organes individuels 41 de commande. Ce fait permet de connecter chaque organe 41 de commande, par l'intermédiaire des doubles entrées 43, à plus d'un module 33 de processeur d'un système unique de traitement par multiprocesseurs.

On se reportera maintenant à la figure 12 des dessins. Chaque module 33 de processeur inclut, en plus de la commande 55 entre processeurs mentionnée ci-dessus, une unité centrale 105, une mémoire 107 et un canal 109 d'entrées-sorties.

Comme le montrent la figure 12 et également la figure 1, chaque organe 41 de commande régit un ou plusieurs appareils par l'intermédiaire de lignes de connexions 111 branchées en étoile, c'est-à-dire que chaque appareil est connecté de manière indépendante à l'organe de commande.

A la figure 12, un système 45 d'entraînement de disques est connecté à un organe 41 de commande et un système 49 d'entraînement de bande magnétique est connecté à un autre organe de commande.

En continuant à se reporter à la figure 12, on verra que chaque unité centrale 105 comprend un microprocesseur 113. Un microprogramme 115 est associé à chaque microprocesseur 113. Le microprocesseur 113 exécute une partie du microprogramme 115 en exécutant les instructions d'entrées-sorties pour le système d'entrées-sorties. Les instructions d'entrées-sorties sont indiquées à la figure 12 par les sigles EIO (exécution des entrées-sorties), IIO (interrogation des entrées-sorties) et HIIIO (interrogations hautement prioritaires des entrées-sorties). Ces instructions sont illustrées et décrites plus en détail ci-dessous avec référence aux figures 15, 16 et 17.

Le microprocesseur 113 accède à la ligne 39 d'entrées-sorties par l'intermédiaire du canal 109 d'entrées-sorties et par un ensemble de circuits 117 représentés à la figure 12.

En continuant à se reporter à la figure 12, on verra que

le canal 109 d'entrées-sorties comprend un microprocesseur 119 auquel est associé un microprogramme 121.

5 Le microprogramme 121 remplit une fonction unique dans le système de traitement par multiprocesseurs, cette fonction consistant à effectuer la séquence de reconnexion et de transmission des données, illustrée à la figure 16 et décrite plus en détail ci-dessous.

10 Le canal 109 d'entrées-sorties d'un module 33 de processeur comprend également une logique 123 des circuits de données, comme le montre la figure 12.

15 Comme le montre le mieux la figure 13, la logique 123 des circuits de données comprend un registre 125 de données mises en mémoire par le canal, un registre 127 de données d'entrées-sorties, un registre 129 d'adresses mises en mémoire par le canal, un registre 131 de comptage des caractères, un registre 133 d'adresses des appareils actifs, un registre 135 séparateur de priorités et une logique 137 de contrôle et de création de parité.

20 Le circuit 117 représenté à la figure 12 comprend deux lignes repérées à la figure 13 sous l'appellation de ligne M et de ligne K.

La ligne M est une ligne de départ venant du micro-processeur 113 et elle introduit les données dans le registre 127 de données d'entrées-sorties.

25 La ligne K est une ligne d'arrivée qui transmet les données de la logique 123 du circuit de données au microprocesseur 113.

Comme le montre la figure 12, un circuit 139 connecte la logique 123 du circuit de données et le sous-système 107 de la mémoire.

30 Ce circuit 139, représenté à la figure 12, inclut à la fois un circuit de matériel 139A et deux circuits logiques 139B et 139C implantés dans le sous-système 107 de la mémoire d'un module 33 de processeur.

35 Les circuits logiques 139B et 139C seront décrits plus en détail ci-dessous, en rapport avec la description de la figure 16.

Le circuit de matériel 139A comprend trois branchements comme le montre la figure 13.

40 Un premier branchement 139-A 1 transmet les données de la mémoire au registre 125 de données mises en mémoire par le canal.

Un deuxième branchement 139A-2 transmet à la mémoire les données venant du registre 129 d'adresses mises en mémoire par le canal.

Et un troisième branchement 139A-3 transmet à la mémoire les données venant du registre 127 de données d'entrées-sorties.

Comme le montre la figure 12, le canal d'entrées-sorties d'un module 33 de processeur comprend une partie logique 141 de commande.

Cette partie logique 141 de commande comprend à son tour une machine 143 dans la ligne T, représentée à la figure 13, et des lignes de DEMANDE DE RECONNEXION 145, DEMANDE D'INTERRUPTION FAIBLEMENT PRIORITAIRE 147, DEMANDE D'INTERRUPTION FORTEMENT PRIORITAIRE 149 et de DEMANDE DE RANGEMENT 151, comme le montre la figure 14.

La ligne 39 d'entrées-sorties, représentée aux figures 12 et 14, comprend également un groupe de lignes de fonctions de canal 153, 157 et 159. Voir également à la figure 13. La ligne de REFERENCE ou ligne T 153 se compose de quatre lignes qui servent de lignes de fonctions et il y a trois lignes d'UTILISATION EN SORTIE 155, d'UTILISATION EN ENTREE 157 et d'ARRET EN ENTREE 159 qui servent de lignes de liaison, comme l'indiquent les légendes de la figure 14.

Comme le montrent la figure 12 et la figure 14, la ligne 39 d'entrées-sorties comprend également un groupe de lignes 161, 163, 165, 167 et 169 pour l'acheminement des données.

La ligne 161 et la ligne de PARITE 163 pour l'acheminement des données sont bidirectionnelles et elles servent de lignes d'acheminement des données; comme le montre la figure 14, il y a dans ce groupe seize lignes 161 d'ACHEMINEMENT DES DONNEES et une ligne 163 de PARITE.

Les lignes FIN DE TRANSMISSION 165, REMPLISSAGE DE POSITIONS INUTILISEES EN SORTIE 167 et REMPLISSAGE DE POSITIONS INUTILISEES EN ENTREE 169 servent de lignes d'état des données et elles indiquent les états particuliers qui peuvent se produire de temps à autre dans les lignes 161 et 163 d'acheminement des données.

Enfin la ligne 39 d'entrées-sorties comprend une ligne 171 de mise à zéro, comme le montrent également les figures 12 et 14.

Chaque instruction dans la ligne T, illustrée à la figure

18, exige un format particulier dans la ligne 161 acheminant les données pendant qu'une instruction dans la ligne T est valable. Ce format particulier dans la ligne acheminant les données est illustré dans le cas des fonctions LAC (Adresse et instruction d'implantation) et RDST (Etat du dispositif de lecture) représentées à la figure 18, pour l'exemple préféré de réalisation.

Dans le cas de la fonction LAC (Adresse et instruction d'implantation) dans la ligne T, les données ou la zone transmises par les lignes 0 à 5 de la ligne 161 acheminant les données précisent l'opération à exécuter; la zone transmise par les lignes 8 à 12 de la ligne acheminant les données indique l'organe 41 de commande (ou plus précisément l'entrée 43 de cet organe de commande qui est reliée à la ligne 161 acheminant les données) auquel l'instruction est adressée; et la zone transmise par les lignes 13 à 15 de la ligne acheminant les données indique quel appareil relié à l'organe de commande doit être manoeuvré par l'organe de commande en réponse à cette instruction.

Dans le cas de la fonction RDST (Etat du dispositif de lecture) dans la ligne T, les bits 0, 1, 2 et 3 dans la ligne acheminant les données indiquent respectivement une erreur de propriété, une interruption en cours, un appareil occupé et une erreur de parité. Les bits 4 à 15 signalent l'état dépendant de l'appareil.

Les fonctions dans la ligne T sont transmises en trois séquences, représentées aux figures 15, 16 et 17 et décrites en détail ci-dessous.

Chaque fonction dans la ligne T est validée par le canal et une séquence d'établissement de liaison est effectuée entre le canal 109 et l'organe 41 de commande au moyen des lignes de liaison 155, 157 et 159 afin d'accuser réception de la fonction dans la ligne T. La machine 143 dans la ligne T, représentée à la figure 13, a pour fonction de commander la ligne T et la liaison.

La figure 28 est un chronogramme montrant le fonctionnement de la liaison entre le canal 109 d'entrées-sorties et les entrées 43.

Comme le montre la figure 28, la ligne 155 transmet le signal d'utilisation "en sortie" SVO et la ligne 157 transmet le signal d'utilisation "en entrée" SVI.

Le cycle d'horloge du canal est représenté orienté verticalement avec les signaux d'utilisation "en sortie" SVO et d'utilisation "en entrée" SVI.

5 Comme le montre la figure 28, le signal d'utilisation "en entrée" SVI n'est pas synchronisé avec l'horloge du canal et il peut être validé à n'importe quel moment par l'organe de commande en réponse à un signal d'utilisation "en sortie" venant du canal 109 d'entrées-sorties.

10 Avant de valider le signal d'utilisation "en sortie" SVO, le canal 109 valide la fonction dans la ligne T et, en cas de nécessité, la ligne acheminant les données.

15 Le canal valide ensuite un signal d'utilisation "en sortie", comme l'indique la montée verticale 279 à la figure 28. Le signal d'utilisation "en sortie" demeure validé jusqu'à ce que l'organe de commande réponde par le signal d'utilisation "en entrée" 281, accusant réception de l'instruction du canal. Le signal d'utilisation "en entrée" reste validé jusqu'à ce que le canal élimine le signal d'utilisation "en sortie".

20 Lorsque l'organe 41 de commande valide le signal d'utilisation "en entrée", le canal 109 élimine le signal d'utilisation "en sortie", comme le montre la descente verticale 283 à la figure 28, en un temps compris de manière caractéristique entre un et deux cycles d'horloge; en réponse, l'organe de commande élimine le signal d'utilisation "en entrée" comme le montre la descente verticale 285 à la figure 28.

25 Lorsque l'organe de commande élimine le signal d'utilisation "en entrée", le canal 109 est libre de revalider un signal d'utilisation "en sortie" pour la transmission suivante; cependant, le canal ne revalidera pas le signal d'utilisation "en sortie" aussi longtemps que le signal d'utilisation "en entrée" n'a pas été éliminé.

30 Les flèches 281A, 283A et 285A à la figure 28 indiquent respectivement les réponses aux actions 279, 281 et 283.

35 L'établissement de la liaison se termine à la fin de la descente verticale 285, comme le montre la figure 28.

Lors d'une transmission "en sortie", le registre 213 de données à l'interface de l'organe de commande prend en charge les données au début du signal d'utilisation "en sortie", c'est-à-dire à la montée verticale 279 et il transmet ces données à la partie de commande de l'organe 187 de commande à la

fin du signal d'utilisation "en sortie", c'est-à-dire à la descente verticale 283.

5 Lors d'une transmission "en entrée", le canal 109 prend en charge les données venant de l'organe de commande à la fin du signal d'utilisation "en sortie", c'est-à-dire à la descente verticale 283.

10 Ainsi, une liaison à deux lignes est utilisée pour verrouiller la transmission de l'information entre le canal 109 et son organe 41 de commande, puisqu'ils agissent de manière asynchrone.

C'est la condition générale de liaison, indiquée par la liaison 2L aux figures 15, 16 et 17.

En outre, deux considérations de liaison spéciale se posent, le cas échéant.

15 Premièrement, les instructions dans le canal, utilisées pour sélectionner un organe de commande, ne sont pas liées par le signal d'utilisation "en entrée", car aucun organe de commande n'est sélectionné pendant ce temps.

20 Ces instructions comprennent, comme le montre la figure 18, les fonctions suivantes :

SEL : Sélection;

IAC : Adresse et instruction d'implantation;

HPOL : Balayage d'interruption fortement prioritaire;

LPOL : Balayage d'interruption faiblement prioritaire, et

25 RPOL : Balayage d'interruption de reconnexion.

De même, les instructions utilisées pour mettre fin à une séquence ne sont pas liées par le signal d'utilisation "en entrée", car elles amènent un organe de commande sélectionné à se désélectionner.

30 Ces instructions comprennent, comme le montre également la figure 18, les fonctions suivantes :

DSEL : Désélection;

ABTI : Instruction de suspension d'exécution (Entrée-Sortie); et

35 ABTD : Données de suspension d'exécution.

40 Pour toutes les instructions mentionnées ci-dessus et qui ne sont pas liées, le canal valide le signal 155 d'utilisation "en sortie" SVO pendant un temps donné (par exemple, deux cycles d'horloge) et, ensuite, le canal éliminera ce signal d'utilisation "en sortie" SVO. Ce type de liaison est

indiqué aux figures 15, 16 et 17 par la liaison 1L.

Deuxièmement, la transmission des données est normalement liée sauf que, lorsqu'un organe de commande désire signaler qu'une plus longue utilisation n'est pas demandée, il renvoie un signal d'arrêt "en entrée" STI, au lieu d'un signal d'utilisation "en entrée" SVI. Lorsque le signal d'utilisation "en sortie" SVO est ensuite éliminé par le canal, l'entrée se désélectionne elle-même. Le signal d'arrêt "en entrée" STI établit d'autre part la liaison de la même manière que le signal d'utilisation "en entrée" SVI.

Une condition supplémentaire valable pour toutes les liaisons réside dans le fait que, lorsque le canal se prépare à valider le signal d'utilisation "en sortie" SVO, il déclenche un rythmeur qui fait partie de la machine 143 dans la ligne T de la figure 13. Ce rythmeur dépasse le temps imparti et inscrit une erreur si le cycle suivant de liaison n'est pas déclenché et terminé dans le temps réglé par le rythmeur. Si le rythmeur dépasse le temps imparti, une erreur est enregistrée au point approprié de la séquence et une instruction de suspension d'exécution ABTI (séquence EIO Exécution des entrées-sorties, IIO Interrogations des entrées-sorties, et HIIIO Interrogations hautement prioritaires des entrées-sorties) ou des données de suspension d'exécution ABTD (séquence de reconnexion) sont envoyées à l'organe de commande 41. Voir la description concernant les figures 15, 16 et 17.

La figure 29 représente la logique dans le cas de la liaison représentée à la figure 28. La logique représentée à la figure 29 fait partie de la machine 143 dans la ligne T représentée à la figure 13. La logique représentée à la figure 29 est la logique qui est opérante dans le cas de la condition générale de liaison mentionnée ci-dessus.

La logique représentée à la figure 29 inclut une bascule bistable 287 d'utilisation "en sortie" et une bascule bistable 289 de synchronisation d'utilisation "en entrée". Comme le montrent les lignes de séparation et les légendes à la figure 29, les bascules bistables 287 et 289 sont physiquement disposées dans le canal 109.

L'organe de commande 41 inclut une logique combinatoire 291 et un transmetteur 293 qui renvoie un signal d'utilisation "en entrée" SVI à l'entrée D de la bascule bistable 289.

Le fonctionnement de la logique représentée à la figure 29 est le suivant :

5 Le canal 109 valide le signal d'utilisation "en sortie" en mettant à 1 l'entrée J de la bascule bistable 287 et, lorsque le cycle suivant d'horloge débute, le signal d'utilisation "en sortie" est transmis par un transmetteur 295 à l'organe de commande.

10 Lorsque la logique combinatoire 291 de l'organe de commande est prête, elle permet au transmetteur 293 de renvoyer le signal d'utilisation "en entrée" SVI à la bascule bistable 289. Ceci termine la liaison.

15 On se reportera maintenant à l'organe de commande à double entrée illustré à la figure 19. Chacune des doubles entrées 43 de l'organe 41 de commande est reliée par une connexion physique 179 à la logique commune 181 d'interface, représentée plus en détail à la figure 21, et chacune des entrées 43 est également associée, par l'intermédiaire d'une connexion logique 183, à la logique commune 181 d'interface déterminée par une bascule de possession 185.

20 Comme le montre à la figure 19 la ligne 180 de connexion, la logique commune 181 d'interface est associée à la partie 187 de commande de l'organe 41 de commande. La partie 187 de commande de l'organe de commande comprend une mémoire-tampon 189.

25 Les deux entrées 43 représentées sous la forme de schéma fonctionnel à la figure 19, et avec plus de détails à la figure 23, constituent des parties importantes du système de traitement par multiprocesseurs qui fait l'objet de la présente invention car ces deux entrées fournissent au système d'entrées-sorties la possibilité de fonctionnement en mode "dégradé".

30 Les entrées 43 et les éléments connexes du système sont constitués de telle manière que les deux entrées 43 d'un organe 41 de commande sont logiquement et physiquement indépendantes l'une de l'autre. En conséquence, aucun élément d'une entrée 43 ne constitue également un élément de l'autre entrée 43 d'un organe particulier 41 de commande, et aucune défaillance d'un
35 élément individuel (par exemple la défaillance d'un circuit intégré) d'une entrée ne peut affecter le fonctionnement de l'autre entrée.

40 Chaque entrée 43 a pour fonction, comme l'indique la légende de la figure 19, de relier un module de processeur à un organe

de commande et, en dernier lieu, à un appareil particulier par l'intermédiaire de l'organe 41 de commande. L'entrée 43 est l'entité qui communique avec le module de processeur et avec la partie de commande de l'organe 187 de l'organe de commande (conditionnelle dans l'état de la bascule de possession 185).

Ce qui revient à dire que l'entrée établit elle-même la connexion avec un module de processeur, en fonction des instructions reçues du canal 109 d'entrées-sorties comme on le décrira plus en détail ci-dessous, en mettant à 1 son bit de sélection 173.

Chacune des entrées individuelles 43 d'un organe 41 de commande peut être connectée de manière indépendante à un module 33 de processeur alors qu'en même temps l'autre entrée de cet organe de commande est connectée à un module différent. Cependant, la bascule de possession 185 établit la connexion logique entre la partie de commande de l'organe de commande et l'une des deux entrées 43, de telle sorte que l'une seulement de ces entrées régit l'organe de commande à un moment quelconque.

La logique de décodage détermine la fonction qui est transmise par la ligne T 153 à n'importe quel moment particulier.

La logique de commande combine les fonctions transmises par la ligne T afin d'exécuter des fonctions particulières d'entrée telles que, par exemple, la mise à 1 du bit de sélection, la remise à zéro du bit de sélection, la lecture de l'état d'interruption.

Le fonctionnement de la logique de commande est illustré par les équations logiques mentionnées à la figure 27.

Lorsqu'une séquence de connexions, qui sera décrite ci-après avec référence aux figures 15, 16 et 17, est transmise par la logique 39 d'entrées-sorties, l'une des entrées 43 (et seulement l'unique entrée 43 d'un organe 41 de commande connectée à cette ligne 39 d'entrées-sorties) est connectée au sens logique à la ligne 39 par la mise à 1 de son bit de sélection 173.

Cette connexion logique est déterminée par une partie des données transmises au cours de cette séquence de connexions. Lorsqu'elle est connectée, cette entrée particulière 43 répond ensuite aux signaux de protocole en transmettant l'information entre le canal et la partie de commande de l'organe de commande. Le comparateur 193 d'adresses de l'appareil est la partie de l'entrée 43 qui détermine l'adresse unique de l'entrée.

Le comparateur 193 d'adresses de l'appareil détermine l'adresse unique d'une entrée particulière 43 en comparant la zone d'adresse de l'appareil dans la ligne 161 acheminant les données pendant une fonction IAC (Adresse et instruction d'implantation) transmise par la ligne T, les branchements d'adresse de l'appareil étant associés avec une entrée particulière 43. Lorsque l'adresse transmise par le canal 109 correspond à l'adresse déterminée par les branchements associés à une entrée particulière 43, le terme COMPARAISON D'ADRESSES, voir figure 27, est créé et le bit de sélection 173 de cette entrée est mis à 1 (en supposant que les autres états énumérés à la figure 27 permettent la mise à 1 du bit de sélection). L'entrée 43 réagit ensuite à toutes les opérations transmises par la ligne T jusqu'à ce que la séquence se termine par la remise à zéro du bit de sélection.

Les abréviations utilisées à la figure 27 comprennent les abréviations suivantes :

Add Comp : Comparaison d'adresses (Adresse d'appareil) ;
PAROKFF : Bascule bistable de parité correcte;
SEL : Sélection;
OWN : Possession; et
SELBIT : Bit de sélection

Le registre 177 de contrôle de parité est associé au générateur de parité et à la logique 137 de contrôle de la figure 13 par le fait que, à la sortie, la logique 137 du générateur de parité crée la parité qui doit être contrôlée par le registre 177 de contrôle de parité de l'entrée 43, et cette parité doit correspondre sinon l'opération sera suspendue par le canal 109 d'entrées-sorties du module 33 de processeur. A l'entrée, la logique commune 181 d'interface crée la parité qui doit être contrôlée de la même manière par la logique 137 de contrôle de parité dans le canal.

Comme le montre la figure 24, le contrôle de parité commence avant que les données ne soient introduites dans le registre et il se poursuit après que les données ont été entièrement introduites dans le registre. Ce qui revient à dire que la parité dans la ligne D est contrôlée par le registre de parité de l'entrée chaque fois que le canal valide l'UTILISATION EN SORTIE avec une fonction de sortie transmise par la ligne T, et la parité est contrôlée pendant la durée de l'UTILISATION EN SORTIE pour assurer que les données transmises par la ligne D sont stables

pendant la durée de l'UTILISATION EN SORTIE, tandis que l'entrée introduit les données dans le registre 213 de données.

Ce contrôle de parité est effectué à chaque opération d'une séquence de ligne T et, si une erreur de parité se produit pendant une opération quelconque de la séquence, l'erreur est renvoyée sous forme de bit d'état en réponse à une fonction transmise par la ligne T pendant une séquence. Par exemple, dans une séquence d'EXECUTION DES ENTREES-SORTIES, représentée aux figures 15 et 18, le renvoi du bit P pour l'ETAT DE L'APPAREIL DE LECTURE indique que l'entrée à déterminé une erreur de parité pendant la séquence d'EXECUTION DES ENTREES-SORTIES.

Comme le montre la figure 18, le bit d'erreur de parité est le bit n° 3 dans la ligne D en réponse à une fonction d'ETAT DE L'APPAREIL DE LECTURE dans la ligne T.

Si une erreur de parité survient à un autre moment que pendant une séquence d'EXECUTION DES ENTREES-SORTIES, l'erreur de parité est rapportée pendant la fonction transmise par la ligne T de l'ETAT D'INTERRUPTION DE LECTURE d'une manière analogue à celle qui a été décrite ci-dessus dans le cas de la fonction d'ETAT DE L'APPAREIL DE LECTURE transmise par la ligne T.

L'erreur de parité est remise à zéro au début d'une séquence d'EXECUTION DES ENTREES-SORTIES, d'INTERROGATION DES ENTREES-SORTIES, d'INTERROGATION HAUTEMENT PRIORITAIRE DES ENTREES-SORTIES ou de reconnexion comme le montre la figure 24.

Si une erreur de parité est détectée au cours de l'une quelconque des séquences, elle est enregistrée par le registre de contrôle de parité pour être renvoyée dans la ligne D en réponse à une fonction de l'ETAT DE L'APPAREIL DE LECTURE ou de l'ETAT D'INTERRUPTION DE LECTURE transmise par la ligne T.

En continuant à se reporter à la figure 20, on verra que la fonction de la bascule 175 de validation dans l'entrée 43 doit permettre au système d'entrées-sorties de corriger une certaine classe d'erreurs qui, sinon, rendraient inopérantes les deux lignes 39 d'entrées-sorties reliées à un organe particulier 41 de commande. La bascule 175 de validation accomplit cette fonction en ne permettant pas à l'entrée 43 de lancer des signaux dans la ligne 39 d'entrées-sorties.

La bascule 175 de validation est remise à zéro par une

instruction particulière d'invalidation. Il s'agit d'une fonction d'instruction et d'adresse d'implantation (IAC) dans la ligne T avec un code opération particulier transmis par la ligne D 161.

5 Une fois mise à zéro, la bascule 175 de validation ne peut être remise à 1 par le programme.

L'entrée 43 comprend un multiplexeur d'état 195. Ce dernier renvoie l'erreur de possession mentionnée ci-dessus si l'organe 41 de commande est logiquement connecté à l'autre entrée 43 de cet organe de commande, afin d'indiquer que l'organe de commande est utilisé par l'autre entrée et il ne sera pas tenu compte des instructions envoyées à cette entrée.

10 L'entrée 43 inclut un émetteur-récepteur 197 d'interface pour chaque ligne d'entrées (c'est-à-dire pour l'UTILISATION EN ENTREE, l'ARRET EN ENTREE, la ligne acheminant les données, la parité, le REMPLISSAGE DE POSITION INUTILISEES EN ENTREE, la RECONNEXION EN ENTREE, la DEMANDE D'INTERRUPTION FAIBLEMENT PRIORITAIRE et la DEMANDE D'INTERRUPTION FORTEMENT PRIORITAIRE) de la ligne 39 d'entrées-sorties représentée à la figure 14. Les émetteurs-récepteurs 197 transmettent les données de l'entrée 43 au canal 109 d'entrées-sorties lorsque le bit 173 de sélection d'entrée est mis à la ¹et fonction transmise par la ligne T 153 exige que l'organe 41 de commande renvoie l'information au canal. Les émetteurs-récepteurs 197 transmettent continuellement à l'entrée 43 l'information venant de la ligne 161 acheminant les données.

20 Une caractéristique de la présente invention réside dans le fait que le circuit 182 de mise sous tension associe son action à celle des émetteurs-récepteurs 197 afin de régler le comportement de ces derniers lorsque l'organe 41 de commande est mis sous tension ou hors tension, de manière à empêcher que des signaux erronés ne soient envoyés dans la ligne d'entrées-sorties pendant la mise sous tension ou hors tension. Cette caractéristique est particulièrement significative du point de vue de l'entretien en direct.

35 Comme le montre la figure 20, chaque émetteur-récepteur 197 comprend un récepteur 198 et un émetteur 200.

L'émetteur est validé par une ligne 202 de validation.

Plusieurs mots sont présents dans la ligne de validation 202. Ils comprennent le bit de sélection 173, une fonction

d'entrée requise dans la ligne T et un signal venant du circuit 182 de mise sous tension.

5 Dans un exemple particulier de réalisation de la présente invention, le signal venant du circuit de mise sous tension est relié par un circuit OU à la sortie de la porte qui groupe les autres mots, de sorte que la sortie du circuit de mise sous tension a la priorité sur les autres mots en coupant l'alimentation de la ligne 202 de validation. Cette caractéristique assure un état de haute impédance à l'émetteur 200 (qui, dans un exemple
10 particulier de réalisation, est un émetteur 8T26A ou 7438) jusqu'à ce que le circuit de mise sous tension détecte que l'alimentation est à un niveau suffisant pour que les circuits intégrés fonctionnent correctement. L'étage de sortie du circuit de mise sous tension est conçu pour tirer parti d'une propriété du circuit intégré de l'émetteur particulier utilisé. Dans ce type particulier de circuit intégré, si la ligne 202 de validation du système de commande est maintenue à moins de deux fois la chute de tension dans la diode au-dessus du potentiel de la terre, les transistors de sortie de l'émetteur sont amenés à l'état de blocage, quel que soit le niveau de l'alimentation appliquée au circuit
15 intégré. Ceci assure que le système de commande ne peut commander la ligne.

Cette combinaison particulière des caractéristiques fournit un mode d'exploitation dans lequel la sortie du circuit intégré
25 est régulée lorsque la tension monte ou baisse, alors que normalement la sortie d'un circuit intégré est non définie lorsque l'alimentation tombe en dessous d'un certain niveau.

Ce même circuit est utilisé dans les lignes X et Y du système de lignes entre processeurs afin de régler les émetteurs-récepteurs et les signaux de commande créés par la commande 55 entre processeurs. Comme le montre la figure 30, chaque unité centrale 105 comprend un circuit 182 de mise sous tension qui est analogue au circuit 182 de mise sous tension de l'organe de commande. Les circuits de mise sous tension commandent donc les
35 émetteurs pour tous les organes 41 de commande et toutes les commandes 55 entre processeurs.

Le circuit de mise sous tension est représenté en détail à la figure 25 où le circuit est repéré d'une manière générale par la référence 182.

40 L'objet du circuit de mise sous tension est de détecter deux

niveaux différents de tension de l'alimentation en cinq volts.

Si l'alimentation faiblit, le circuit détecte le moment auquel l'alimentation tombe en dessous d'un certain niveau qui place la logique de l'organe de commande ou de l'unité centrale dans un état ou condition indéterminé. A ce moment, le circuit envoie des signaux pour protéger le système contre la logique qui passe ensuite à un état non défini.

Le deuxième niveau de tension qui sera détecté par le circuit de mise sous tension est une valeur qui est perçue lorsque la tension monte. Ce deuxième niveau auquel la tension est détectée sera supérieur au premier niveau d'environ 100 millivolts, de manière à fournir une hystérésis au système afin d'éliminer tout état oscillatoire.

Le circuit de mise sous tension reste à l'état stable, après avoir détecté l'un des états de tension, jusqu'à ce qu'il détecte l'autre état de tension; à ce moment-là, il change d'état. L'état dans lequel se trouve le circuit de mise sous tension à un moment particulier détermine le niveau de tension auquel se produira le passage à l'autre état.

Le circuit 182 de mise sous tension présente ainsi un signal qui constitue une indication selon laquelle la tension d'alimentation se trouve bien dans les limites acceptables et prédéterminées de fonctionnement de l'organe 41 de commande. Si la tension d'alimentation n'est pas dans ces limites acceptables et prédéterminées de fonctionnement, le signal de sortie du circuit 182 de mise sous tension est utilisé pour invalider directement les signaux appropriés de ligne de l'organe 41 de commande.

Le signal de sortie du circuit 182 de mise sous tension est un signal de sortie binaire. Si la sortie est à l'état "un", la tension d'alimentation se trouve dans des limites satisfaisantes. Si la sortie du circuit de mise sous tension est à l'état "zéro", c'est une indication d'une tension d'alimentation en dessous de la limite acceptable.

Le circuit 182 de mise sous tension représenté à la figure 25 et décrit en détail ci-dessous, est utilisé avec l'organe 41 de commande; il comporte sept étages de commande de sortie qui sont utilisés pour l'application du circuit 182 de mise sous tension à l'organe 41 de commande. Cependant, le même circuit 182 de mise sous tension est également utilisé avec l'unité

centrale 105 et le contrôleur de lignes 37 mais, dans ces applications, le circuit de mise sous tension comportera un nombre moindre d'étages de commande de sortie.

5 Comme le montre la figure 25, le circuit 182 de mise sous tension comprend une source de courant 184 et un amplificateur différentiel 186.

10 L'amplificateur différentiel 186 comporte dans une ligne 188 une première entrée qui est une entrée de tension de référence à compensation thermique, et dans une ligne 190 une seconde entrée qui est une indication de la tension qui doit être détectée par le circuit de mise sous tension.

La tension de référence dans la ligne 188 est obtenue par une diode Zener 192.

15 L'amplificateur différentiel 186 comprend deux transistors correspondants 194 et 196.

La tension appliquée à la ligne 190 est déterminée par les résistances 198, 200 et 202. Ces dernières sont des résistances pelliculaires métalliques qui fournissent une grande stabilité thermique au circuit de mise sous tension.

20 Les signaux de sortie dans les lignes 204 et 206 de l'amplificateur différentiel 186 sont appliqués à un système de trois transistors 208, 210 et 212. Ce système de trois transistors commande à son tour le transistor 214 de commande de sortie principale.

25 Le transistor 214 de commande de sortie principale réagit tous les étages de commande de sortie auxquels il est relié. Par exemple, dans l'application du circuit 182 de mise sous tension, concernant l'organe 41 de commande, comme le montre la figure 25, le transistor 214 de sortie principale commande les étages de
30 sortie 216 à 228. L'étage de sortie 216 est utilisé pour remettre la logique à "zéro"; les étages de sortie 218, 220 et 222 sont utilisés en association avec les appareils d'interface de la première entrée 43 de l'organe 41 de commande, tandis que les étages de sortie 224, 226 et 228 sont utilisés en association avec
35 l'appareil d'interface de l'autre entrée 43 de l'organe 41 de commande.

Enfin, le circuit 182 de mise sous tension comprend une commande d'hystérésis 230. Cette dernière inclut des résistances 232 et 234 et un transistor 236.

40 En fonctionnement, et en supposant qu'on réalise le fonc-

tionnement en passant d'un état hors tension à un état sous tension, l'alimentation est appliquée par l'intermédiaire de la source de courant 182 à l'amplificateur opérationnel 186 et au transistor 214 de commande de sortie principale. A ce moment-là, la tension dans la ligne 190 est inférieure à la tension dans la ligne 188, de sorte que l'amplificateur différentiel 186 maintient la sortie du transistor 214 de commande de sortie principale à l'état hors tension. Ce dernier, à son tour, imposera l'état sous tension aux étages de sortie 216 à 228.

10 Ceci place la sortie du circuit 182 de mise sous tension à l'état "zéro", état indiquant que la tension ne se trouve pas dans des limites acceptables.

Lors de l'élévation de la tension, la tension d'entrée dans la ligne 190 augmente jusqu'à ce qu'elle soit égale à la tension de référence dans la ligne 188. A ce moment-là, l'amplificateur opérationnel 186 commande le transistor 214 de commande de sortie principale, le mettant sous tension. Ce qui supprime la commande de base des étages de sortie 216 à 228 et impose l'état hors tension à ces étages de sortie. La sortie du circuit 182 de mise sous tension est alors à l'état "un", état indiquant que la tension se trouve dans des limites acceptables.

A ce moment-là, le circuit 230 de commande d'hystérésis entre en jeu. Pendant la mise sous tension, le transistor 236 du circuit 230 de commande d'hystérésis était sous tension. Lorsque le transistor 236 est sous tension, la résistance 202 présente une valeur de résistance inférieure à la valeur de la même résistance 202 lorsque le transistor 236 est hors tension.

Le point auquel le transistor 214 de commande de sortie principale est mis sous tension coïncide avec le point auquel le transistor 236 de commande du circuit d'hystérésis est mis hors tension. La mise hors tension de ce dernier transistor 236 provoque dans la ligne 190 une légère et brusque variation de la tension qui verrouille ensuite l'amplificateur différentiel 186 dans un état tel que cet amplificateur différentiel 186 maintient le transistor 214 de sortie principale dans l'état sous tension.

L'état du circuit de mise sous tension restera stable dans cet état, le transistor 214 de commande de sortie principale étant mis sous tension et les étages de commande de sortie 216 à 228 étant mis hors tension, jusqu'à ce que la tension de +5V chute en dessous d'un niveau de seuil inférieur déterminé par

la tension appliquée à la ligne 190.

Lorsque la tension dans la ligne 190 tombe en dessous de la tension de référence de la ligne 188, du fait que l'alimentation en 5V accuse une défaillance, l'amplificateur différentiel 16 met alors hors tension le transistor 214 de commande de sortie principale. Ce dernier, à son tour, met sous tension les étages de commande de sortie 216 à 218.

Puisque le transistor 236 de commande du circuit d'hystérésis était mis hors tension lorsque l'alimentation a chuté, la tension appliquée à l'entrée du circuit 182 de mise sous tension doit chuter quelque peu en dessous du point pour lequel le circuit 182 de mise sous tension a détecté que la tension se trouvait dans des limites acceptables pendant la phase de mise sous tension de l'opération.

Cette différentielle ou hystérésis est utilisée pour empêcher qu'un bruit quelconque dans l'alimentation de 5 V ne produise dans le circuit une oscillation qui indiquerait de manière erronée une panne de l'alimentation.

Le circuit 182 de mise sous tension représenté à la figure 25 fournit une détection très exacte des deux tensions utilisées par le circuit de mise sous tension afin de déterminer son état, que la sortie du circuit de mise sous tension soit à l'état "un" ou à l'état "zéro".

Afin de détecter très exactement ces deux tensions, le circuit de mise sous tension doit pouvoir compenser les tolérances initiales des différents éléments ainsi que les variations thermiques au cours du fonctionnement. Dans le circuit 182 de mise sous tension, la diode Zener 192 est la seule partie critique qui doit être compensée du fait de ses tolérances initiales, et cette compensation est obtenue par la sélection de la résistance 198.

La compensation thermique est réalisée du fait que la diode Zener 192 est une diode Zener active et non une diode Zener passive. La compensation thermique effective est également effectuée parce que les deux transistors de l'amplificateur différentiel 186 forment une paire correspondante de transistors et parce que les résistances 198, 200 et 202 sont des résistances pelliculaires métalliques.

Chaque entrée 43 comprend plusieurs lignes qui sont repérées d'une manière générale par la référence 179 aux figures 19

et 20. Ce groupe de lignes 179 comprend les lignes individuelles 201 dont seize constituent la ligne d'entrée ou ligne I, les lignes d'adresse 203 des appareils, les lignes 205 de sortie au nombre de seize, une ligne 207 de prise de possession et des lignes générales 209 qui transmettent des signaux tels que la ligne de parité, la ligne 6 et d'autres lignes analogues qui sont nécessaires du fait de la mise en oeuvre particulière du matériel.

Ces lignes particulières 201, 203, 205, 207 et 209 correspondent aux lignes qui portent les mêmes références à la figure 21 qui est le schéma de fonctionnement de la logique commune d'interface. Cependant, il y a deux ensembles de chacune de ces lignes à la figure 21 car la logique commune d'interface 181 est associée à chacune des doubles entrées 43 d'un organe 41 de commande.

Comme le montre la figure 21, la logique commune d'interface 181 inclut la bascule 185 de prise de possession, représentée également à la figure 19. Cette bascule de prise de possession détermine la connexion logique entre la logique commune d'interface 181 et une entrée 43 d'où a été reçu par la ligne 207 le signal de PRISE DE POSSESSION.

Comme on l'a mentionné ci-dessus, le signal de PRISE DE POSSESSION est extrait, par le matériel de l'entrée, d'une instruction dans la ligne T, adresse et instruction d'implantation LAC mentionnée à la figure 18, avec un code opération particulier de la zone d'instruction dans la ligne D. Lorsque l'entrée reçoit la fonction d'adresse et d'instruction d'implantation LAC dans la ligne T à partir du canal, la logique de l'entrée examine la zone d'instruction, c'est-à-dire les six bits de la partie supérieure, dans la ligne D. Ensuite, si la zone d'instruction contient un code spécifiant une instruction de prise de possession, le matériel d'entrée produit un signal afin que la bascule de prise de possession connecte l'entrée à la logique commune d'interface et, de là, à la partie de commande de l'organe de commande. Si la zone d'instruction indique une instruction de suppression, le matériel de l'entrée produit un signal qui remet à zéro la bascule de validation de l'entrée. Cette opération n'a lieu que si la zone d'adresse de l'appareil dans la ligne D correspond aux connexions volantes d'adresse de l'appareil d'entrée et si aucune

erreur de parité n'est détectée pendant l'instruction. Ce qui revient à dire qu'aucune instruction (y compris la prise de possession, la suppression, etc.) n'est exécutée si une erreur de parité est détectée dans l'adressé et instruction d'implantation LAC.

En conséquence, le canal 109 d'entrées-sorties émettant l'instruction de prise de possession régit l'organe 41 de commande et l'autre entrée 43 est logiquement déconnectée. L'instruction de prise de possession peut également provoquer une remise à zéro de l'état interne de l'organe de commande.

L'état de la bascule 185 de prise de possession détermine l'entrée qui peut transmettre l'information par l'intermédiaire du multiplexeur 211. Une fois que la bascule 185 de prise de possession est placée dans un état donné, elle restera dans cet état jusqu'à ce qu'une instruction de prise de possession soit reçue par l'autre entrée. La validation de la ligne de remise à zéro des entrées-sorties aura également pour conséquence d'attribuer la possession à l'autre entrée après que l'état interne de l'organe de commande aura été remis à zéro.

Les signaux de commande sont choisis par l'état du registre 185 de prise de possession et à partir d'une entrée appropriée 43; ils sont transmis par le multiplexeur 211 à la partie de commande 187 d'un organe de commande par un groupe de lignes de commande 215. Les données sont sélectionnées à partir d'une entrée appropriée 43 dans les lignes 205 et elles sont introduites dans le registre 213 de données et présentées à l'organe de commande par une ligne de sortie 217 (ligne 0).

Certaines parmi les lignes de commande 215, c'est-à-dire les lignes 215A, sont utilisées pour commander le multiplexeur 220 afin de sélectionner l'information transmise de l'organe de commande par les lignes 219 et qui doit être renvoyée par la ligne 201 d'entrées ou ligne I vers les entrées 43, comme le montre la figure 20, et ensuite vers le canal 109 d'un module 33 de processeur. Une ligne 221 renvoie l'adresse de l'appareil depuis l'entrée appropriée 43 à la ligne I 201 et, de là, au canal 109 d'entrées-sorties.

La mémoire-tampon 189 contenant les données, représentée à la figure 19, est illustrée plus en détail à la figure 22.

Suivant la présente invention, de nombreux organes 41 de

commande comprennent une mémoire-tampon comportant plusieurs mots, prévue pour recevoir l'information à un débit relativement faible depuis un appareil périphérique et pour transmettre ensuite cette information au module de processeur à ou au voisinage de la vitesse de la mémoire afin d'utiliser au maximum la largeur de bande du canal.

Dans la conception même de la mémoire-tampon, il importe que les organes 41 de commande puissent coopérer l'un avec l'autre dans l'accession au canal 109 afin d'éviter des conditions d'erreur. Pour que les organes 41 de commande coopèrent correctement, les mémoires-tampons 189 comportant plusieurs mots sont constituées suivant certaines règles.

Ces règles sont les suivantes :

Tout d'abord, lorsqu'un organe de commande fait une demande de reconnexion pour le canal 109, il doit rester une profondeur de mémoire-tampon suffisante pour que tous les organes 41 de commande hautement prioritaires et un organe 41 de commande faiblement prioritaire puissent être desservis et pour que le temps d'attente de reconnexion de la demande de reconnexion puisse s'écouler sans vider la profondeur restante de la mémoire-tampon. Ceci s'appelle la profondeur de seuil de la mémoire-tampon, en abrégé T à la figure 23.

Ensuite, après que la mémoire-tampon a été desservie, elle doit attendre un temps suffisamment long pour permettre à tous les organes 41 de commande faiblement prioritaires d'être desservis, avant de faire une autre demande de reconnexion. Ceci s'appelle la profondeur d'attente. La profondeur de la mémoire désignée par la lettre D à la figure 23, est la somme de la profondeur d'attente et de la profondeur de seuil.

La profondeur d'attente et la profondeur de seuil sont fonction de plusieurs variables, à savoir le débit de l'appareil, le débit du canal, la vitesse de la mémoire, le temps de reconnexion, le nombre d'organes de commande fortement prioritaires dans la ligne d'entrées-sorties, le nombre d'organes de commande faiblement prioritaires dans la ligne d'entrées-sorties et la longueur maximale admissible de tranche.

Un organe de commande fortement prioritaire dans la ligne d'entrées-sorties est associé à un plus grand nombre d'organes de commande faiblement prioritaires dans la même ligne d'entrées-sorties qu'un autre organe de commande faiblement prioritaire

dans la même ligne d'entrées-sorties; par conséquent, l'organe de commande fortement prioritaire exige une profondeur d'attente plus grande que ne l'exige l'organe de commande faiblement prioritaire. De même, un organe de commande faiblement prioritaire dans une ligne d'entrées-sorties exige une profondeur de seuil plus grande que ne l'exige un organe de commande fortement prioritaire. La mémoire-tampon 189 d'un organe de commande est constituée de manière à bénéficier du fait que, lorsque les exigences de profondeur d'attente augmentent, les exigences de profondeur de seuil diminuent et, lorsque les exigences de profondeur de seuil augmentent, les exigences de profondeur d'attente diminuent. On réalise ce fait en rendant variable la contrainte à laquelle est faite une demande de reconnexion, la mise à "un" effective dépendant des caractéristiques des organes de commande fortement et faiblement prioritaires dans une disposition particulière de canal d'entrées-sorties. La profondeur de la mémoire-tampon représente donc le maximum de l'exigence de profondeur de seuil dans le cas le plus défavorable ou le maximum de l'exigence de profondeur d'attente dans le cas le plus défavorable, plutôt que la somme de la profondeur de seuil dans le cas le plus défavorable et de la profondeur d'attente dans le cas le plus défavorable. Ceci permet de réduire au minimum la profondeur de la mémoire-tampon et diminue le temps nécessaire au remplissage et au vidage de la mémoire-tampon.

La figure 23 illustre graphiquement plusieurs de ces paramètres. A la figure 23, le temps a été porté en abscisse et les mots de la mémoire-tampon en ordonnée dans le cas d'une opération de sortie.

Partant du point D situé à la partie supérieure gauche de la figure 23 (et en supposant que la mémoire-tampon est remplie sur toute sa profondeur), les données sont transmises à un appareil à un débit indiqué par la droite de pente $-R_D$ et cette transmission de données se poursuit sans qu'un signal de reconnexion soit produit jusqu'à ce que la profondeur de la mémoire-tampon s'abaisse et atteigne la profondeur de seuil indiquée par l'intersection, au point 223, de la droite de pente $-R_D$ et de la droite T de profondeur de seuil.

A ce point, la demande de reconnexion est adressée au canal 109 comme l'indique la légende portée sur l'axe horizontal à la figure 23.

La transmission des données se poursuit depuis la mémoire-tampon au débit indiqué par la droite de pente $-R_D$ et la demande est maintenue en attente par les organes 41 de commande fortement prioritaires, jusqu'au point 225; à ce point, la demande
5 est acceptée par le canal 109 et le canal d'entrées-sorties commence sa séquence de reconnexion pour cet organe de commande.

Au point 227, le premier mot contenant des données a été transmis par le canal 109 à la mémoire-tampon 189 de l'organe de commande et le canal 109 transmet ensuite dans la mémoire-tampon des mots contenant des données, à un débit indiqué par la
10 droite de pente R_C .

En même temps, l'organe 41 de commande continue à transmettre des mots contenant des données hors de la mémoire-tampon et au débit $-R_D$, de sorte que le débit total d'entrée dans la mémoire-tampon 189 est indiqué par la droite de pente
15 $R_C - R_D$, jusqu'à ce que la mémoire-tampon soit à nouveau remplie au point 229. A ce point 229, la mémoire est complète et l'organe de commande est déconnecté du canal 109 de transmission des données se poursuivant au débit indiqué par la droite de pente $-R_C$.
20

La notation t_r à la figure 23 indique le temps nécessaire au balayage et à la sélection de cet organe de commande et à la transmission du premier mot. Ce point sera discuté à nouveau ci-dessous en rapport avec la figure 16.

La lettre B à la figure 23 indique le temps de transmission d'une tranche. Ce temps est un paramètre dynamique. La longueur d'une tranche particulière dépend du débit de transmission de l'appareil, du débit de transmission du canal, du nombre d'appareils et de transmissions en cours et du temps de reconnexion
25 du canal. Le temps maximal admissible pour la transmission d'une tranche est choisi de manière à réduire au minimum la profondeur requise de la mémoire-tampon, tout en recevant des débits élevés de transmission d'appareil, ainsi que le nombre d'appareils qui peuvent transmettre en simultanéité.
30

La figure 22 est un schéma de fonctionnement d'un exemple particulier de réalisation d'une mémoire-tampon 189 constituée suivant la présente invention afin de satisfaire les exigences de profondeur d'attente et de profondeur de seuil illustrées à la figure 23.
35

La mémoire-tampon 189 représentée à la figure 22 comprend
40

un tampon d'entrée 231, une mémoire-tampon 233, un tampon de sortie 235, un indicateur d'entrée 237, un indicateur de sortie 239, un multiplexeur 241, une logique 243 de commande du tampon décrite plus en détail à la figure 26, un multiplexeur 245 connecté à la logique 243 de commande du tampon et un compteur 247 de contraintes.

Comme le montre également la figure 22, deux groupes de lignes d'entrée des données, les lignes 217 et 249, alimentent le tampon d'entrée 231.

Un groupe de lignes d'entrée des données comprend seize lignes 249 d'entrée des données dans l'appareil.

L'autre groupe de lignes d'entrée comprend seize lignes 217 constituant la connexion commune de sortie (lignes constituant la connexion 0).

L'un ou l'autre de ces deux groupes de signaux d'entrée est ensuite envoyé du tampon d'entrée 231 à la mémoire-tampon 233 par un groupe de lignes 251. Ces dernières sont au nombre de seize.

Les données sont extraites de la mémoire-tampon 233 et elles sont introduites dans le tampon de sortie 235 par un groupe de lignes 253. Ces dernières sont au nombre de seize.

Le tampon de sortie 235 retransmet les données à la logique commune d'interface 181, représentée aux figures 19 et 21, par un groupe de seize lignes 219 et aux appareils 45 et 47, tels que les appareils 49, 51 et 53 représentés à la figure 1, par un groupe de seize lignes 255, comme l'indiquent les légendes de la figure 22.

Les indicateurs d'entrée 237 et de sortie 239 fonctionnent avec le multiplexeur 241 de la manière suivante :

Lorsque les données sont transmises du tampon d'entrée 231 à la mémoire-tampon 233, l'indicateur d'entrée 237 est connecté à la mémoire-tampon 233 par l'intermédiaire du multiplexeur 241 afin de déterminer l'emplacement dans lequel le mot est enregistré.

Lorsque les données sont transmises de la mémoire-tampon 233 au tampon de sortie 235, l'indicateur de sortie 239 est connecté à la mémoire-tampon 233 par l'intermédiaire du multiplexeur 241 afin de déterminer l'emplacement à partir duquel le mot est extrait.

L'objet de la logique 243 de commande de la mémoire-tampon,

représentée aux figures 22 et 26, est de garder la trace de la contrainte appliquée à la mémoire-tampon 189. A ce sujet, le degré de remplissage ou de vidage de la mémoire-tampon, combiné au sens de la transmission par rapport au module de processeur (entrée ou sortie) détermine le degré de contrainte. La contrainte augmente lorsque l'appareil accède à la mémoire-tampon et elle diminue lorsque c'est le canal qui accède à la mémoire-tampon.

Dans l'exemple de réalisation représenté aux figures 22 et 26, le compteur de contrainte mesure l'accroissement de contrainte de 0 à 15 en entrée et la diminution de contrainte de 0 à 15 en sortie. Un autre exemple de réalisation (non représenté sur les dessins) ajouterait le sens de la transmission à la logique de commande de la mémoire-tampon, de telle sorte que deux autres lignes accèderaient aux indicateurs 237 et 239 et le compteur de contrainte mesurerait toujours un accroissement de contrainte.

Comme le montre encore la figure 22, une ligne 215 de demande de canal, représentée également à la figure 21, et une ligne 257 de demande d'appareil, venant de la partie 187 de commande de l'organe de commande, sont validées afin d'indiquer l'accès à la mémoire-tampon 189.

Le multiplexeur 245 sélectionne l'une de ces lignes comme demande d'augmentation du remplissage de la mémoire-tampon et il sélectionne l'autre ligne comme demande de diminution du remplissage de la mémoire-tampon, en se fondant sur le sens de la transmission (entrée ou sortie) par rapport au module de processeur.

La ligne sélectionnée pour augmenter le remplissage de la mémoire-tampon est également utilisée pour charger les données depuis les lignes appropriées 249 ou 217 acheminant les données, représentées à la figure 22, dans le tampon d'entrée 231 par l'intermédiaire de la ligne 259.

Le canal et l'appareil peuvent accéder, en même temps à la mémoire-tampon 189 et la logique 243 de commande de la mémoire-tampon satisfait une demande à la fois. La logique 243 de commande de la mémoire-tampon choisit l'une des lignes pour le service et maintient l'autre ligne en différé jusqu'à ce que la logique 243 de commande de la mémoire-tampon ait satisfait la première demande, ensuite elle satisfait l'autre demande.

La satisfaction d'une demande par la logique 243 de commande de la mémoire-tampon se fait de la manière suivante :

Tout d'abord, la logique de commande de la mémoire-tampon

détermine le sens de la transmission (entrée ou sortie) par rapport à la mémoire-tampon 233 et elle valide la ligne 261, connectée au multiplexeur 241, comme étant appropriée pour sélectionner l'indicateur d'entrée 237 ou l'indicateur de sortie 239 par l'intermédiaire du multiplexeur 241.

Ensuite, lors d'une demande de sortie, la logique 243 de commande de la mémoire-tampon valide la ligne 263 qui accomplit trois actions :

A) Elle transmet le mot du tampon d'entrée 231 dans la mémoire-tampon 233 à l'emplacement déterminé par l'indicateur d'entrée 237 et par le multiplexeur 241.

B) Elle fait progresser le compteur de contrainte 247.

C) La logique 243 de commande de la mémoire-tampon fait progresser l'indicateur d'entrée 237.

Enfin, lors d'une transmission de sortie, la logique 243 de commande de la mémoire-tampon valide la ligne 265 qui effectue les trois opérations suivantes :

A) La logique 243 de commande de la mémoire-tampon enregistre dans le tampon de sortie 235 le mot extrait de la mémoire-tampon 233, tel qu'il est déterminé par l'indicateur de sortie 239 et le multiplexeur 241.

B) La logique 243 de commande de la mémoire-tampon fait régresser le compteur de contrainte 247.

C) La logique 243 de commande de la mémoire-tampon fait progresser l'indicateur de sortie 239.

Le compteur de contrainte 247 détermine le moment où la mémoire-tampon 189 est pleine ou a atteint la profondeur de seuil, comme l'indiquent respectivement les lettres D et T portées sur les lignes de sortie à la figure 22.

La sortie du compteur de contrainte est décodée et n'importe laquelle des valeurs décodées peut être utilisée pour indiquer que la mémoire-tampon a atteint sa profondeur de seuil. Dans l'exemple préféré de réalisation, des connexions volantes sont utilisées pour sélectionner l'une des seize valeurs possibles de contrainte et une demande de reconnexion est adressée au canal 109 lorsque la contrainte dans la mémoire-tampon 189 atteint cette valeur.

La partie 187 de commande de l'organe de commande utilise les trois signaux qui correspondent aux légendes de la figure 23, pour envoyer des demandes de reconnexion et des demandes de

déconnexion dans les lignes respectives 145 et 159, représentées aux figures 12 et 14.

Le signal STI d'ARRET EN ENTREE transmis par la ligne 159 représentée aux figures 12 et 14, est en rapport avec la profondeur D de la mémoire-tampon, les états de remplissage ou de vide de la mémoire-tampon et le sens de transmission; le signal RCI de RECONNEXION EN ENTREE transmis par la ligne 145 représentée aux figures 12 et 14, est en rapport avec l'indication de profondeur de seuil T fournie par le compteur de contrainte 247 représenté à la figure 22. Ainsi le signal d'ARRET EN ENTREE est validé lorsque la mémoire-tampon 189 atteint un état de contrainte minimale (rempli à la sortie et vide à l'entrée). Le signal d'ARRET EN ENTREE indique au canal 109 que l'organe 41 de commande désire mettre fin à la transmission de tranches de données. Lorsque la mémoire-tampon dépasse son seuil, elle valide le signal RCI de RECONNEXION EN ENTREE transmis par la ligne 145 pour indiquer au canal 109 que la mémoire-tampon désire transmettre une tranche de données.

La figure 26 représente en détail le multiplexeur 245, la logique 243 de commande de la mémoire-tampon et le compteur de contrainte 247 de la mémoire-tampon 189 représentée à la figure 22.

A la figure 26, le multiplexeur 245 représenté comprend deux groupes de portes 245A et 245B, des bascules bistables de demande 267A et 267B, une bascule bistable d'horloge 269, des bascules bistables de synchronisation des demandes 271A et 271B, une porte 273 de résolution de la priorité et des portes 275A et 275B d'exécution des demandes.

Le compteur de contrainte 247 comprend une partie 247A de compteur et une partie 247B de décodeur, comme l'indiquent les légendes de la figure 26.

Comme le montre la figure 26, les deux groupes de portes 245A et 245B ont utilisé le signal de demande du canal, transmis par la ligne 215, et le signal de demande de l'appareil, transmis par la ligne 257, ainsi que les signaux de lecture et d'enregistrement pour déterminer lequel du canal ou de l'appareil introduit des données dans la mémoire-tampon 189 et lequel en extrait des données.

Les bascules bistables de demande 267A et 267B stockent les demandes jusqu'à ce que la logique de commande ait satisfait la

demande.

La bascule bistable d'horloge 269 produit un signal d'horloge en deux phases utilisé par les bascules bistables de synchronisation des demandes 271 A et 271B et par les portes 275A et 275B d'exécution des demandes.

Les bascules bistables de synchronisation des demandes 271A et 271B synchronisent la demande à la bascule bistable 269 de production d'un signal d'horloge et stabilisent la demande d'exécution.

La porte 273 de résolution de la priorité choisit une des demandes pour son exécution et maintient l'autre demande en différé.

Les portes 275A et 275B d'exécution des demandes exécutent les demandes en fonction de la demande synchronisée.

Chaque signal de sortie des lignes 263 et 265 accomplit les fonctions décrites ci-dessus, à savoir : progression et régression du compteur de contrainte, mise à jour de la mémoire-tampon ou du tampon de sortie, et mise à jour de l'indicateur d'entrée ou de l'indicateur de sortie.

En outre, chaque signal remet à zéro la bascule bistable appropriée de demande, par l'intermédiaire des lignes 277A et 277B représentées à la figure 26.

Comme on l'a noté ci-dessus, les figures 15, 16 et 17 représentent les trois séquences de fonctionnement du système d'entrées-sorties.

Dans le fonctionnement du système d'entrées-sorties, la transmission normale des données entre un module 33 de processeur et un appareil particulier, tel qu'un disque 45, comprend une séquence d'EXECUTION DES ENTREES-SORTIES pour déclencher la transmission.

L'instruction d'EXECUTION DES ENTREES-SORTIES sélectionne l'organe particulier de commande et l'appareil et indique l'opération à effectuer.

L'organe 41 de commande déclenche les entrées-sorties entre lui-même et l'appareil particulier.

L'organe 41 de commande est reconnecté périodiquement au canal 109 et il transmet les données entre l'organe 41 de commande et le canal 109. La reconnexion périodique peut être faite dans le but de transmettre les données du canal à l'appareil ou dans le but de transmettre les données de l'appareil

au canal.

Lorsque la transmission de données est terminée, l'organe 41 de commande interrompt l'unité centrale 105 qui répond en émettant une séquence d'INTERROGATION DES ENTREES-SORTIES ou une
5 séquence d'INTERROGATION HAUTEMENT PRIORITAIRE DES ENTREES-SORTIES.

La séquence d'INTERROGATION DES ENTREES-SORTIES détermine l'identité de l'appareil d'interruption et les conditions dans lesquelles la transmission s'est terminée.

10 La séquence d'INTERROGATION HAUTEMENT PRIORITAIRE DES ENTREES-SORTIES est analogue à la séquence d'INTERROGATION DES ENTREES-SORTIES mais elle est émise en réponse à une interruption hautement prioritaire des entrées-sorties.

L'instruction de l'unité centrale d'EXECUTION DES ENTREES-SORTIES est définie par les changements d'état de la ligne T,
15 représentés à la figure 15.

Le premier état représenté à la figure 16, c'est-à-dire l'état situé à l'extrême gauche, est l'état mort ou état d'inactivité NOP. Les autres états sont les mêmes que ceux qui sont énu-
20 mérés à la figure 18 par les mnémoniques correspondants, à savoir : IAC (adresse et instruction d'implantation), LPRM (paramètre d'implantation), RDST (état de l'appareil de lecture), DSEL (désélection) et ABTI (instruction de suspension d'exécution).

25 Comme pour les changements d'état représentés aux figures 6, 7 et 8, les flèches en traits pleins indiquent un changement d'état, tandis qu'une flèche en traits interrompus indique une condition qui doit être remplie avant qu'un changement d'état puisse se produire.

30 L'instruction d'EXECUTION DES ENTREES-SORTIES et l'exécution de cette instruction, représentées à la figure 15, sont sous le contrôle direct du microprocesseur 113, représenté à la figure 12, de l'unité centrale 105.

Ce déclenchement par l'unité centrale est représenté à la
35 figure 15 comme étant transmis par la ligne 117 à la machine créant les états; le signal de déclenchement n'est accepté que lorsque la ligne T est à l'état d'inactivité.

Une fois que le signal de déclenchement par l'unité centrale est appliqué, la ligne T passe de l'état d'inactivité NOP (état
40 mort) à l'état d'adresse et instruction d'implantation IAC.

Dans l'état ou fonction d'adresse et instruction d'implantation IAC, un mot est extrait du haut de la pile du registre 112 de l'unité centrale 105, représentée à la figure 12, et il est transmis dans la ligne D 161, représentée à la figure 14.

5 Comme on l'a décrit ci-dessus, ce mot est utilisé pour sélectionner un organe 41 particulier de commande et un appareil périphérique particulier 45, 47, 49, 51 ou 53, représentés à la figure 1, et ce mot est également utilisé pour indiquer l'opération à effectuer.

10 Dans le cycle suivant de la ligne T, cette dernière passe à l'état LPRM "PARAMETRE D'IMPLANTATION".

15 Dans l'état de PARAMETRE D'IMPLANTATION, le mot juste en dessous du haut de la pile du registre de l'unité centrale 105, représentée à la figure 12, est introduit dans la ligne T 161, représentée à la figure 14, par le canal 109 d'entrées-sorties et il est transmis à l'organe 41 de commande sélectionné pendant l'état précédent d'ADRESSE ET INSTRUCTION D'IMPLANTATION.

20 A la fin du cycle d'établissement de liaison, comme le montre la flèche en traits interrompus à la figure 15, la ligne T passe à l'état RDST de l'appareil de lecture. Dans cet état, l'organe 41 de commande renvoie l'état de l'appareil (l'état d'un appareil particulier sélectionné et comprenant le groupe de signaux décrivant l'état de cet appareil) depuis l'organe 41 de commande et le place en haut de la pile du registre 112 de l'unité centrale 105.

25 Dans l'état de PARAMETRE D'IMPLANTATION et de l'APPAREIL DE LECTURE, plusieurs erreurs peuvent s'être produites. Parmi ces erreurs on peut citer une erreur de parité, un délai d'attente d'établissement d'une liaison et une indication d'erreur dans le mot d'état. Si une erreur s'est produite, la machine 143 dans
30 la ligne T, représentée à la figure 13, passe de l'état de l'APPAREIL DE LECTURE à l'état d'INSTRUCTION DE SUSPENSION d'EXECUTION.

35 L'état d'INSTRUCTION DE SUSPENSION D'EXECUTION donne comme instruction à l'organe 41 de commande de ne pas tenir compte de l'information d'ADRESSE ET d'INSTRUCTION D'IMPLANTATION et de PARAMETRE D'IMPLANTATION qui lui a été transmise par le canal 109 d'entrées-sorties et ensuite la ligne T (canal) revient à l'état d'INACTIVITE (état mort).

40 Si, après l'état de l'APPAREIL DE LECTURE, aucune erreur n'a

été détectée comme le montre la flèche 114 en traits interrompus dans le branchement supérieur de la figure 15, la ligne T passe à l'état de DESELECTION.

5 La ligne T se trouvant à l'état de DESELECTION, l'organe 41 de commande remet à zéro sa bascule 173 de sélection et répond à l'instruction qui lui a été envoyée (pendant l'état d'ADRESSE et D'INSTRUCTION D'IMPLANTATION) et la ligne T revient à l'état d'INACTIVITE (état mort).

10 Dans le fonctionnement du système d'entrées-sorties, plusieurs signaux de demande d'appareil peuvent être produits de façon asynchrone. Par exemple, un signal de reconnexion peut être créé après une séquence d'EXECUTION DES ENTREES-SORTIES afin de demander que le canal transmette les données à l'organe de commande. Ou bien l'organe 41 de commande peut valider une
15 ligne de demande d'interruption à un certain nombre de conditions différentes, par exemple pour signaler l'achèvement d'une séquence d'EXECUTION DES ENTREES-SORTIES ou pour rendre compte d'un état inhabituel dans un appareil périphérique.

20 Les lignes de demande d'appareil sont communes à toutes les entrées 43 de l'organe de commande connectées à une ligne particulière 39 d'entrées-sorties.

Le canal 109 répond aux demandes de reconnexion faites par la ligne 145 de RECONNEXION "EN ENTREE", représentée à la figure 14, et l'unité centrale 105 répond aux demandes faites
25 par la ligne 147 de DEMANDE D'INTERRUPTION FAIBLEMENT PRIORITAIRE, représentée également à la figure 14, avec une séquence d'INTERROGATION DES ENTREES-SORTIES, et à une demande faite par la ligne 149 de DEMANDE D'INTERROGATION FORTEMENT PRIORITAIRE avec une séquence d'INTERROGATION FORTEMENT PRIORITAIRE DES
30 ENTREES-SORTIES.

La première action entreprise par le canal 109 ou l'unité centrale 105 en réponse à un signal de demande d'appareil consiste à déterminer l'identité de l'organe 41 de commande le plus fortement prioritaire validant une demande. Ce qui revient
35 à dire qu'il peut y avoir plusieurs organes 41 de commande validant en même temps une demande faite au canal 109 et le canal sélectionnera un organe particulier de commande suivant un système de priorité prédéterminé.

Dans un exemple particulier de réalisation de la présente
40 invention, jusqu'à trente-deux organes 41 de commande peuvent

être connectés à un seul canal 109.

Ces trente-deux organes de commande sont montés en étoile à l'aide de la ligne 161 acheminant des données de seize bits. Une ligne supplémentaire 151 est utilisée pour diviser ces
5 trente-deux organes de commande en deux groupes de seize organes chacun. Un groupe de seize organes de commande reçoit une priorité par rapport à l'autre groupe; une priorité est également attribuée parmi les seize organes au sein de chaque groupe. L'appareil qui répond au bit zéro de la ligne D pendant
10 une séquence de balayage, possède la priorité la plus haute parmi une rangée et l'appareil qui répond au bit 15 possède la priorité la plus basse.

Tout d'abord, on peut noter que le balayage (que l'on va décrire maintenant) implique les descriptions des états représentés aux figures 16 et 17 jusqu'à et y compris l'établissement de la liaison qui a lieu pendant l'état de SELECTION à
15 chaque figure.

On continuera à se reporter d'une manière générale aux figures 16 et 17. Le canal 109 met la ligne de la rangée à zéro et présente ensuite la fonction RPOL (balayage de reconnexion)
20 de la ligne T, comme le montre la figure 16, s'il s'agit d'une réponse à une demande de reconnexion, tandis que l'unité centrale 105 présente une fonction LPOL (balayage faiblement prioritaire) de la figure 6, représentée à la figure 17, si l'unité
25 centrale répond avec une séquence d'INTERROGATION DES ENTREES-SORTIES, ou une fonction HPOL (balayage hautement prioritaire) de la ligne T si l'unité centrale répond avec une séquence d'INTERROGATION HAUTEMENT PRIORITAIRE. Il s'agit là du seul point important de différence entre les représentations de la
30 figure 16 (réponse du canal) et de la figure 17 (réponse de l'unité centrale) en ce qui concerne le balayage.

Concernant particulièrement la figure 16 et la réponse du canal 109 à la validation de la ligne 145 de RECONNEXION EN
ENTREE (RCI) représentée à la figure 14, tous les appareils
35 ayant une demande de reconnexion en cours qui répondraient dans la rangée zéro, font une réponse de bit un dans la ligne D. Ce qui revient à dire que tous ces appareils valident une liaison de la ligne D 161 correspondant à leur priorité au sein de la rangée.

40 Le canal 109 introduit la réponse de la ligne D dans le

registre 135 de séparation des priorités représenté à la figure 13. La sortie de ce registre 135 de séparation des priorités sélectionne l'organe de commande qui a la plus haute priorité, conformément au système de priorité décrit ci-dessus, et il valide le bit approprié de retour dans la ligne D 161, si un bit est validé dans la rangée zéro par les organes de commande connectés.

Si un ou plusieurs appareils valident une réponse au registre de séparation des priorités dans la rangée zéro, la sortie du registre de séparation des priorités est présentée à tous les organes de commande connectés, en même temps que la fonction de SELECTION dans la ligne T, et l'organe de commande dont la priorité dans la rangée zéro correspond à la sortie du registre de séparation des priorités, met son bit 173 de sélection à "un", représenté à la figure 19; ensuite, cette entrée répondra aux états suivants de la séquence. C'est ce mode de fonctionnement que représente la flèche en traits pleins allant de l'état indiqué RPOL (Balayage de reconnexion) avec une rangée égale à zéro, à l'état indiqué SEL (Sélection).

Si le registre 135 de séparation des priorités détermine qu'aucun appareil n'a répondu lorsque la ligne de la rangée était égale à zéro, le canal 109 met alors la ligne de la rangée à un et envoie de nouveau l'instruction RPOL (Balayage de reconnexion) dans la ligne T. Ensuite, si le registre de séparation des priorités détermine qu'une réponse a été faite dans la rangée 1, le canal valide la fonction de sélection dans la ligne T comme auparavant.

Cependant, si le registre 135 de séparation des priorités détermine qu'aucune réponse n'a été faite dans la rangée 1, le canal revient à l'état d'inactivité indiqué par l'état NOP à la figure 16.

Ce dernier événement est un exemple d'incident qui pourrait se produire à une entrée 43 et qui aurait pour conséquence de faire accéder le système 31 à cet organe particulier 41 de commande par l'intermédiaire de l'autre entrée 43.

Comme on l'a noté ci-dessus, l'action du registre 135 de séparation des priorités, en réponse à une séquence IIO (Interrogation des entrées-sorties) ou HIIIO (Interrogation hautement prioritaire des entrées-sorties) déclenchée par l'unité centrale 105, est la même que la réponse du registre 135 de séparation des priorités à une séquence de reconnexion déclenchée par le

canal en réponse à une demande de reconnexion "en entrée" envoyée dans la ligne 145 depuis un organe 41 de commande.

5 On continuera à se reporter à la figure 16. La séquence de reconnexion commence par la séquence de balayage décrite ci-dessus et dont le but est de reconnecter l'organe 41 de commande de la plus haute priorité faisant une demande.

10 Le stade suivant de la séquence de reconnexion consiste à déterminer le nombre réel d'organes de commande contenu dans le comparateur 193 d'adresses de l'appareil. Comme on l'a noté ci-dessus, le comparateur 193 d'adresses de l'appareil comprend des connexions volantes afin de déterminer un numéro d'organe de commande effectif. Ces connexions volantes sont les mêmes que celles qui sont utilisées pour une fonction LAC (adresse et instruction d'implantation) dans la ligne T au cours d'une sé-

15 quence d'EXECUTION DES ENTREES-SORTIES afin de déterminer une entrée particulière. Dans la séquence de reconnexion, l'adresse déterminée par ces connexions volantes est renvoyée au canal d'entrées-sorties par l'intermédiaire de la ligne D pendant l'état RAC (adresse et instruction de lecture) dans la ligne T,

20 de manière à accéder à une table définissant la zone de mémoire-tampon pour cet appareil.

Il faut également déterminer le sens de la transmission (transmission d'entrée ou de sortie vers le module de proces-

25 seur). Pour effectuer cette détermination du sens de la transmission requise et de l'adresse de l'appareil, le canal valide la fonction RAC (adresse et instruction de lecture) dans la ligne T et l'organe 41 de commande renvoie l'adresse de l'organe de commande et le sens de la transmission.

30 Le canal utilise l'adresse de l'appareil renvoyée par l'organe 41 de commande pour accéder à un élément 142 de deux mots de la table 140 de commande des entrées-sorties IOC, représentée à la figure 12, qui définit une zone de mémoire-tampon 138 dans la mémoire 107 pour cet organe particulier de commande et cet appareil.

35 Le format d'un élément 142 de deux mots est représenté à grande échelle à la figure 12 afin de montrer les détails des zones des deux mots.

Il existe un élément 142 de deux mots dans la table 140 de commande des entrées-sorties IOC pour chacun des huit appa-

40 reils possibles de chacun des trente-deux organes 41 de com-

mande possibles connectés à une ligne 39 d'entrées-sorties associée à un module particulier 33 de processeur, et chaque module 33 de processeur possède sa propre table de commande des entrées-sorties IOC.

5 Chaque élément de deux mots décrit l'emplacement de la mémoire-tampon dans la mémoire centrale et la longueur restant à transmettre à n'importe quel moment particulier pour une transmission particulière de données à un appareil particulier. Ainsi, comme l'indiquent les légendes de la figure 12, le mot supérieur
10 indique l'adresse de transmission vers laquelle ou à partir de laquelle la transmission se fera par tranche et le mot inférieur indique le compte de multiplets spécifiant la longueur restante de la zone de mémoire-tampon et l'état de la transmission.

Les zones qui représentent l'état de la transmission comprennent un bit P de protection et une zone d'erreur du canal
15 CH ERR. La zone d'erreur du canal comprend trois bits qui peuvent être mis à "un" pour indiquer l'une quelconque de sept erreurs numérotées.

L'adresse de la transmission et le compte des multiplets
20 sont mis à jour dans la table 140 de commande des entrées-sorties IOC, à la fin de chaque séquence (tranche de temps) de reconnexion et de transmission des données. L'adresse de la transmission est comptée et le compte des multiplets est décompté à la fin de chaque tranche de temps. Le montant est le reflet du
25 nombre de multiplets transmis au cours de la tranche de temps.

Le deuxième mot contient également a) une zone dans laquelle peut être enregistrée pour une analyse ultérieure toute erreur rencontrée au cours d'une tranche de temps de reconnexion et de transmission des données et b) un bit de protection afin
30 d'indiquer que la zone de mémoire-tampon dans la mémoire 107 peut être extraite de la mémoire mais non pas y être introduite.

Le bit de protection sert à protéger la mémoire 107 du processeur contre une défaillance de l'organe 41 de commande. C'est-à-dire que, lorsque l'organe 41 de commande a renvoyé le
35 sens de la transmission au canal 109 pendant une fonction d'adresse et d'instruction de lecture RAC dans la ligne T, une défaillance de l'organe 41 de commande pourrait amener ce dernier à indiquer de manière erronée une transmission "en entrée". Le canal passerait alors à l'état d'ENTREE et transmettrait les données de l'organe de commande à la mémoire, provoquant ainsi la
40

perte de ces données dans la mémoire-tampon 138. Le bit de protection permet au programme d'indiquer que le canal ne peut pas introduire de données dans cette zone de la mémoire-tampon, ce qui revient à dire que l'appareil ne peut qu'indiquer une transmission "en sortie".

L'adresse de la transmission précise le circuit logique 139 B, représenté à la figure 12.

Le canal introduit l'adresse de la transmission dans le registre 129 d'adresses de la mémoire du canal, représenté à la figure 13, et il envoie le compte de multiplets dans le registre 131 de comptage des caractères représenté à la figure 13.

Suivant le sens de la transmission (que le canal a extrait de l'appareil pendant l'état d'adresse et d'instruction de lecture RAC représenté à la figure 16), le canal place la ligne T dans l'état d'ENTREE ou dans l'état de SORTIE et il transmet les données entre l'organe 41 de commande et la mémoire 107, utilisant le registre 129 d'adresses de la mémoire du canal pour préciser le circuit logique 139C, comme le montre la figure 12. Le registre 129 d'adresses de la mémoire du canal et le registre 131 de comptage des caractères sont mis à jour avec chaque mot transmis pendant la tranche de temps de manière à refléter la nouvelle adresse dans la mémoire-tampon et le nombre de caractères restant encore à transmettre. A la fin d'une tranche de temps, les contenus du registre 129 d'adresses de la mémoire du canal et du registre 131 de comptage des caractères sont introduits dans la table 140 de commande des entrées-sorties IOC.

En fonctionnement, pour chaque mot introduit à partir de l'appareil lors d'une transmission "en entrée", le canal 109 accepte le mot par l'intermédiaire du mécanisme d'établissement de liaison décrit ci-dessus, il introduit ce mot dans le registre 127 de données d'entrées-sorties, représenté à la figure 13, et il transmet ensuite ce mot dans la zone de mémoire-tampon de la mémoire définie par le circuit logique 139C représenté à la figure 12.

Lors d'une transmission "en sortie", le canal 109 extrait un mot de la zone de mémoire-tampon par le circuit logique 139C et il transmet ce mot au registre 125 de données de la mémoire du canal. Le canal introduit ensuite le mot dans le registre 127 de données d'entrées-sorties, représenté à la figure 13, et

il établit une liaison avec l'organe de commande qui accepte le mot dans son registre 213 de données d'interface.

La vitesse élevée du canal d'entrées-sorties est obtenue par une liaison avec la zone où le mot dans le registre 127 de données d'entrées-sorties est relié à l'appareil, tandis que le canal demande et accepte en simultanéité le mot suivant de la transmission depuis la mémoire 107 et l'introduit dans le registre 125 de données de la mémoire du canal. Comme le temps d'extraction d'un mot hors de l'appareil est juste aussi long que le temps d'acceptation par l'appareil d'un mot extrait de la mémoire, les deux opérations peuvent être exécutées en simultanéité.

Pendant la tranche de temps, le canal a fait régresser le registre de comptage des caractères de deux unités par mot transmis, car il y a deux multiplets dans chaque mot.

La transmission de la tranche de temps peut se terminer de deux façons : elle peut se terminer normalement ou se terminer avec une condition d'erreur.

Dans le cas normal, il y a deux possibilités.

Dans un premier état de fonctionnement, le registre 131 de comptage des caractères peut atteindre un compte d'un ou de deux multiplets restant à transférer. Dans cet état, le canal valide le signal EOT dans la ligne 165 représentée à la figure 14, signifiant que la fin de la transmission est atteinte. Si le compte atteint un, le canal valide les signaux EOT, et PAD OUT (REPLISSAGE DE POSITIONS INUTILISEES EN SORTIE) dans la ligne 167 de la figure 14, signifiant la fin de la transmission avec un multiplet impair. Si le compte de caractères atteint deux, le canal valide le signal EOT, mais le signal PAD OUT (REPLISSAGE DE POSITION INUTILISEES EN SORTIE) dans la ligne 167 de la figure 14 n'est pas nécessaire puisque les deux multiplets dans la ligne sont valides.

Dans l'un ou l'autre cas, l'organe 41 de commande répond en validant le signal d'ARRET EN ENTREE (STI) dans la ligne 159 représentée à la figure 14 et l'organe 41 de commande valide également le signal de REPLISSAGE DE POSITIONS INUTILISEES EN ENTREE (PADI) dans la ligne 169 représentée à la figure 14, si le canal a validé le signal de POSITIONS INUTILISEES EN SORTIE (PADO).

Dans le premier cas de fin normale de transmission, le canal

109 met fin à la transmission dans son ensemble, et non pas uniquement à la tranche de temps.

L'autre fin normale de transmission a lieu lorsque l'organe 41 de commande met fin à la tranche de temps en validant le signal d'ARRET EN ENTREE (STI) en réponse au signal d'UTILISATION EN SORTIE (SVO) du canal. Ceci signifie que la mémoire-tampon 189, représentée à la figure 19, a atteint un état de contrainte minimale comme l'indique le point 229 à la figure 23.

Le signal d'ARRET EN ENTREE (STI) peut se produire lors d'une transmission en sortie ou lors d'une transmission en entrée.

Lors d'une transmission en entrée, si l'organe 41 de commande désire mettre fin à la transmission ainsi qu'à la tranche de temps, il peut valider un signal d'ARRET EN ENTREE (STI); et, pour signifier que le dernier mot se termine par un multiplet impair, l'organe 41 de commande peut également valider un signal de REMPLISSAGE DE POSITIONS INUTILISEES EN ENTREE (PADI).

Comme le montre la figure 16, lorsque la transmission se termine par un état sans erreur (signal STI ou EOT) lors d'une transmission en sortie ou d'une transmission en entrée, comme le montrent les mentions EN SORTIE (OUT) et EN ENTREE (IN) entourées d'un cercle à la figure 16, le canal 109 met à jour la table de commande des entrées-sorties IOC, comme on l'a mentionné ci-dessus et il revient à l'état d'inactivité NOP) représenté à la figure 16.

Comme on l'a noté ci-dessus, la transmission peut également se terminer par un état d'erreur.

Pendant la tranche de temps, plusieurs erreurs peuvent se produire de la façon suivante :

Premièrement, l'organe 41 de commande peut demander une transmission en entrée dans une mémoire-tampon dont le bit de protection P est mis à "un" dans la table de commande des entrées-sorties IOC, comme on l'a mentionné ci-dessus.

Deuxièmement, l'organe 41 de commande peut ne pas renvoyer un signal de REMPLISSAGE DE POSITIONS INUTILISEES EN ENTREE (PADI) en réponse à un signal de REMPLISSAGE DE POSITIONS INUTILISEES EN SORTIE (PADO) émanant du canal 109.

Troisièmement, le canal 109 peut détecter une erreur de parité dans la ligne D 161.

Quatrièmement, l'organe 41 de commande peut ne pas répon-

dre à un signal d'UTILISATION EN SORTIE (SVO) émanant du canal 109 dans le temps alloué comme on l'a mentionné ci-dessus dans la description des établissements de liaisons.

5 Cinqüièmement, la zone de la mémoire-tampon indiquée par les éléments de la table de commande des entrées-sorties IOC peut pénétrer dans une page dont le topogramme la marque absente (voir la description du plan de relevé dans le système de mémoire).

10 Sixièmement, une erreur de parité peut être détectée dans l'accès au topogramme au moment de l'accès à la mémoire pendant la séquence de reconnexion en entrée et de transmission des données. Voir la description dans le système de mémoire concernant le contrôle de l'erreur de parité.

15 Septièmement, le système de mémoire peut détecter une erreur de parité incorrigible lorsque le canal 109 accède à la mémoire. Voir la description du système de mémoire pour ce contrôle d'erreur de parité.

20 Si l'un quelconque de ces états d'erreurs se produit, le canal 109 passe à l'état de transmission des données de suspension d'exécution (ABTD) représenté à la figure 16. Cet état informe l'organe 41 de commande qu'une erreur s'est produite et que la transmission des données doit être suspendue. Le canal 109 revient alors à l'état d'inactivité NOP comme le montre la figure 16.

25 Lorsqu'une erreur de produit, le canal 109 met à jour les éléments de la table de commande des entrées-sorties IOC et il introduit un numéro d'erreur, indiquant l'une des sept erreurs mentionnées ci-dessus, dans la zone d'erreur du deuxième mot de l'élément de la table de commande des entrées-sorties IOC, comme on l'a mentionné ci-dessus.

30 Ainsi, si une seule erreur se produit, le numéro de cette erreur est introduit dans la zone d'erreur de l'élément de la table de commande des entrées-sorties IOC.

35 S'il se produit plus d'une erreur, le canal 109 sélectionne l'erreur dont la réparation est la moins susceptible de se produire et il introduit le numéro de cette erreur dans la zone d'erreur de l'élément de la table de commande des entrées-sorties IOC.

40 Il y a un autre type d'erreur qui peut survenir l'organe 41 de commande peut essayer de se reconnecter au canal lorsque

le mot de comptage dans la table de commande des entrées-sorties IOC est zéro. Dans ce cas, le canal ne permettra pas à l'organe de commande de se reconnecter et le canal passera par une séquence telle qu'on l'a décrite ci-dessus avec référence à la figure 16, mais lorsque le canal détermine que le mot de comptage dans la table de commande des entrées-sorties IOC est zéro, le canal 109 passe directement à l'état de transmission de données de suspension d'exécution ABTD. Ceci représente une importante caractéristique de la présente invention car elle empêche la mémoire du processeur d'être recouverte par un appareil défaillant.

Si le compte est de zéro dans le comptage de multiplets du deuxième mot de l'élément 142 de la table de commande des entrées-sorties IOC pour un appareil particulier et si l'organe 41 de commande essaie de se reconnecter au canal 109, d ce dernier envoie des données de suspension d'exécution ABTD à l'organe 41 de commande, comme on l'a noté ci-dessus, et il laisse à zéro la zone d'erreur de canal de l'élément 142 de deux mots.

En réponse à la fonction de données d'interruption d'exécution ABTD, dans la ligne T, l'organe 41 de commande adresse au canal 109 une demande d'interruption dans la ligne de DEMANDE D'INTERRUPTION FORTEMENT PRIORITAIRE HIRQ ou dans la ligne de DEMANDE D'INTERRUPTION FAIBLEMENT PRIORITAIRE LIRQ, c'est-à-dire les lignes 149 ou 147 représentées à la figure 14.

Les organes 41 de commande peuvent, à n'importe quel moment, demander une interruption dans ces deux lignes.

Une interruption indique d'une manière générale qu'une transmission de données a été achevée ou terminée par des données de suspension d'exécution ABTD envoyée par le canal ou par un état d'erreur au sein de l'organe 41 de commande ou d'un appareil connecté, ou par le fait qu'un état spécial s'est produit dans l'organe 41 de commande ou dans un appareil connecté. Lorsque par exemple, la tension est appliquée et que le circuit de mise sous tension indique que la tension est à un niveau acceptable, l'organe de commande interrompt le module de processeur pour indiquer que son état interne est mis à zéro parce que l'alimentation était coupée ou avait baissé et qu'elle a été remise à l'état initial par le circuit de mise sous tension.

En réponse à une interruption, le programme en cours d'exécution dans le module 33 de processeur envoie dans la ligne 39 d'entrées-sorties une instruction d'interrogation des entrées-sorties 110 ou une instruction d'interrogation hautement prioritaire des entrées-sorties HIIO.

L'instruction d'interrogation des entrées-sorties 110 est envoyée en réponse à une interruption faiblement prioritaire des entrées-sorties, c'est-à-dire une instruction envoyée dans la ligne 147 de demande d'interruption faiblement prioritaire LIRQ, représentée à la figure 14.

L'instruction d'interrogation hautement prioritaire des entrées-sorties HIIO est envoyée en réponse à une interruption hautement prioritaire des entrées-sorties, c'est-à-dire une instruction demandée dans une ligne 149 de demande d'interruption hautement prioritaire HIRQ, représentée à la figure 14.

Le microprocesseur 113, représenté à la figure 12, exécute les instructions d'exécution des entrées-sorties E10, d'interrogation des entrées-sorties 110 ou d'interrogation hautement prioritaire des entrées-sorties HIIO en commandant la logique 141 de commande du canal et la logique 123 du circuit de données.

La séquence d'exécution de ces instructions est illustrée à la figure 17; et, comme on l'a noté ci-dessus, la séquence commence par une séquence de balayage.

L'instruction d'interrogation des entrées-sorties HO interroge une séquence à l'aide du balayage d'interruption faiblement prioritaire IPOL de la fonction dans la ligne T, tandis que l'instruction d'interrogation hautement prioritaire des entrées-sorties HIIO interroge une séquence à l'aide du balayage d'interruption hautement prioritaire HPOL de la fonction dans la ligne T.

La séquence de balayage qui est également décrite ci-dessus se termine par la sélection de l'organe approprié 41 de commande à l'aide de la fonction de sélection SEL dans la ligne T, comme le montre la figure 17.

L'organe approprié 41 de commande sélectionné est l'organe de commande qui est le plus fortement prioritaire et qui fait une demande d'interruption.

La séquence continue par une fonction RIC dans la ligne T provoquant l'interruption de lecture, comme le montre la figure

17. L'organe 41 de commande répond en renvoyant l'état dépendant de l'appareil dans la ligne D 161, comme le montre la figure 14.

5 Le microprocesseur 113, représenté à la figure 12, extrait l'état de la ligne D 161 et il place cet état en haut de la pile 112 du registre représenté à la figure 12.

10 La séquence continue ensuite par une fonction de l'état d'interruption de lecture RIST dans la ligne T comme le montre la figure 17. L'organe 41 de commande répond à cette fonction de l'état d'interruption de lecture RIST dans la ligne T en renvoyant dans la ligne D le numéro de l'organe de commande, le numéro de l'appareil et quatre bits d'états spécialisés.

15 De la zone d'état des quatre bits, deux des bits indiquent respectivement les données de suspension d'exécution ABTD et l'erreur de parité, cette erreur de parité ayant pu se produire pendant une séquence de reconnexion et de transmission des données.

20 Le microprocesseur 113 reproduit le contenu de la ligne D, c'est-à-dire le numéro de l'organe de commande, le numéro de l'appareil et l'état d'interruption, et il place ce contenu en haut de la pile 112 du registre.

25 Si aucune erreur ne s'est produite au cours de la séquence, cette dernière se poursuit alors par l'état de désélection DSEL qui désélectionne l'organe 41 de commande; ensuite, la séquence passe à l'état d'inactivité NOP comme l'indique la ligne en haut de la figure 17.

30 Si une erreur s'est produite (et il peut s'agir d'une erreur de parité détectée par le canal ou un dépassement du temps imparti à l'établissement d'une liaison), le canal passe de l'état d'interruption de lecture RIST à l'état d'instruction du suspension d'exécution ABTI, comme le montre la figure 17. Cette action désélectionne l'organe 41 de commande et le canal revient ensuite à l'état d'inactivité NOP, comme l'indique la ligne en bas de la figure 17.

35 Comme on l'a noté ci-dessus, une opération d'entrées-sorties entre un module de processeur et un appareil d'entrées-sorties se compose d'une manière caractéristique d'un groupe de séquences, par exemple une séquence d'exécution des entrées-sorties EIO suivie d'un certain nombre de séquences de reconnexion et de transmission des données, en terminant par une sé-

40

quence d'interrogation des entrées-sorties 110. Des séquences de pousieurs opérations différentes d'entrées-sorties peuvent être imbriquées, ce qui a pour résultat une opération d'entrées-sorties apparemment simultanée effectuée par plusieurs appareils. Ainsi, l'accès à un grand nombre d'appareils peut se faire simultanément; le nombre exact de ces appareils dépend de la largeur de bande du canal et de la largeur de bande effective utilisée par chaque appareil.

Le système d'entrées-sorties et l'architecture et le fonctionnement de l'organe de commande à double entrée décrits ci-dessus fournissent plusieurs avantages importants.

Ces avantages sont les suivants : a) souplesse de connexion d'une grande variété d'appareils ; b) utilisation maximale des ressources; c) cadre d'utilisation en mode "dégradé" dans lequel l'accès se fait à des appareils périphériques dans un système de traitement par multiprocesseurs; d) entretien en direct et possibilité d'extension de la capacité du système de traitement par multiprocesseurs; et e) débit maximum de traitement du système (par opposition au débit du processeur ou au débit d'entrées-sorties exclusivement) dans un système de données de mouvements en liaison directe avec l'ordinateur et dans lequel un grand nombre de données de mouvement simultanés doivent être traités par le système d'entrées-sorties et par l'unité centrale.

La souplesse de connexion d'une grande variété d'appareils est réalisée du fait que le système qui fait l'objet de la présente invention ne présuppose aucune caractéristique inhérente d'un type d'appareil. Par contre, la présente invention fournit une structure et une exploitation qui peuvent s'adapter à une grande variété de fonctionnement des appareils.

La présente invention prévoit une utilisation maximale des ressources, tout d'abord en utilisant au maximum la largeur de bande de la mémoire. Chaque appareil utilise un minimum de la largeur de bande de la mémoire. Cette caractéristique permet d'associer un nombre relativement élevé d'appareils avec la ligne particulière d'entrées-sorties. Du fait de la vitesse inhérente de la ligne d'entrées-sorties et de la technique de mise en mémoire-tampon propre à la présente invention, chaque transmission particulière s'effectue à une vitesse relativement élevée qui n'est limitée que par la vitesse de la mémoire.

Parce que les transmissions se font en mode continu, la servitude associée avec chaque transmission est réduite au minimum. Cette caractéristique permet d'utiliser au maximum la largeur de bande du canal et elle permet également l'utilisation d'appareils à vitesses élevées.

La présente invention prévoit un accès en mode "dégradé" aux appareils. Il existe des circuits redondants vers chaque appareil périphérique et une limitation des défaillances à chaque circuit particulier. Une défaillance d'un module particulier dans un circuit n'affecte pas le fonctionnement d'un module dans un autre circuit en liaison avec cet appareil.

Il y a des contrôles approfondis d'erreurs afin de contrôler l'intégrité des données dans un circuit, les incidents de séquence et les circuits de synchronisation.

Les caractéristiques de protection empêchent un appareil périphérique d'affecter sa propre mémoire-tampon ou la mémoire du système. Ces caractéristiques de protection comprennent un mot séparé de comptage dans chaque table de commande des entrées-sorties IOC et un bit de protection dans la table de commande des entrées-sorties IOC. Cette dernière table IOC est accessible par le canal mais non par l'appareil. Il s'agit là d'un deuxième niveau de protection qui empêche l'appareil d'accéder à une mémoire qui n'est pas affectée à cet appareil.

La présente invention ne requiert qu'un petit nombre de lignes dans la ligne d'entrées-sorties pour fournir un système souple et puissant d'entrées-sorties.

Le fonctionnement de l'organe de commande est bien défini lors de la mise sous tension ou hors tension afin de protéger la ligne d'entrées-sorties contre des signaux erronés pendant ce temps et également pour permettre un entretien direct et une extension directe du système.

La présente invention utilise la contrainte pour permettre aux mémoires-tampons de coopérer sans communiquer l'une avec l'autre.

Un système de données de mouvements en liaison directe avec l'ordinateur est obtenu par l'intermédiaire de transmissions et de traitement exécuté en simultanéité.

L'accès multicanal direct à la mémoire fournit des tranches de temps imbriquées afin de donner des transmissions effectuées en simultanéité et des attentes minimales avant d'accéder à un

appareil. Chaque tranche de temps exige un minimum de servitude de la mémoire et permet au processeur d'utiliser la mémoire au maximum. Cette combinaison permet une utilisation maximale de la largeur de bande des entrées-sorties et une immobilisation minimale des ressources du processeur.

Le système de traitement par multiprocesseurs qui fait l'objet de la présente invention comprend un réseau de distribution électrique qui permet de résoudre plusieurs problèmes rencontrés dans les réseaux suivant l'art antérieur.

Dans de nombreux réseaux suivant l'art antérieur, il fallait arrêter le système de traitement par multiprocesseurs pour effectuer l'entretien nécessaire d'un élément du système. De même, dans de nombreux réseaux suivant l'art antérieur, une défaillance de l'alimentation électrique pouvait paralyser l'ensemble du système de traitement par multiprocesseurs.

Le réseau de distribution électrique suivant la présente invention comprend plusieurs alimentations séparées et indépendantes; il distribue l'énergie électrique venant des sources d'alimentation aux modules de processeurs et aux organes de commande de manière à permettre l'entretien en direct, et il fournit une redondance d'énergie électrique à chaque organe de commande.

A ce sujet, le terme "en direct" est utilisé dans un sens tel que lorsqu'une partie du réseau est "en direct", cette partie du réseau non seulement est alimentée mais également fonctionne avec le système afin d'accomplir un travail utile.

Le terme "entretien en direct" signifie dont l'entretien d'une partie du réseau (y compris l'entretien périodique préventif ou les travaux de réparation) tandis que le reste du réseau reste "en direct" comme on l'a défini ci-dessus.

Dans la présente invention, l'alimentation de tout module de processeur ou de tout organe de commande peut être coupée de telle sorte que l'entretien en direct peut s'effectuer à l'état hors tension de ce module de processeur ou organe de commande, tandis que le reste du système de traitement par multiprocesseurs reste en direct et opérationnel. On peut effectuer l'entretien "en direct" tout en respectant pleinement les règles de sécurité imposées par le laboratoire des Assureurs.

De même, dans le réseau de distribution électrique qui fait partie de la présente invention, chaque organe de commande

est connecté afin d'être alimenté par deux sources séparées d'énergie et par un montage de commutation à diodes qui permet d'alimenter l'organe de commande à partir des deux sources d'alimentation, lorsque ces deux dernières sont en fonctionnement, et d'alimenter cet organe de commande à partir de l'une de ces sources d'alimentation, lorsque l'autre est en panne; en cas de panne de l'une des sources d'alimentation, la commutation s'effectue régulièrement et sans interruption ni pulsation de l'alimentation, de telle sorte qu'un arrêt de l'organe de commande n'est jamais nécessaire en cas de défaillance de l'une de ses alimentations associées.

La figure 30 représente un réseau de distribution électrique assurant à la fois une source principale d'alimentation et une source d'alimentation de remplacement pour chaque organe individuel 41 de commande à double entrée. Le réseau de distribution électrique est repéré par la référence générale 301 à la figure 30.

Le réseau 301 de distribution électrique assure à chaque organe 41 de commande à double entrée une source d'alimentation principale et une source d'alimentation de remplacement. Du fait que chaque organe de commande dispose de deux sources séparées et indépendantes d'alimentation électrique, une panne de la source d'alimentation principale d'un organe particulier de commande n'affecte pas le fonctionnement de cet organe de commande (ni d'aucun des appareils qui lui sont associés). Bien au contraire, suivant la présente invention, un montage de commutation fournit un branchement automatique sur la source d'alimentation de remplacement, de sorte que l'organe de commande peut continuer à fonctionner. Le réseau de distribution électrique agit ainsi en liaison avec le système à double entrée de l'orifice de commande, afin de fournir un fonctionnement et un accès ininterrompus aux appareils en cas de défaillance d'une entrée individuelle ou d'une source d'alimentation individuelle.

Le réseau 301 de distribution électrique, représenté à la figure 30, fournit un avantage supplémentaire qui réside dans le fait que chaque module 33 de processeur, ainsi que l'unité centrale 105 et la mémoire 107 qui lui sont associés possède une source d'alimentation séparée et indépendante qui est affectée à ce module de processeur. Grâce à cette disposi-

tion, une panne ou une déconnexion manuelle de l'une quelconque des sources d'alimentation en vue de la réparation ou de l'entretien et du dépannage de cette source d'alimentation ou du module de processeur associé, se limitera donc en fait à un
5 seul module particulier de processeur et ne pourra affecter le fonctionnement d'aucun autre module de processeur du système de traitement par multiprocesseurs.

Le réseau 301 de distribution électrique, représenté à la figure 30, fonctionne ainsi en association avec les modules individuels de processeurs et les organes de commande à double
10 entrée, afin d'assurer qu'une défaillance ou une déconnexion de l'une quelconque des sources d'alimentation n'immobilisera pas l'ensemble du système et ne rendra inopérant aucun des appareils.

Le réseau 301 de distribution électrique comprend plusieurs sources d'alimentation séparées et indépendantes 303 et chacune de ces sources d'alimentation 303 comporte une ligne 305, en fait une ligne 305 à multiconducteurs représentés à la figure 33, qui est affectée à l'alimentation électrique de l'unité
15 centrale et de la mémoire d'un module particulier de processeur connecté.

Chaque organe 41 de commande est associé avec deux des sources 303 d'alimentation par l'intermédiaire d'une ligne principale 307, d'une ligne de remplacement 309 et d'un commutateur automatique 311.
25

Un commutateur 313 à manoeuvre manuelle est également associé avec chaque organe 41 de commande entre ce dernier, la ligne principale 307 et la ligne de remplacement 309.

Les commutateurs 311 et 313 sont représentés plus en détail à la figure 31.
30

La figure 32 représente des détails de construction d'éléments d'une source d'alimentation 303.

Comme le montre la figure 32, chaque source 303 d'alimentation comporte un connecteur 315 d'entrée pour le branchement sur le secteur. Le connecteur d'entrée 315 est connecté à un
35 redresseur 317 de courant alternatif en courant continu dont la sortie fournit, dans une ligne 319, une source d'alimentation interruptible IPS de cinq volts. Cette source de courant interruptible de cinq volts alimente l'unité centrale 105, la mémoire 107 et l'organe 41 de commande. On se reportera égale-
40

ment à la figure 33.

Le redresseur 317 de courant alternatif en courant continu fournit également, dans une deuxième ligne de sortie 321, une sortie en courant continu de soixante volts qui est fournie
5 à un convertisseur continu-continu 32, représenté à la figure 32.

Le convertisseur continu-continu fournit à son tour une tension de sortie de cinq volts dans une ligne 325 et une tension de sortie de douze volts dans une ligne 327.

10 Les sorties des lignes 325 et 327 sont, dans le réseau qui fait partie de la présente invention, des sorties d'alimentation électrique non interruptible UPS, du fait que ces sorties d'alimentation électrique sont connectées à l'unité centrale et à la mémoire quand la mémoire à semiconducteurs est
15 utilisée. L'alimentation électrique d'une mémoire à semiconducteurs ne doit pas être interrompue car une interruption d'alimentation d'une mémoire à semiconducteurs provoquera la perte de toutes les données stockées dans la mémoire.

La source d'alimentation électrique interruptible de cinq
20 volts dans la ligne 319 est considérée comme étant une source d'alimentation interruptible car cette alimentation est fournie aux parties du système de traitement par multiprocesseurs dans lesquelles une interruption d'alimentation peut être acceptée. Ainsi, l'alimentation interruptible en cinq volts est fournie
25 aux parties de l'unité centrale autres que la mémoire à semiconducteurs et aux seules parties de la mémoire qui sont à tores (et pour lesquelles une interruption d'alimentation ne provoque pas de perte de données stockées dans la mémoire), et à l'organe de commande qui, ainsi qu'on le décrira plus en détail ci-dessous, est alimenté par une source d'alimentation de
30 remplacement en cas de défaillance de la source d'alimentation principale.

Puisque l'alimentation électrique des lignes 325 et 327 doit être une alimentation non interruptible, la présente
35 invention fournit une batterie de secours pour l'entrée du convertisseur continu-continu 323. Cette batterie de secours se compose d'un module 329 de batterie et chargeur. Le module 329 est connecté au convertisseur continu-continu 323 par une ligne 331 et une diode 333.

40 Dans un exemple particulier de réalisation de la présente

invention, la batterie 323 fournit au convertisseur 323 une tension de 48 V qui est à l'intérieur de la gamme des tensions d'entrée du convertisseur 323.

La diode 333 assure l'alimentation du convertisseur 323 par la batterie si la tension dans la ligne 321 chute en dessous de 48 V. La diode 333 arrête également le courant venant de la batterie et de la ligne 333 lorsque la sortie du redresseur de courant alternatif en courant continu dans la ligne 321 dépasse 48 V.

Chaque source d'alimentation 303 comprend également un circuit d'alarme 335 prévu pour détecter un état de l'entrée d'alimentation en courant alternatif dans la ligne 315 qui aurait eu pour résultat une tension insuffisante dans les lignes de sortie 319, 325 et 327. Le circuit d'alarme 335 transmet à l'unité centrale 105, par une ligne 337, un signal d'alarme de panne d'alimentation.

Du fait de la capacité accumulée dans la source d'alimentation 303, il y a suffisamment de temps entre le signal d'alarme de tension et la perte de tension interruptible de 5 V dans la ligne 319 pour que l'unité centrale conserve son état avant la perte de tension.

Cependant, l'alimentation non interruptible dans les lignes 325 et 327 ne doit pas être interrompue, même pendant un instant, et la batterie de secours prévue par le montage représenté à la figure 32 assure qu'il n'y aura pas d'interruption de l'alimentation dans les lignes 325 et 327 en cas de panne d'alimentation dans la ligne d'entrée 315.

Une source particulière 303 d'alimentation peut elle-même être en panne pour une raison quelconque, les autres sources 303 d'alimentation continuant à fonctionner. Dans ce cas-là, le réseau 301 de distribution électrique qui fait partie de la présente invention limite l'effet de la panne de la source d'alimentation 303 à la perte d'une unité centrale particulière associée et d'une mémoire. Le commutateur automatique 311 prévoit une commutation automatique de la source d'alimentation défaillante à la source d'alimentation de remplacement de manière à maintenir en fonctionnement l'organe 41 de commande associé. Ce dernier qui a été connecté à la source d'alimentation défaillante continue donc à fonctionner en liaison opérationnelle avec les autres modules de processeurs et éléments du

système de traitement par multiprocesseurs, car la tension requise est automatiquement commutée depuis la source d'alimentation de remplacement.

Comme le montre le mieux la figure 31, chaque commutateur automatique 311 comprend deux diodes, c'est-à-dire une diode 341 associée avec la ligne 307 d'alimentation principale et une diode 343 associée avec la ligne 309 d'alimentation de remplacement.

Les diodes 341 et 343 ont pour fonction de permettre l'alimentation d'un organe 41 de commande à partir soit de la ligne 307 d'alimentation principale et d'une source d'alimentation 303 correspondante, soit de la ligne d'alimentation de remplacement et de sa source d'alimentation correspondante 303, tout en maintenant les alimentations isolées. Cette disposition empêche qu'une source d'alimentation défaillante ne provoque une panne dans la ligne d'alimentation de remplacement ou dans la ligne d'alimentation principale qui lui sont associées.

En fonctionnement normal, chaque diode laisse passer une certaine quantité de courant, de sorte que chaque organe 41 de commande est en fait alimenté à la fois par l'alimentation principale et par l'alimentation de remplacement.

Au cas où l'une de ces alimentations subit une défaillance, le courant total est fourni par l'autre source d'alimentation et ce transfert s'opère sans aucune perte de courant.

Du fait qu'il se produit une faible chute de tension dans les diodes 341 et 343, la tension dans les lignes 307 et 309 doit être supérieure à cinq volts suffisamment pour que, après la chute de tension dans les diodes 341 et 343, la tension d'alimentation de l'organe 41 de commande soit exactement de cinq volts. Les lignes 305 sont en parallèle avec les lignes 307 et 309 et la tension effectivement reçue par l'unité centrale de la mémoire doit être également de cinq volts; c'est pourquoi des diodes 339 d'équilibrage sont montées dans les lignes 305, afin d'assurer que la tension appliquée à chaque unité centrale, en aval des diodes, est exactement de cinq volts.

Le commutateur manuel 331 permet de déconnecter un organe 41 de commande aussi bien de la source d'alimentation principale que de la source d'alimentation de remplacement lorsque cet organe de commande doit être déconnecté pour être retiré afin d'être entretenu et dépanné.

Les détails de fabrication du commutateur 313 sont repré-

sentés à la figure 31. Comme le montre cette figure, le commutateur 313 comprend un interrupteur manuel 345, un transistor 347, une capacité 348, une résistance 350 et une résistance 352.

5 L'interrupteur manuel 345 est fermé pour mettre en circuit le transistor 347 qui alimente ensuite l'organe 41 de commande.

Il est important que, aussi bien la mise sous tension que la mise hors tension de l'organe 41 de commande s'opèrent de manière régulière et sans fluctuations qui pourraient déclencher plus d'une fois le circuit 182 de mise sous tension. La capacité à réaction 348 agit en liaison avec la résistance 352 pour
10 provoquer la montée en tension régulière requise lorsque l'interrupteur 345 est fermé pour mettre en circuit le transistor 347.

Lorsque le transistor 347 est mis hors circuit par l'ouverture de l'interrupteur 345, la capacité à réaction 348 agit en
15 liaison avec la résistance 350 pour provoquer une chute régulière de tension.

Dans un exemple préféré de réalisation de la présente invention, toutes les diodes 341, 343 et 339 sont des diodes Schottky qui produisent une chute de tension directe très faible et ceci
20 réduit la puissance dissipée.

Comme on l'a noté ci-dessus, dans la description du système d'entrées-sortiesnet de l'organe 41 de commande à double entrée, chaque organe 41 de commande comporte un circuit 182 de mise sous tension PON, afin de détecter le moment où la tension de
25 cinq volts se trouve inférieure aux spécifications. Le circuit 182 de mise sous tension PON est représenté plus en détail à la figure 25; il remet à zéro l'organe 41 de commande de manière à l'isoler de tout le reste et il maintient l'organe de commande lui-même dans un état qui est connu lorsque la tension est coupée par le commutateur 313. Le circuit 182 de mise
30 sous tension PON débloque également l'organe de commande et le remet en fonctionnement après que la tension a été rétablie par le commutateur 313 et que la tension de cinq volts de caractéristique correcte a été appliquée à l'organe 41 de commande.

35 D'autres détails du circuit 182 de mise sous tension représenté à la figure 25 sont décrits ci-dessus en rapport avec le système d'entrées-sorties et d'organe de commande à double entrée.

On se reportera maintenant à la figure 33. La tension fournie par chaque source d'alimentation 303 est transmise à une
40

unité centrale associée, par la ligne verticale 305; chaque ligne verticale 305 est une barre omnibus laminée qui comporte cinq couches de conducteurs électriques.

Comme l'indiquent les légendes de la figure 33, chaque barre omnibus verticale 305 comporte deux conducteurs différents mis à la terre.

Un conducteur fournit la mise à la terre à la fois à l'alimentation interruptible en cinq volts IPS et à l'alimentation non interruptible en cinq volts UPS.

Un conducteur séparé fournit une mise à la terre pour la tension de la mémoire. Cette mise à la terre séparée pour la tension de la mémoire assure que les fluctuations relativement importantes de courant vers la mémoire n'auront aucun effet sur l'alimentation interruptible en cinq volts IPS ni sur l'alimentation non interruptible en cinq volts UPS fournies à l'unité centrale.

La barre omnibus horizontale 305, 307 comprend les lignes d'alimentation principale et d'alimentation de remplacement 307 et 309, comme l'indiquent les références de la figure 30. Dans un exemple particulier de réalisation de la présente invention, la barre omnibus 305, 307 est en fait une barre laminée comportant neuf couches qui se composent d'une seule mise à la terre et de huit couches de tension, indiquées par les légendes et notations V1 à V8 à la figure 33.

Chaque couche de tension est connectée à la sortie interruptible en cinq volts d'une source différente de tension 303. Ainsi, la couche V1 est connectée en 351 à l'alimentation interruptible en cinq volts IPS dans le cas de la source d'alimentation 303 et du module de processeur située à l'extrême gauche de la figure 33, et la couche V2 est connectée en 353 à la source de tension 303 interruptible en cinq volts IPS dans le cas du module de processeur situé au centre de la figure 33, etc.

Puisqu'il y a huit couches, V1 à V8, et une terre commune disponibles pour chaque organe de commande dans la barre omnibus horizontale, des prises verticales 355 connectées à ces huit couches à intervalles réguliers le long de la barre omnibus horizontale, permettent d'associer chaque organe de commande à deux quelconques des sources d'alimentation 303 en connectant simplement la ligne principale 307 et la ligne

de remplacement 309 à un groupe particulier de prises. A titre d'exemple, l'organe 41 de commande situé du côté gauche de la figure 33 est représenté comme étant connecté aux prises V1 et V2 et l'organe 41 de commande de côté droit de la figure 33 est représenté comme étant connecté aux prises V2 et V3.

Ainsi, n'importe quel organe 41 de commande peut être connecté à deux quelconques des sources 303 d'alimentation, l'une quelconque servant de source d'alimentation principale et l'autre servant de source d'alimentation de remplacement.

10 Le réseau de distribution électrique de la présente invention fournit ainsi plusieurs avantages importants.

Ce réseau de distribution électrique permet d'effectuer l'entretien en direct car un module de processeur ou un organe de commande peuvent être mis hors circuit tandis que le reste du système de traitement par multiprocesseurs reste en ligne et en fonctionnement.

Le réseau de distribution électrique satisfait pleinement les exigences de sécurité imposées par le laboratoire des Assureurs pour l'entretien en direct d'un élément mis hors circuit, tandis que le reste du système de traitement par multiprocesseurs reste en ligne et en fonctionnement.

Chaque organe de commande est associé à deux alimentations séparées, de sorte qu'une défaillance de l'une de ces alimentations ne provoque pas l'arrêt de fonctionnement de l'organe de commande. Au contraire, le montage de commutation électronique propre à la présente invention fournit un passage tellement régulier de l'alimentation à partir des deux sources d'alimentation à l'alimentation à partir de l'une seulement des sources d'alimentation que l'organe de commande est maintenu en fonctionnement continu sans interruption.

30 Chaque module 33 de processeur, représenté à la figure 1, du système 31 de traitement par multiprocesseurs comprend une mémoire.

Cette mémoire est repérée par la référence générale 107 à la figure et elle est représentée plus en détail à la figure 34.

La mémoire 107 de chaque module 33 de processeur est associée à la fois à l'unité centrale 105 et au canal 109 d'entrées-sorties de ce module. Il existe un accès à double entrée dans la mémoire, par l'unité centrale et par le canal. Ce qui revient à dire que l'unité centrale 105, représentée aux figures 1

et 34, peut accéder à la mémoire pour des références de programme ou de données, tandis que le canal 109 d'entrées-sorties peut également accéder directement à la mémoire (sans devoir traverser l'unité centrale) pour des transmissions de données vers et à partir d'un organe 41 de commande. Ce double accès à la mémoire est illustré à la figure 34 et il sera décrit plus en détail ci-dessous dans la description de la structure et du fonctionnement de la mémoire de la figure 34.

Un avantage de ce double accès à la mémoire réside dans le fait que les accès de l'unité centrale et du canal à la mémoire peuvent être imbriqués dans le temps. Il n'est nullement nécessaire que l'unité centrale ou le canal attendent pour accéder à la mémoire, excepté dans le cas où à la fois l'unité centrale et le canal essaient d'accéder à la mémoire exactement au même moment. En conséquence, aussi bien l'unité centrale que le canal peuvent remplir leurs fonctions séparées en simultanéité, sous réserve d'une attente occasionnelle de la part de l'unité centrale ou du canal si l'une de ces unités accède à la mémoire au moment exact où l'autre unité a besoin d'accéder à la mémoire.

L'accès à double entrée permet également une exploitation prioritaire des entrées-sorties. L'unité centrale 105 a besoin d'être impliquée avec le canal 109 uniquement au déclenchement et à la fin des transmissions de données d'entrées-sorties. L'unité centrale peut exécuter d'autres fonctions pendant la transmission effective elle-même des données d'entrées-sorties.

La mémoire 107 représentée à la figure 34 comprend une mémoire physique qui se compose de 262 144 mots de seize bits d'information chacun.

Outre les seize bits d'information, chaque mot de la mémoire comporte un bit supplémentaire de parité si la mémoire est une mémoire à tores, ou six bits supplémentaires de correction d'erreur si la mémoire est une mémoire à semiconducteurs.

Le bit de parité permet de détecter les erreurs simples de bits uniques.

Les six bits de correction d'erreur permettent de détecter et de corriger les erreurs de bits uniques et ils permettent également de détecter toutes les erreurs de bits doubles.

La mémoire physique est conçue comme étant subdivisée en blocs contigus de 1 024 mots chacun (qui sont appelés des pa-

ges). Les pages de la mémoire physique sont numérotées consécutivement depuis la page zéro, en partant de l'emplacement physique zéro. Dans un exemple particulier de réalisation de la présente invention, la gamme d'adresses de la mémoire physique qui s'étend de zéro à 262 143, exige dix-huit bits d'information d'adresses physiques.

L'architecture de base du système de mémoire/^{qui} fait l'objet de la présente invention est cependant constituée pour recevoir et utiliser vingt bits d'information d'adresses physiques, comme le fera mieux apparaître la description suivante.

Dans un exemple particulier de réalisation de la présente invention, la mémoire physique est physiquement divisée en modules physiques de 32 768 mots. Ainsi, huit de ces modules fournissent les 262 143 mots mentionnés ci-dessus.

Tous les accès à la mémoire se font à l'une des quatre zones d'adresses logiques, c'est-à-dire les zones de données de l'utilisateur de données du système, de code de l'utilisateur et de code du système. Toutes les instructions de l'unité centrale traitent exclusivement ces adresses logiques, distinctes des adresses physiques. Ainsi, un programmeur n'a pas besoin de s'occuper d'une adresse physique réelle mais, par contre, il peut rédiger un programme basé entièrement sur des adresses logiques qui sont traduites en adresses physiques par la partie topogramme du système de mémoire.

La gamme d'adressage dans une zone donnée d'adresses logiques est celle d'une adresse logique de seize bits, c'est-à-dire de zéro à 65 535. Ainsi, chaque zone d'adresses logiques comprend soixante-quatre pages logiques de 1 024 mots chacune.

Dans le système de mémoire qui fait l'objet de la présente invention, aucune correspondance n'est requise entre une page logique et une page physique. Par contre, les diverses pages logiques composant un programme de système en fonctionnement ou un programme d'utilisateur n'ont pas besoin de se trouver dans des pages physiques contiguës. En outre, alors qu'il est nécessaire que les pages logiques soient dans la mémoire physique centrale, elles peuvent être dans la mémoire auxiliaire.

Ceci permet de mettre en application une disposition de mémoire virtuelle.

Une mémoire virtuelle offre deux avantages.

Tout d'abord, une mémoire virtuelle permet d'utiliser un espace en mémoire centrale physique qui est inférieur à celui qu'exigeraient les zones d'adresses logiques, car la mémoire physique peut être complétée par une mémoire physique auxiliaire.

Ensuite, une mémoire virtuelle permet à des espaces d'adresses de plusieurs utilisateurs (multiprogrammation) d'utiliser en commun la mémoire physique et chaque utilisateur n'a pas à s'occuper de l'affectation de la mémoire physique entre le système d'exploitation, lui-même ou d'autres utilisateurs.

Le système de mémoire qui fait partie de la présente invention fournit une protection entre les usagers dans le cadre d'une exploitation en multiprogrammation en garantissant qu'un programme d'utilisateur ne peut extraire des données de ni introduire des données dans l'espace en mémoire du programme d'un autre utilisateur. Ceci est effectué par le système d'organisation en pages et de relevé. Lorsqu'un programme d'utilisateur est en cours d'exécution, le relevé pour ce programme d'utilisateur ne signale que les pages de la mémoire (soixante-quatre pages de code et soixante-quatre pages de données) pour ce programme particulier d'utilisateur. Ce programme particulier d'utilisateur ne peut adresser en dehors de son propre espace d'adresse logique et, par conséquent, il ne peut introduire des données dans ni extraire des données de l'espace en mémoire du programme d'un autre utilisateur.

Le fait que les pages de code ne soient pas modifiables empêche également l'autodestruction d'un programme d'utilisateur.

Ainsi, il existe deux niveaux de protection des programmes d'utilisateurs fonctionnant dans le cadre d'une exploitation en multiprogrammation, à savoir le fait que chaque relevé d'utilisateur ne signale que ses propres pages en mémoire et le fait que les pages de code ne sont pas modifiables. En outre, dans la présente invention, cette protection est réalisée sans registres à limites de protection ou par des clés de garde souvent utilisées dans l'art antérieur.

La traduction requise d'une adresse logique de seize bits en une adresse physique de dix-huit bits est effectuée par un plan de relevé. Formant une partie de ce plan de relevé, un nombre de pages physiques est obtenu par une opération de con-

sultation à l'intérieur d'un relevé. Ce nombre de pages physiques est ensuite combiné à l'adresse à l'intérieur d'une page afin de former l'adresse complète de la mémoire physique.

5 Seul le numéro de la page est traduit. Le décalage ou adresse dans une page n'est jamais modifié dans le relevé.

Dans la présente invention, il y a quatre zones de relevé. Chaque zone de relevé correspond à l'une des quatre zones d'adressage logique (données de l'utilisateur, données du système, code de l'utilisateur et code du système).

10 La division de l'adresse logique en ces quatre zones séparées et distinctes présente des avantages significatifs.

La division permet d'isoler les programmes des données, de sorte que les programmes ne sont jamais modifiés. Cette division permet d'isoler également les programmes et les données
15 du système des programmes et des données de l'utilisateur, ce qui assure la protection du système d'exploitation contre les erreurs de l'utilisateur.

Les quatre zones de relevé sont désignées comme suit :

20 Relevé 0 - relevé des données de l'utilisateur. Toutes les adresses transmises aux zones des données variables de l'utilisateur sont traduites par l'intermédiaire de ce relevé des données de l'utilisateur.

Relevé 1 - relevé des données du système. Le relevé des données du système est analogue au relevé des données de l'utilisateur et, en outre, toutes les références à la mémoire faites
25 par le canal d'entrées-sorties, le microprogramme de gestion de la ligne entre processeurs ou le microprogramme de gestion d'interruption signalent ce relevé. Ce relevé des données du système fournit un accès du canal à l'ensemble de la mémoire physique
30 par l'intermédiaire d'un seul mot d'adresse de seize bits.

Relevé 2 - relevé du code de l'utilisateur. Ce relevé définit le programme de l'utilisateur en cours d'exécution. Toutes les instructions de l'utilisateur et les données constantes sont
35 obtenues par l'intermédiaire de ce relevé du code de l'utilisateur.

Relevé 3 - relevé du code du système. Ce relevé définit le programme du système d'exploitation. Toutes les instructions du système d'exploitation et des données constantes sont obtenues
40 par l'intermédiaire de ce relevé du code du système.

Chaque zone de relevé comporte soixante-quatre entrées

correspondant aux soixante-quatre pages possibles de chaque zone d'adresse logique. Chaque entrée contient l'information suivante.

5 1) La zone du numéro de la page physique (qui peut avoir une valeur de zéro à 255).

2) Un bit d'impairité pour l'entrée de la mémoire. Le bit de parité est créé par la logique du relevé chaque fois qu'une entrée de relevé est enregistrée.

10 3) Une zone historique de référence. La zone historique de référence comprend des bits de référence, et le bit de poids fort des bits de référence est mis à "un" par toute utilisation de la page correspondant à l'entrée du relevé.

15 4) Un bit-clé. Le bit-clé est mis à "un" lorsqu'un accès d'enregistrement à la page correspondante de la mémoire est réalisé.

20 Les bits de référence et le bit-clé sont utilisés par la fonction de gestion de la mémoire du système d'exploitation afin de faciliter la sélection d'une page pour le recouvrement. Le bit-clé fournit également un moyen d'éviter d'inutiles introductions de pages de données dans la mémoire auxiliaire.

25 5) Un bit d'absence. Le bit d'absence est mis initialement à "un" par le système d'exploitation pour signaler l'absence d'une page de la mémoire centrale. Un accès à une page comportant ce bit mis à "un" provoque une interruption du programme de gestion d'interruption pour faute de page du système d'exploitation, afin de déclencher la fonction de gestion de la mémoire virtuelle du système d'exploitation. Le bit d'absence sert également de mécanisme de protection pour empêcher l'accès erroné par un programme en dehors de sa zone d'adresse logique prévue dans le cas soit du code soit des données.

30 Trois instructions sont utilisées par le système d'exploitation en liaison avec le relevé. Ces trois instructions sont l'instruction d'insertion dans une entrée de relevé SMAP, l'instruction de lecture d'une entrée de relevé RMAP et l'instruction de décalage d'une entrée de relevé AMAP.

35 L'instruction d'insertion dans une entrée de relevé SMAP est utilisée par la fonction de gestion de la mémoire du système d'exploitation pour insérer les données dans une entrée du relevé. Cette instruction requiert deux paramètres, à savoir l'adresse d'entrée du relevé et les données à insérer.

40

L'instruction de lecture d'une entrée de relevé RMAP utilisée par la fonction de gestion de la mémoire du système d'exploitation pour lire une entrée de relevé. Cette instruction requiert un paramètre, l'adresse d'entrée de relevé, et le résultat renvoyé par l'instruction est le contenu de l'entrée du relevé.

L'instruction de décalage d'une entrée de relevé AMAP produit le décalage de la zone historique de référence d'une entrée de relevé, d'une position vers la droite. Cette instruction est utilisée par la fonction de gestion de la mémoire du système d'exploitation pour maintenir l'information historique de référence afin de faciliter la sélection d'une page pour le recouvrement.

Une interruption pour faute de page fournie par le bit d'absence a lieu lorsqu'une référence est faite à une page qui ne figure pas généralement dans la mémoire centrale ou qui ne fait pas partie de la zone d'adresse logique de programme ou de ses données. Lorsqu'une faute de page est détectée, il se produit une interruption par l'intermédiaire du programme de gestion d'interruption pour faute de page du système d'exploitation.

La séquence d'interruption pour faute de page comprend les événements suivants :

1. Une référence d'adresse est faite à une page qui est absente de la mémoire physique (le bit d'absence est mis à "un").

2. L'interruption pour faute de page a lieu. Le microcode du programme de gestion d'interruption introduit un paramètre d'interruption indiquant le numéro de relevé et le numéro de page logique dans une adresse de mémoire connue du système d'exploitation. Le cadre d'exploitation en cours est conservé dans une marque de pile d'interruption dans la mémoire.

3. Le programme de gestion d'interruption pour faute de page se déroule. Si la faute de page s'est produite du fait d'une référence en dehors de la zone d'adresse logique du programme, ce dernier se termine alors avec un état d'erreur. D'autre part, si une faute de page s'est produite du fait que la page logique était absente de la mémoire physique centrale (mais présente dans la mémoire auxiliaire), le processus du système d'exploitation se déroule de manière à extraire la page absente de la mémoire auxiliaire (habituellement à disques)

pour l'introduire dans une page disponible de la mémoire centrale. Cette information de page physique et un bit d'absence à zéro sont insérés dans l'entrée du relevé. Lorsque cette fonction de gestion de la mémoire est complète, le cadre d'exploitation qui a provoqué la faute de page est remis dans l'état initial.

4. L'instruction ayant provoqué précédemment la faute de page est exécutée de nouveau. Puisque le bit d'absence dans l'entrée du relevé de la page logique a été mis maintenant à "zéro", une faute de page ne se produira pas, l'adresse de page est traduite en page physique juste introduite depuis la mémoire auxiliaire, et l'instruction prend fin.

Comme on l'a noté ci-dessus, le canal d'entrées-sorties accède à la mémoire par l'intermédiaire de sa propre entrée.

Les transmissions de données vers et depuis la mémoire par le canal d'entrées-sorties se font par l'intermédiaire du relevé des données du système. Ce qui revient à dire que les adresses logiques de seize bits fournies par le canal d'entrées-sorties sont traduites en une adresse physique de dix-huit bits au moyen du relevé des données du système.

Ainsi, la disposition du relevé permet l'accès des entrées-sorties à un plus grand nombre de mots de la mémoire physique que son compteur d'adresse ne le permettrait normalement.

Dans un exemple particulier de réalisation de la présente invention, on peut accéder à 262 144 mots de la mémoire physique (pour une adresse de dix-huit bits) avec seulement une adresse logique de seize bits, en parcourant le relevé. L'information d'adresse supplémentaire (l'information de la page physique) est contenue dans le relevé et elle est fournie par le système d'exploitation avant que chaque transmission d'entrées-sorties ne soit déclenchée.

Comme le montrera mieux la description détaillée qui suit, la présente invention peut également s'appliquer facilement à une adresse physique de vingt bits.

La figure 34 est un schéma de fonctionnement montrant les détails de la mémoire 107 d'un module 33 de processeur et représentant également les connexions de la mémoire 107 à l'unité centrale 105 et au canal 109 d'entrées-sorties de ce module de processeur.

Comme le montre la figure 34, le système de mémoire 107 fournit à la fois à l'unité centrale 105 et au canal 109 d'en-

trées-sorties des entrées d'accès à la mémoire 107, et le canal 109 d'entrées-sorties n'est donc pas nécessaire pour accéder à la mémoire par l'intermédiaire de l'unité centrale 105.

5 La mémoire 107 comprend une logique 401 de commande de mémoire du relevé qui commande le début et la fin de l'accès aux modules 403 de la mémoire physique.

10 La mémoire 107 comprend également une partie 405 de circulation des données contenant des registres (comme l'indiquent les légendes de la figure 34 et dont une description détaillée est donnée ci-dessous) qui fournissent à la mémoire les données à enregistrer et qui contiennent les données extraites de la mémoire.

15 La mémoire 107 comprend également une partie 407 de relevé. Cette dernière partie inclut les registres d'adresses logiques venant de l'unité centrale et du canal, et une mémoire 409 à relevé à partir de laquelle sont obtenus les numéros des pages physiques.

20 La partie 407 de relevé contient ainsi un registre 411 d'adresse de la mémoire du processeur PMA et un registre 129 d'adresse de la mémoire du canal CMA.

Ces deux registres sont connectés à un sélecteur d'adresse 415.

25 Le sélecteur d'adresse 415 est connecté au relevé 409 par une ligne 417 d'adresse de page logique et le sélecteur d'adresse 415 est également connecté directement aux modules de la mémoire par une ligne 419 de décalage de page.

30 Comme l'indiquent les chiffres 8 et 10 contigus aux lignes 417 et 419, la ligne 417 d'adresse de page logique transmet les huit bits de poids fort au relevé 409 en vue de leur traduction en un numéro de page physique, tandis que la ligne 419 de décalage de page transmet les dix bits de poids faible (d'une adresse de dix-huit pages venant du sélecteur d'adresse 415) aux modules 403 de la mémoire.

35 Une ligne 421 de sortie fournit aux modules 403 l'adresse des pages physiques. Cette ligne de sortie 421 contient les huit bits de poids fort traduits pour l'adresse de la page physique.

40 La partie 405 de circulation des données contient les registres suivants : un registre 423 des données de la mémoire du processeur PMD, un registre 425 des données de la mémoire du canal CMD, un registre 431 d'instruction suivante NI, un registre

433 des données de la mémoire MD et un registre 125 des données du canal CD.

Les sorties des registres PMD et CMD sont envoyées à un sélecteur 427 de données. Ce sélecteur 427 de données comporte une
5 ligne de sortie 429 qui fournit les données à introduire en mémoire dans les modules 403.

Les données extraites de l'un des modules 403 de la mémoire sont introduites par une ligne 437 dans l'un des trois registres de données NI, MD et CD.

10 Comme le montre la figure 34, la logique 401 de commande de la mémoire à relevé est également connectée à chacun des modules 403 de la mémoire par une ligne 439. Cette ligne 439 comprend des lignes d'instructions qui déclenchent les opérations
15 d'extraction ou d'enregistrement, des signaux de fin d'opération venant des modules de la mémoire, et des indicateurs ou drapeaux d'erreurs.

On se reportera maintenant à la figure 35. La partie 407 de relevé comprend, outre le relevé 409, un registre 441 de mémoire à relevé, une bascule 443 de sortie du relevé, un registre 445
20 de données de la mémoire à relevé MMD, un sélecteur 447 de données de relevé, un générateur 449 de parité de relevé, un contrôleur 451 de parité de relevé, une logique 453 de bit de référence et une logique 455 de bit-clé.

La logique 401 de commande de la mémoire à relevé est représentée à la figure 35 comme étant associée avec la partie 407
25 de relevé par l'intermédiaire des lignes 457 d'acheminement des signaux de commande.

La logique 401 de commande de la mémoire à relevé commande le chargement des registres et la sélection des registres par
30 les sélecteurs, commande le déclenchement des opérations des modules 403 de la mémoire (en liaison avec les sorties d'absence de relevé et d'erreur de parité), et fournit les interruptions à l'unité centrale 105 (comme l'indiquent les signaux de faute de page et d'interruption pour erreur de parité du relevé re-
35 présenté par les légendes à la figure 35). Toutes ces opérations seront décrites plus en détail ci-dessous.

Dans un exemple particulier de réalisation de la présente invention, le système de mémoire représenté aux figures 34 et 35
40 utilise une zone d'adresse de page physique de huit bits et un décalage de page de dix bits qui se combinent pour donner un

total de dix-huit bits. Comme on l'a noté ci-dessus, les nombres 8, 10, 12, 13, 14 et 18 qui ne figurent pas entre parenthèses sur certaines lignes des figures 34 et 35, se rapportent à cet exemple particulier de réalisation à dix-huit bits de la présente invention. Cependant, le système de mémoire peut être facilement étendu à un exemple de réalisation à vingt bits (avec une adresse de page physique de dix bits) et ceci est indiqué par les nombres 10, 12, 14, 15, 16 et 20 qui figurent entre parenthèses sur les mêmes lignes de la figure 35.

10 La figure 36 illustre la structure de la mémoire logique en quatre zones d'adresse logique séparées et distinctes 459, 461, 463 et 465. Ces quatre zones d'adresse logique sont : la zone 459 des données de l'utilisateur, la zone 461 des données du système, la zone 463 du code de l'utilisateur et la zone 465 du code du système.

La figure 36 illustre également les quatre parties du relevé correspondant aux zones d'adresse logique.

Ainsi, la partie 467 du relevé des données de l'utilisateur correspond à la zone 459 d'adresse logique des données de l'utilisateur, la partie 469 du relevé des données du système correspond à la zone 461 d'adresse logique des données du système, la partie 471 du relevé du code de l'utilisateur correspond à la zone 463 d'adresse logique du code de l'utilisateur et la partie 473 du relevé du code du système correspond à la zone 465 d'adresse logique du code du système.

Comme le montre également la figure 36, chaque partie du relevé comporte soixante-quatre entrées de pages logiques (page zéro à page soixante-trois), et chaque entrée du relevé comprend seize bits, comme le montre la seule entrée de relevé à grande échelle représentée à la figure 36.

Comme l'indiquent les légendes associées à l'entrée de relevé à grande échelle représentée à la figure 36, chaque entrée de relevé comprend une zone de numéro de page physique de dix bits, un seul bit de parité P, une zone historique de référence comprenant trois bits de référence R, S et T, un seul bit-clé D et un seul bit d'absence.

La zone de numéro de la page physique fournie par les dix bits de poids fort, donne le numéro de la page physique correspondant à la page logique imposée par le programme.

40 Le bit de parité P est toujours créé sous forme d'imparité

pour fournir un contrôle d'intégrité de données sur les contenus à l'entrée du relevé.

Les bits de la zone historique de référence R, S et T sont utilisés par la fonction de gestion de la mémoire du système d'exploitation afin de conserver l'information historique de référence pour sélectionner la page la moins récemment utilisée pour le recouvrement.

Le bit R est mis à "un" par n'importe quelle opération d'extraction ou d'enregistrement effectuée sur cette page logique.

Les bits S et T sont des bits d'enregistrement qui sont manipulés par l'instruction de décalage d'une entrée de relevé AMAP.

Le bit-clé D est mis à "un" par un accès d'enregistrement à cette page logique. Le système d'exploitation utilise le bit-clé pour déterminer si une page de données a été modifiée depuis qu'elle a été extraite en dernier lieu de la mémoire auxiliaire.

Le bit d'absence A est mis à "un" par le système d'exploitation pour signaler une page logique qui est absente de la mémoire centrale mais qui est présente dans la mémoire auxiliaire, ou pour signaler une page qui est en dehors de la zone d'adresse logique de cet utilisateur.

Les deux bits de poids fort, dans le cas de l'entrée de relevé représentée à la figure 36, ne sont pas utilisés dans l'exemple particulier de réalisation de la présente invention illustré par les dessins, mais ces deux bits sont utilisés lorsque l'adresse physique complète de vingt bits est utilisée.

Comme on l'a noté ci-dessus, ces instructions sont utilisées par le système d'exploitation en liaison avec le relevé. Ces trois instructions sont l'instruction d'insertion des données dans une entrée de relevé SMAP, l'instruction de lecture d'une entrée de relevé RMAP et l'instruction de décalage d'une entrée de relevé AMAP.

L'instruction SMAP est utilisée par la fonction de gestion de la mémoire du système d'exploitation pour insérer des données dans une entrée de relevé telle que celle qui est illustrée à la figure 36.

L'instruction SMAP est mise en oeuvre par le microprogramme 115, représenté à la figure 12, de l'unité centrale 105. Le microprogramme agit en liaison avec la logique 401 de commande de la mémoire à relevé, représentée à la figure 34, tout d'abord

pour sélectionner un emplacement dans le relevé 409 (à l'aide du premier paramètre de l'insertion) et ensuite pour insérer dans cet emplacement le deuxième paramètre de l'instruction, c'est-à-dire les nouvelles données d'entrée du relevé.

5 En fonctionnement, comme le montre la figure 35, dans le premier stade de la séquence, le microprogramme 115 charge les nouvelles données d'entrée du relevé dans le registre 423 des données de la mémoire du processeur PMD.

10 Dans le stade suivant de la séquence, l'adresse du relevé y compris les deux bits de poids fort destinés à la sélection du relevé, est chargée dans le registre 411 d'adresse de la mémoire du processeur PMA.

15 A ce moment-là, les deux paramètres d'instruction, contenant l'adresse d'entrée du relevé et les données à insérer, ont été chargés dans leurs registres respectifs 411 et 423.

20 Ensuite, le microprogramme 15 de l'unité centrale 105 déclenche une séquence d'opérations d'enregistrement de relevé de la logique 401 de commande de la mémoire à relevé. Cette séquence d'opérations d'enregistrement de relevé est déclenchée après que les opérations précédentes de la mémoire ont été terminées.

Les stades de la séquence d'opérations notés ci-dessus ont été tous accomplis par le microprogramme (microinstructions).

25 Les autres actions de l'instruction d'insertion des données dans une entrée de relevé SMAP sont accomplies par la logique de commande de la mémoire à relevé. Ainsi, les autres actions sont toutes accomplies automatiquement par le matériel.

30 Dans la séquence d'opération d'enregistrement de relevé, l'adresse du relevé est transmise du registre d'adresse de la mémoire du processeur PMA au relevé 409, par l'intermédiaire du sélecteur 415 d'adresse et de la ligne 417. Seuls les huit bits de poids fort (la sélection du relevé et l'adresse du relevé) sont utilisés dans cette opération.

35 Les deux bits de poids fort indiquent la sélection du relevé, que ce soit les données de l'utilisateur, les données du système, le code de l'utilisateur ou le code du système.

40 Les dix bits de poids faible de la ligne d'adresse logique venant du sélecteur 415 d'adresse ASEL (bits qui constituent le décalage dans une page pour un accès d'extraction de la mémoire ou d'enregistrement en mémoire) ne sont pas utilisés dans cette opération.

Pendant que le relevé est adressé comme on l'a décrit ci-dessus, les nouvelles données du relevé sont transmises du registre 423 des données de la mémoire du processeur PMD au générateur 449 de parité de relevé et au relevé 409, par l'intermédiaire du sélecteur 447 de données du relevé. Le générateur de parité de relevé calcule l'imparité à partir des nouvelles données du relevé et fournit ce bit de parité au relevé.

A ce moment-là, la logique 401 de commande de la mémoire à relevé envoie au relevé 409 un signal d'échantillonnage d'enregistrement dans le relevé, par l'une des lignes repérées par la référence 457 à la figure 35, ce qui produit l'enregistrement des nouvelles données et de la nouvelle parité dans la partie sélectionnée du relevé, à l'entrée particulière du relevé sélectionnée par l'adresse de la page logique dans la ligne 417.

Cette opération termine la séquence d'instruction d'insertion de données dans une entrée du relevé SMAP.

A la fin de cette instruction d'insertion de données dans une entrée du relevé SMAP, la partie appropriée du relevé a été sélectionnée, l'entrée particulière de la page logique dans cette partie du relevé a été sélectionnée, les données et l'imparité calculée ont été fournies au relevé, et le signal d'échantillonnage d'enregistrement dans le relevé a produit l'enregistrement des données à l'entrée souhaitée du relevé.

L'instruction d'insertion des données dans une entrée du relevé SMAP est utilisée par le système d'exploitation pour initialiser chaque entrée de page logique dans chacune des quatre parties du relevé, suivant les exigences.

Une utilisation de l'instruction d'insertion de données dans le relevé consiste donc à insérer une adresse de page physique afin qu'une page logique fournisse la traduction des numéros de pages logiques en numéros de pages physiques après qu'une page a été transférée à partir de la mémoire auxiliaire.

Une autre utilisation de l'instruction d'insertion de données dans le relevé consiste à mettre à "un" un bit d'absence pour une page logique transférée dans la mémoire auxiliaire.

L'instruction de lecture d'une entrée du relevé RMAP est utilisée par la fonction de gestion de la mémoire du système d'exploitation pour interroger le contenu d'une entrée de relevé.

Dans cette instruction de lecture d'une entrée du relevé

RMAP, le microprogramme 115 de l'unité centrale 105 agit en liaison avec la logique 401 de commande de la mémoire à relevé pour sélectionner, à l'aide du paramètre de l'instruction, un emplacement dans le relevé 409 et pour le renvoyer à la pile 112 du registre, à la figure 12, sous la forme d'un résultat du contenu de cette entrée de relevé.

Dans l'exécution de l'instruction de lecture d'une entrée du relevé RMAP, comme le montre la figure 35, le microprogramme 115 charge l'adresse du relevé, y compris les deux bits de poids fort pour la sélection du relevé, dans le registre 411 d'adresse de la mémoire du processeur PMA. Le microprogramme 115 déclenche ensuite une séquence d'opérations de lecture de relevé de la logique 401 de commande de la mémoire à relevé.

Cette séquence est accomplie ensuite par le matériel et, dans cette séquence, l'adresse du relevé est transmise du registre 411 d'adresse de la mémoire du processeur PMA au relevé 409, par l'intermédiaire du sélecteur 415 d'adresse. De nouveau, seuls les bits de sélection de relevé et d'adresse de page sont utilisés dans cette séquence.

Le contenu de l'entrée du relevé sélectionnée est transmis du relevé 409 au contrôleur 451 de parité de relevé, comme le montre la figure 35, et à la bascule 443 de sortie du relevé. Le contrôleur 451 de parité de relevé compare le bit de parité venu de l'entrée du relevé avec l'imparité calculée à partir des données.

Si la parité n'est pas correcte, l'adresse du relevé est chargée dans le registre 441 de pages de relevé et le signal d'erreur de parité du relevé détermine une indication d'erreur qui produit à l'unité centrale 105 une interruption pour erreur de parité du relevé.

D'autre part, si la parité est correcte, les données d'entrée du relevé sont chargées de la bascule 443 de sortie du relevé dans le registre 445 de données de la mémoire à relevé MMD.

Enfin, le résultat de l'instruction est que le microprogramme de l'instruction de lecture d'entrée de relevé RMAP renvoie à la pile de registre 112, représentée à la figure 12, les données qui sont dans le registre 445 de données de la mémoire à relevé MMD.

A la fin de l'instruction de lecture d'entrée de relevé RMAP, la partie appropriée du relevé a été sélectionnée, l'en-

trée de la page logique particulière dans cette partie du relevé a été sélectionnée et le contenu de cette entrée de relevé a été extrait du relevé et renvoyé, à la suite de l'instruction, à la pile du registre de l'unité centrale.

5 Les utilisations de l'instruction de lecture d'entrée de relevé RMAP sont les suivantes :

La fonction principale de cette instruction de lecture d'entrée de relevé RMAP est de permettre au système d'exploitation d'interroger la zone historique de référence et le bit-clé d'une entrée de relevé (voir le format de l'entrée de relevé représenté à la figure 36) afin de déterminer une page en vue du recouvrement (comme le montrera mieux la description de l'opération suivante).

15 L'instruction de lecture d'entrée de relevé RMAP est également utilisée dans des diagnostics afin de déterminer si la mémoire à relevé fonctionne correctement.

L'instruction de décalage d'une entrée de relevé AMAP est utilisée par la fonction de gestion de la mémoire du système d'exploitation pour maintenir l'information historique utile de référence dans le relevé. Cette information historique de référence est maintenue dans le relevé par les entrées du relevé (les bits R, S et T du format d'entrée du relevé représenté à la figure 36), dans une partie du relevé qui sont "décalées" d'une manière caractéristique après chaque interruption pour faute de page dans cette partie du relevé.

25 Cette instruction de décalage d'une entrée de relevé AMAP comporte un seul paramètre qui est l'adresse de relevé indiquant l'emplacement de relevé à décaler.

Dans l'exécution de l'instruction de décalage d'une entrée de relevé AMAP, le microprogramme 115 de l'unité centrale 105 sélectionne un emplacement de relevé au moyen du paramètre d'adresse du relevé de l'instruction. Le microprogramme 115 charge le paramètre d'adresse du relevé dans le registre d'adresse de la mémoire du processeur PMA exactement comme dans l'instruction de lecture d'une entrée de relevé RMAP.

35 A ce stade, une séquence d'opérations de lecture de relevé de la logique 401 de commande de la mémoire à relevé est déclenchée et cette séquence se poursuit exactement comme dans l'instruction de lecture d'une entrée de relevé RMAP décrite ci-dessus.

Le microprogramme 115, représenté à la figure 12, lit le contenu de l'entrée du relevé venant du registre 445 de données de la mémoire à relevé MMD, représenté à la figure 35, extrait la zone historique de référence (les bits R, S et T de référence 10, 11 et 12 représentés à la figure 36), décale la zone vers la droite d'une position et réinsère la zone pour former les nouvelles données d'entrée du relevé. Ainsi, un zéro a été introduit dans le bit R, le bit R a été introduit par décalage dans le bit S, le bit S a été introduit par décalage dans le bit T, et l'ancien bit T est perdu.

Le microprogramme 115 prend alors l'entrée modifiée du relevé, charge ces nouvelles données dans le registre 423 de données de la mémoire du processeur PMD, représenté à la figure 34, et réintroduit les nouvelles données d'entrée du relevé dans l'entrée du relevé sélectionnée, comme dans la séquence d'insertion des données dans une entrée du relevé SMAP.

Ces opérations terminent l'instruction de décalage d'une entrée de relevé AMAP.

Le résultat de l'instruction de décalage d'une entrée de relevé AMAP est le suivant : une entrée de relevé a été extraite du relevé, sa zone historique de référence a été décalée et cette entrée modifiée a été réinsérée dans l'emplacement sélectionné du relevé.

Comme on l'a noté précédemment, le bit R est mis à "un" par n'importe quelle référence de la mémoire à la page logique correspondante, de sorte que lorsque ce bit est à l'état "un", c'est une indication que cette page a été utilisée depuis la dernière instruction d'insertion de données dans une entrée de relevé SMAP ou de décalage d'une entrée de relevé AMAP.

Cette mise à "un" du bit R en liaison avec l'instruction de décalage d'une entrée de relevé AMAP fournit un moyen de maintenir l'information concernant la fréquence d'utilisation dans la zone historique de référence du relevé.

La zone historique de référence de toutes les entrées de relevé dans un relevé donné est décalée de manière caractéristique après une interruption pour faute de page. Ainsi, la valeur de la zone de référence de trois bits dans une entrée de relevé est une indication de la fréquence d'accès depuis les trois interruptions précédentes pour faute de page.

Par exemple, une valeur binaire de sept (les trois bits de

référence étant tous mis à "un") indique des accès dans chacun des intervalles entre les interruptions précédentes pour faute de page.

5 Une valeur binaire de quatre dans la zone historique de référence (le bit R étant à l'état "un" et les bits S et T à l'état "zéro") indique un accès dans l'intervalle depuis la dernière interruption pour faute de page et elle indique qu'il n'y a pas eu d'accès dans les intervalles qui précèdent la plus récente interruption pour faute de page.

10 Citons un dernier exemple. Une valeur binaire de zéro pour la zone de référence de trois bits indique qu'il n'y a pas eu d'accès à cette page logique dans aucun des trois intervalles depuis les trois dernières interruptions pour faute de page.

15 Ainsi, plus le nombre binaire représenté par la zone historique de référence de trois bits est élevé, plus la fréquence d'accès récents à cette page logique est élevée.

20 Cette information historique de référence est maintenue de sorte que, lorsqu'il faut sélectionner une page pour le recouvrement, une page qui n'a pas été utilisée fréquemment dans le récent passé peut être identifiée. Une page qui n'a pas livré d'accès fréquents dans le récent passé est susceptible de continuer ce comportement et cette page ne devra donc probablement pas être réintroduite en mémoire après avoir été recouverte.

25 Cette information historique concernant la fréquence d'utilisation est utilisée par la fonction de gestion de la mémoire du système d'exploitation afin de sélectionner les pages non fréquemment utilisées pour le recouvrement, de manière à réduire au minimum les transferts à partir de la mémoire auxiliaire et mettre en oeuvre un système efficace de mémoire virtuelle.

30 Comme on l'a noté ci-dessus, l'accès à la mémoire peut se faire par l'unité centrale ou par le système d'entrées-sorties.

35 On décrira maintenant l'action du système de mémoire et du relevé pendant une séquence d'accès à la mémoire par l'unité centrale. La séquence d'accès est similaire pour les divers accès à la mémoire par l'unité centrale, tels que l'enregistrement des données, l'extraction des données ou l'extraction des instructions depuis la mémoire.

40 La séquence d'accès à la mémoire par l'unité centrale

est déclenchée par le microprogramme 115 de l'unité centrale ou par la logique de prise en charge des instructions de l'unité centrale. Dans un cas ou dans l'autre, l'unité centrale 105 charge une adresse logique de dix-huit bits dans le registre 5 411 d'adresses de la mémoire du processeur PMA et elle déclenche une séquence d'opérations d'extraction de données, d'enregistrement de données ou d'extraction d'instructions de la logique 401 de commande de la mémoire à relevé.

L'adresse logique de dix-huit bits se compose de deux bits 10 de poids fort de sélection d'espace d'adresse logique et de seize bits de poids faible définissant un emplacement dans cet espace d'adresse logique. Les deux bits de sélection peuvent être déterminés par le microprogramme 115 de l'unité centrale ou ils peuvent être créés automatiquement dans l'unité centrale, 15 sur la base des contenus des registres d'instruction I et de conditions d'exploitation E.

L'adresse logique de dix-huit bits comprend également, en plus des deux bits de poids fort de sélection d'adresse logique, six bits qui déterminent la page logique dans le relevé sélectionné et dix bits de poids faible qui déterminent le décalage 20 au sein de la page dans le relevé sélectionné.

Dans la séquence d'opérations d'extraction de données, d'enregistrement de données ou d'extraction d'instructions de la logique 401 de commande de la mémoire à relevé, après que toute 25 opération précédente du relevé ou de la mémoire a été terminée, l'adresse de dix-huit bits contenue dans le registre 411 d'adresses de la mémoire du processeur PMA, représenté à la figure 35, est transmise aux lignes 417 et 419, représentées aux figures 34 et 35, par l'intermédiaire du sélecteur 415 d'adresse.

30 La ligne 419 transmet la partie de décalage de page de l'adresse. Cette partie de décalage de page de l'adresse est transmise directement aux modules 403 de la mémoire physique, représentés à la figure 34, par la ligne 419.

35 La ligne 417 transmet la partie d'adresse de page logique (qui doit être traduite en une adresse de page physique) au relevé 409.

L'entrée du relevé sélectionnée par l'adresse de page logique est extraite du relevé 409 et transmise à la logique 401 de commande de la mémoire à relevé de la figure 34, au 40 contrôleur 451 de parité de relevé de la figure 35 et à la

bascule⁴⁴³ de sortie du relevé.

Si le bit d'absence est à l'état "un", l'adresse de la page logique est chargée dans le registre 441 des pages du relevé, un signal d'interruption pour faute de page est transmis à l'unité centrale 105 et la logique 401 de commande de la mémoire à relevé met fin à la séquence d'accès à la mémoire.

De même, si le contrôleur 451 de parité détecte une parité incorrecte dans l'entrée du relevé, l'adresse de la page logique est chargée dans le registre 441 de pages de relevés, un signal d'erreur de parité de relevé est transmis à l'unité centrale et la séquence d'accès à la mémoire est terminée.

D'autre part, s'il n'y a pas d'erreur, l'adresse de la page physique est transmise de la bascule 443 de sortie du relevé aux modules 403 de la mémoire physique par l'intermédiaire de la ligne 421; et la logique 401 de commande de la mémoire à relevé émet une instruction dans la ligne 439 pour amener le module 403 de mémoire sélectionné à exécuter une opération d'extraction ou d'enregistrement.

Dans une opération d'enregistrement dans l'unité centrale, les données à enregistrer sont transmises du registre 423 de données de la mémoire du processeur PMD, par l'intermédiaire du sélecteur 427 de données, au module de mémoire dans la ligne 429.

Pendant que le module de mémoire effectue une opération d'extraction ou d'enregistrement, la logique 401 de commande de la mémoire à relevé provoque la modification et le réenregistrement des données d'entrée du relevé.

Les données d'entrée du relevé, sans le bit de parité P ou le bit de référence R, sont transmises de la bascule 443 de sortie du relevé à la logique 455 du bit-clé représenté à la figure 35, et au sélecteur 447 de données du relevé.

Dans cette opération, la zone de la page physique d'une entrée de relevé, représentée en détail à grande échelle dans la partie inférieure droite de la figure 36, et les bits S et T de la zone de référence ainsi que le bit d'absence sont toujours réenregistrés sans modification.

Si une opération d'enregistrement de données dans l'unité centrale est en cours d'exécution, le bit-clé D fourni au sélecteur de données du relevé est mis à "un" par la logique 455 du bit-clé. Sinon, le bit-clé n'est pas modifié.

Le bit R de référence fourni au sélecteur de données du re-

levé par la logique 453 du bit de référence est mis à "un", soit dans une opération d'extraction, soit dans une opération d'enregistrement.

5 La zone de la page physique et les bits S, T et A ne sont pas modifiés, comme on l'a noté ci-dessus.

Le sélecteur 447 de données du relevé fournit ces nouvelles données du relevé au générateur 449 de parité et au relevé 409.

Un bit d'imparité est créé à partir des nouvelles données par le générateur 449 de parité, comme le montre la figure 35.

10 Un signal d'échantillonnage d'enregistrement de relevé venant de la logique 401 de commande de la mémoire à relevé provoque ensuite l'enregistrement des nouvelles données et de la nouvelle parité dans l'entrée du relevé sélectionnée par la ligne 417 d'adresse de la page logique.

15 Ainsi, la page logique a été traduite par l'intermédiaire de l'entrée du relevé, et cette dernière a été réenregistrée avec des bits de parité, de référence et de clé mis à jour.

Lorsque le module 403 de la mémoire physique termine son opération d'extraction ou d'enregistrement, il envoie, par la
20 ligne 439, un signal de fin d'opération à la logique 401 de commande de la mémoire à relevé. Voir figure 34.

Dans une opération d'extraction, le module 403 de la mémoire dirige les données de la mémoire vers la ligne 437, comme le montre la figure 34.

25 Dans une séquence d'opérations d'extraction de données, les données sont chargées dans le registre 433 de données de la mémoire MD, représenté à la figure 34, pour être utilisées par l'unité centrale 205.

Dans une séquence d'opérations d'extraction d'instructions,
30 les données sont chargées dans le registre 431 d'instruction suivante NI pour une exécution ultérieure par l'unité centrale 105.

Les accès à la mémoire de l'unité centrale pour l'extraction de données, l'enregistrement de données et l'extraction d'instructions sont ainsi complétés comme on l'a décrit ci-dessus.
35

Un accès au canal d'entrées-sorties pour l'extraction ou l'introduction de données en mémoire se fait de manière analogue à un accès à la mémoire de l'unité centrale, comme on l'a décrit ci-dessus, avec cependant les exceptions suivantes.

40 Le registre 129 d'adresses de la mémoire du canal CMA repré-

senté à la figure 34, est utilisé pour fournir l'adresse logique et ce registre indique toujours le relevé 469 des données du système. Voir figure 35.

5 Le registre 425 de données de la mémoire du canal CMD représenté à la figure 34, est utilisé pour fournir les données à la mémoire dans une opération d'enregistrement.

Le registre 125 de données du canal CD, représenté à la figure 34, est utilisé pour recevoir les données venant de la mémoire dans une opération d'extraction.

10 Dans le cas d'un accès à la mémoire du canal 109 d'entrées-sorties, cet accès est toujours un accès d'extraction de données ou d'introduction de données en mémoire, et il n'y a aucun accès d'extraction d'instructions comme dans le cas d'un accès à l'unité centrale.

15 En outre, la parité du relevé et les conditions d'absence sont transmises au canal 109 d'entrées-sorties, si elles se produisent dans le cas d'un accès à la mémoire du canal d'entrées-sorties.

20 Comme on l'a noté en plusieurs points ci-dessus, les modules 403 de mémoire sont constitués d'une mémoire à semiconducteurs ou d'une mémoire à tores.

25 Lorsque la mémoire est une mémoire à tores, les erreurs sont détectées par un système de détection d'erreurs de parité. Le système de détection d'erreurs de parité pour des modules de mémoire à tores détecte efficacement toutes les erreurs de bit unique. Les techniques classiques de création et de contrôle d'erreurs de parité sont utilisées et les détails de la mémoire à tores ne seront donc pas décrits.

30 La probabilité de défaillance d'une mémoire à semi-conducteurs est suffisamment élevée pour justifier un système de détection et de correction d'erreurs; la présente invention fournit un système de détection et de correction qui incorpore une zone de contrôle de six bits pour chaque mot de seize bits. Les figures 37 à 41 et la table 1 qui s'y rapporte, présentée ci-après, illustrent en détail le système de détection et de correction utilisé lorsque les modules 403 de la mémoire sont constitués d'une mémoire à semiconducteurs.

35 Le système de détection et de correction d'erreurs comprenant une zone de contrôle de six bits qui fait partie de la présente invention peut, comme on le décrira en détail ci-après, dé-

40

tecter et corriger toutes les erreurs de bit unique et ce système est également capable de détecter toutes les erreurs de bit double. En outre, la plupart des erreurs de trois ou plusieurs bits sont détectées.

5 Bien que le système de détection et de correction d'erreurs soit décrit en relation avec une mémoire à semiconducteurs, on doit noter que le système ne se limite pas et ne se réduit pas aux mémoires à semiconducteurs. Il est au contraire utile pour n'importe quelle application de stockage ou de transmission de données.

10 Un avantage important du système de détection et de correction d'erreurs qui fait partie de la présente invention résulte du fait que, non seulement les erreurs de bit unique sont corrigées, mais aussi que toute erreur suivante de bit double est détectée de manière sûre après la défaillance d'un bit unique.

15 Le système de traitement par multiprocesseurs comprenant le système de détection et de correction d'erreurs de la présente invention tolère donc des défaillances d'un composant unique et il peut être exploité avec des défaillances de bit unique dans la mémoire à semiconducteurs, jusqu'au moment où il est com-
20 mode de réparer la mémoire.

Le système de détection et de correction d'erreurs utilise un code binaire linéaire systématique, de distance de Hamming égale à quatre. Dans ce code, chaque bit de contrôle est une
25 combinaison linéaire de huit bits d'information, comme le montre la figure 38. De même, chaque bit d'information se compose d'exac-
tement trois bits de contrôle, comme le montre également la figure 38. Un avantage de ce code est qu'il permet d'obtenir une
couverture uniforme des bits d'information par les bits de con-
trôle.

30 Le système de détection et de correction d'erreurs constitue un exemple de réalisation d'un décodeur de syndrome qui fournit une combinaison de vitesse logique élevée et de compte de pièces peu élevé.

35 En résumé, le système de détection et de correction d'erreurs de la présente invention fonctionne de manière à ajouter six bits de contrôle à chaque mot d'information introduit en mémoire. Lorsqu'un mot d'information est ensuite extrait de la mémoire, la partie de la zone de contrôle du mot en mémoire est
40 utilisée pour identifier ou détecter la perte d'information dans

ce mot depuis le moment où il a été stocké en mémoire.

Dans une mémoire à semiconducteurs, deux mécanismes de perte d'information (erreur) sont possibles. L'un est une panne grave d'un dispositif de la mémoire qui rend ce dispositif incapable en permanence de conserver l'information, et l'autre est une panne légère dans laquelle le bruit électrique peut provoquer une perte passagère d'information.

La détection des erreurs est faite par un comparateur de bits de contrôle qui produit un syndrome de six bits. Le syndrome est la différence entre la zone de contrôle tirée du mot stocké et la zone de contrôle qui correspondrait normalement à la zone d'information tirée du mot stocké.

Le syndrome est ensuite analysé (décodé) afin de déterminer si une erreur s'est produite et, si c'est le cas, de déterminer le type de correction qui est nécessaire.

Dans le cas d'erreurs de bit unique d'information, la sortie du décodeur de syndrome amène un complémentateur de bits d'information à inverser le bit qui était erroné, cette information corrigée est fournie sous forme de sortie de ce module de mémoire.

Si le décodeur de syndrome indique une erreur multiple, le fait de l'erreur multiple est alors communiqué à la partie de commande de la mémoire à relevé, par l'intermédiaire de l'une des lignes d'erreur et de commande, afin d'interrompre l'unité centrale.

On se reportera maintenant à la figure 37. Le module 403 de mémoire inclut une partie 475 de logique de commande et de synchronisation et un ensemble 477 de mémoire à semi-conducteurs. L'ensemble 477 de mémoire permet de stocker 32 768 mots de vingt-deux bits chacun. Comme le montre la figure 37, chaque mot comporte une zone d'information de seize bits et une zone de contrôle de six bits.

Chaque module 403 de mémoire à semiconducteurs comporte également, comme le montre la figure 37, une bascule 479 de sortie, un générateur 481 de bits de contrôle, un comparateur 483 de bits de contrôle, un décodeur 485 de syndrome et un complémentateur 487 de bits d'information.

Le module 403 de mémoire est connecté au reste du système par l'intermédiaire des lignes de signaux et de données représentées à la figure 37. Ces lignes comprennent : la ligne 429

d'acheminement des données vers la mémoire, les lignes 439 de commande et d'erreur vers la partie 401 de commande de la mémoire à relevé, les lignes 419 et 421 d'adresse physique et la ligne 437 d'extraction des données de la mémoire. Ces lignes
5 de signaux et de données sont également représentées à la figure 34.

On continuera à se reporter à la figure 37. Le contenu de la bascule 479 de sortie est transmis, par une ligne 489, au comparateur 483 de bits de contrôle et au comparateur 487 de
10 bits d'information.

La sortie du comparateur 483 de bits de contrôle est transmise, par une ligne 491 de syndrome, au décodeur 485 de syndrome et à la partie logique 475 de commande et de synchronisation.

15 La sortie du décodeur 485 de syndrome est transmise, par une ligne 493, au complémentateur 487 de bits d'information.

D'autres sorties du décodeur 485 de syndrome sont transmises, par les lignes 495 et 497, à la partie logique 475 de commande et de synchronisation. La ligne 495 transmet un signal
20 d'ERREUR UNIQUE (erreur corrigible) et la ligne 497 transmet un signal d'ERREUR MULTIPLE (erreur incorrigible).

La logique 475 de commande et de synchronisation fournit des signaux de commande, par une ligne de commande 499, à l'ensemble 477 de mémoires à semiconducteurs et également à la bascule 479 de sortie.
25

La sortie du générateur 481 de bits de contrôle est transmise à l'ensemble 477 de mémoire par une ligne 501.

Comme le montre la figure 38, le générateur 481 de bits de contrôle comprend six arbres séparés 503 de parité de huit bits.
30

Comme le montre la figure 39, le comparateur 483 de bits de contrôle comprend six arbres séparés 505 de parité de neuf bits.

Comme le montre la figure 40, le décodeur de syndrome 485 comprend une partie 507 de décodeur et un arbre 509 de parité de six bits.
35

En se reportant toujours à la figure 40, on verra que les sorties de la partie 507 de décodeur et de l'arbre 509 de parité de six bits sont combinées dans la logique d'identification d'erreur repérée d'une manière générale par la référence
40

511.

Comme le montre la figure 41, le complémentateur 437 de bits comprend seize portes OU exclusif 513.

5 En fonctionnement, le mot contenant des données de seize bits est fourni par la ligne 428 à l'ensemble 477 de mémoire et également au générateur 481 de bits de contrôle. Voir figure 37.

Le générateur 481 de bits de contrôle, comme le montre le mieux la figure 38, crée six bits de contrôle C0 à C5, à l'aide de six arbres 503 de parité de huit bits.

10 Comme le montre également la figure 38, l'arbre 503 de parité de huit bits situé à l'extrême gauche crée le bit de contrôle C0, comme l'indique l'équation logique de C0 développée au bas de la figure 38. Le bit de contrôle C0 est donc le complément de la somme modulo deux des bits d'information 8 à 15.

15 Pour donner un autre exemple, le bit de contrôle C3 est créé par un arbre 503 de parité de huit bits, comme l'indique l'équation logique de C3 développée au bas de la figure 38. Le bit de contrôle C3 est la somme modulo deux des bits d'information 0, 1, 2, 4, 7, 9, 10 et 12, représentée par l'équation logique et illustrée également par les connexions entre l'arbre de
20 parité de huit bits et les lignes de bits d'information correspondantes dans le schéma logique en haut de la figure 38.

De même, chacun des autres bits de contrôle est créé par une addition modulo deux de huit bits d'information, comme le
25 montre le schéma logique en haut de la figure 38.

Pour effectuer une opération d'enregistrement en mémoire, ces six bits de contrôle créés ainsi par le générateur 481 de bits de contrôle, et les seize bits d'information transmis par la ligne 429 acheminant les données, sont introduits dans un
30 emplacement particulier de l'ensemble 477 de mémoire. Comme le montre la figure 37, les six bits de contrôle et les seize bits d'information sont introduits dans l'ensemble 477 de mémoire par la logique 475 de commande et de synchronisation et l'information d'adresse physique transmise par la ligne d'adresse physique 419 et 421.
35

Chaque mot enregistré dans l'ensemble 477 de mémoire comporte une zone de contrôle de six bits créée de la même manière pour chaque mot. Cette zone de contrôle est retenue avec le mot enregistré dans l'ensemble 477 de mémoire jusqu'au moment où
40 cet emplacement dans l'ensemble de mémoire est ensuite accé-

ble pour une opération d'extraction.

Lorsqu'un mot particulier doit être extrait de l'ensemble
477 de mémoire, la logique 475/^{de}commande et de synchronisation
et l'adresse transmise par la ligne d'adresse physique 419 et
5 421 provoquent un chargement du contenu de l'emplacement sélectionné de la mémoire dans la bascule 479 de sortie. Cette dernière a une largeur de vingt-deux bits afin de recevoir les seize bits d'information et la zone de contrôle de six bits.

De la bascule 479 de sortie, les seize bits d'information
10 et la zone de contrôle de six bits sont transmis au comparateur 483 de bits de contrôle, par une ligne 489.

Comme le montre la figure 39, le comparateur 483 de bits de contrôle forme six bits de syndrome S0 à S5.

Chaque bit de syndrome est la sortie d'un arbre 505 de parité de neuf bits dont les entrées sont composées de huit bits
15 d'information et d'un de contrôle. Chaque bit de syndrome est relié à un bit de contrôle numéroté de même. Ainsi, le bit de contrôle "zéro" est utilisé uniquement pour calculer le bit de syndrome "zéro", le bit de contrôle "un" est utilisé uniquement
20 pour calculer le bit de syndrome "un", etc.

Par exemple, le bit de syndrome "zéro" S0 est le complément de la somme modulo deux du bit de contrôle "zéro" et des bits d'information 8 à 15, comme le montre l'équation logique au bas de la figure 39.

De même, chacun des bits de syndrome S1 à S5 est créé à
25 partir de la somme modulo deux d'un bit de contrôle correspondant et de huit des bits d'information, comme le montrent les connexions aux lignes particulières de bits d'information pour chaque bit de syndrome dans la partie de schéma logique de la
30 figure 39.

La présence ou l'absence d'erreurs et les types d'erreurs, le cas échéant, sont indentifiés par la traduction de la valeur des six bits de syndrome dans la ligne 491.

La table 1 énumère les soixante-quatre valeurs possibles
35 du code de syndrome de six bits et elle donne la traduction de chaque valeur possible.

TABLE 1

CODE DE SYNDROME						ERREUR		ERREUR				
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S0	S1	S2	S3	S4	S5	
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	Ø
0	0	0	0	0	1		0		0	0	1	(Double)
	0		0	1	0		0		0	1	0	(Double)
	0		0	1	1		0		0	1	1	D8
	0	0	0	1	1		0		1	0	0	(Double)
	0		1	0	0		0		1	0	1	D9
	0		1	0	1		0		1	1	0	D10
	0		1	1	0		0		1	1	1	(Double)
0	0	0	1	1	1		0		1	0	0	(Double)
0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	D11
	0		0	0	1		0		0	0	1	(Multiple - tous les bits sont à 0)
	0		0	0	1		0		0	1	0	(Double)
	0		0	0	0		0		1	0	0	D12
	0		1	0	1		0		1	0	1	(Double)
	0		1	1	0		0		1	1	0	(Double)
	0		1	1	1		0		1	1	1	(Multiple)
	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	(Double)
	0		0	0	1		0		0	0	1	D13
	0		0	0	1		0		0	1	0	D14
	0		0	1	0		0		0	1	1	(Double)
	0		0	1	1		0		1	0	0	(Multiple)

S0	S1	S2	S3	S4	S5	ERREUR
0	0	1	1	0	1	(Multiple - Tous les bits sont à 1)
0	0		1	1	0	D4 (Double)
0	0		1	1	1	(Double)
1	1	1	0	0	0	(Double)
0	0		0	0	1	D5 (Double)
0	0		0	1	0	D6 (Double)
0	0		0	1	1	(Double)
0	0		1	0	0	D7 (Double)
0	0		1	0	1	(Double)
0	0		1	1	0	(Double)
0	0		1	1	1	(Multiple)

3 BITS - ERREUR DU BIT D'INFORMATION
4 BITS - ERREUR DOUBLE
5 BITS - ERREUR MULTIPLE
6 BITS - ERREUR DOUBLE

Par exemple, si tous les bits de syndrome S0 à S5 sont à zéro, il n'y a pas d'erreur dans la zone d'information ni dans la zone de contrôle. C'est l'état représenté à gauche en haut de la table 1.

5 La présence ou l'absence d'erreurs et le type d'erreur sont résumés au bas de la table 1.

Dans ce résumé, lorsque tous les six bits de syndrome sont à l'état "zéro", il n'y a pas d'erreur comme on l'a noté ci-dessus.

10 Si un seulement des six bits de syndrome est à "un" ceci indique une erreur dans le bit de contrôle correspondant. On doit bien noter qu'à ce stade les erreurs de bits de contrôle sont des erreurs de bits uniques qui ne nécessitent pas de correction du mot contenant les données.

15 Comme l'indique également le résumé au bas de la table 1, lorsque deux bits sont à "un", il y a une double erreur de bit et ces deux erreurs pourraient être a) une erreur dans un bit d'information et une erreur dans un bit de contrôle ou b) deux erreurs dans les bits d'information ou c) deux erreurs dans les bits
20 de contrôle.

Lorsque trois bits sont à "un" dans le code de syndrome de six bits, cet état peut correspondre soit à une erreur de bit d'information unique, soit à une erreur multiple.

25 Un exemple d'erreur de bit unique dans un bit d'information est donné par le code de syndrome 1 1 1 0 0 0 qui indique une erreur de bit unique dans le bit d'information D15 en bas et à droite de la table 1. Comme on le décrira plus en détail ci-dessous, le décodeur de syndrome 485, représenté aux figures 37 et 40, produira l'inversion (correction) de la valeur incorrecte du
30 bit 15 d'information.

Le décodeur de syndrome 485 fournit deux fonctions.

35 Tout d'abord, il fournit une entrée au complémentateur 487 de bits d'information, représenté à la figure 37, par l'intermédiaire de la ligne 493 dans le cas d'erreurs de bits d'information uniques; cette entrée produit l'inversion du bit erroné à l'intérieur du complémentateur 487 de bits d'information.

Ensuite, le décodeur de syndrome 485 fournit l'un des deux signaux d'erreur dans le cas d'erreur.

40 Une erreur de bit de contrôle ou de bit d'information unique est transmise par la ligne 495 d'ERREUR UNIQUE à la logique

475 de commande et de synchronisation.

Une indication d'erreur multiple est transmise par la ligne 497 d'ERREUR MULTIPLE à la logique 475 de commande et de synchronisation.

5 Un signal d'ERREUR MULTIPLE est créé dans tous les cas d'erreurs de bits doubles et dans la plupart des cas d'erreurs de bits triples ou davantage. Ce signal d'ERREUR MULTIPLE, comme on l'a noté ci-dessus, produit une interruption de l'unité centrale 105. Voir figure 34.

10 L'architecture du décodeur de syndrome 485 est représentée en détail à la figure 40. Le décodeur de syndrome 485 comprend un décodeur 507, un arbre 509 de parité de six bits et une logique 511 d'identification d'erreur.

15 Le décodeur 507 décode cinq des six bits de syndrome, les bits S1 à S5, afin de fournir l'information suffisante (trente-deux sorties) pour créer à la fois les types d'erreurs (qu'il s'agisse d'erreurs uniques ou d'erreurs doubles ou multiples) et les seize lignes de sortie nécessaires à l'inversion des erreurs de bits d'information dans les seize bits d'information. Ces seize lignes de sortie nécessaires à l'inversion des erreurs de bits d'information sont indiquées d'une manière générale par la ligne 493 et elles sont identifiées individuellement par les références T0 à T15 à la figure 40.

20 Les sorties du décodeur 507 qui ne sont pas connectées à la porte OU 512, correspondent aux erreurs dans les six bits de contrôle. Les erreurs dans les six bits de contrôle n'ont pas besoin d'être corrigées (puisque ces erreurs ne sont pas des erreurs de bits d'information) et ces sorties du décodeur ne sont donc pas utilisées.

30 Les autres sorties, c'est-à-dire celles qui sont connectées à la porte OU 512, représentent des erreurs doubles ou multiples et elles sont indiquées de cette façon par les légendes à la figure 40. Tous ces cas sont recueillis par la porte OU 512 et ils constituent un élément du signal d'erreurs multiples transmis dans la ligne 407 à la sortie de la logique 511 d'identification d'erreurs.

35 Comme le montre également la figure 40, le décodeur de syndrome 45 comprend un arbre de parité 509 qui forme la somme modulo deux des bits de syndrome S0 à S5.

40 La sortie paire ou impaire résultante de l'arbre de parité

509 correspond aux classes d'erreurs mentionnées au bas de la table 1.

Ainsi, la sortie PAIRE 514 correspond à des syndromes contenant zéro bit à "un", deux bits à "un", quatre bits à "un" ou six bits à "un".

Le syndrome PAIR correspondant à zéro bit à "un" (aucune erreur) est exclu du signal 497 de sortie d'ERREUR MULTIPLE par une porte ET 515 qui exclut le cas de syndrome zéro (l'autre signal d'entrée qui va du décodeur 507 à la porte 515).

Les syndromes contenant deux bits à "un", quatre bits à "un" ou six bits à "un" sont ainsi les seuls autres syndromes PAIRS qui se combinent au signal MULTIPLE pour constituer les erreurs multiples transmises par la ligne de sortie 497 d'ERREUR MULTIPLE.

Une sortie n'est souhaitée dans la ligne 495 indicatrice d'ERREUR UNIQUE que pour les erreurs de bits uniques. Comme la sortie impaire de l'arbre de parité 509, par la ligne 510, correspond à un bit à "un" (erreur de bit de contrôle), à trois bits à "un" (erreur de bit d'information ou erreurs de bits multiples) ou à cinq bits à "un" (erreurs de bits multiples) dans le syndrome de six bits, comme l'indique le résumé au bas de la table 1, la sortie impaire par la ligne 510 doit être validée de manière à ne transmettre que des erreurs de bits uniques à la ligne 495 par l'intermédiaire de la logique 511. Les codes de syndrome de trois bits correspondant aux erreurs de bits multiples et tous les codes de syndrome de cinq bits doivent donc être exclus, de sorte que seules les erreurs de bits uniques sont transmises par la ligne 495. Cette opération est effectuée par un inverseur 517 et une porte ET 519.

Une sortie d'ERREUR UNIQUE est créée dans la ligne 495 pour les codes de syndrome qui contiennent un seul bit à "un" (erreur de bits de contrôle) et aussi pour les codes de syndrome qui contiennent trois bits à "un" correspondant à des erreurs de bits d'information. Comme on l'a noté ci-dessus, la sortie impaire de l'arbre 509 de parité indique des syndromes contenant un, trois ou cinq bits à "un". L'inverseur 517 et la porte ET 519 excluent les syndromes de trois bits d'erreurs multiples et tous les syndromes de cinq bits. Ainsi, la sortie 495 d'ERREUR UNIQUE ne comprend que des erreurs de bits de

contrôle unique et des erreurs de bits d'information uniques. Les erreurs de bits de contrôle uniques n'ont pas besoin d'être corrigées et les erreurs de bits d'information uniques sont corrigées par le complémentateur 487 de bits.

5 Les équations logiques pour l'ERREUR MULTIPLE et l'ERREUR UNIQUE, mentionnées au bas de la figure 40, représentent l'opération décrite ci-dessus.

10 Il y a des erreurs de trois bits ou davantage qui ne sont pas identifiées comme des erreurs multiples et qui, en fait, peuvent être identifiées incorrectement comme n'étant pas des erreurs ou comme étant des erreurs de bits uniques (erreurs corrigibles). Cependant, le modèle normal de génération d'erreurs est tel que la détérioration du stockage en mémoire est normalement détectée avant que des erreurs de bits triples ne se produisent. Par exemple, le modèle normal de détérioration du
15 stockage en mémoire impliquerait d'abord une erreur de bit unique provenant d'un bruit ou de la défaillance d'un composant, elle impliquerait ensuite une erreur de bit double provenant d'une autre défaillance, etc. et les erreurs de bits doubles seraient
20 détectées avant que puissent se développer les erreurs de bits triples ou davantage.

Le complémentateur 487 de bits d'information, représenté à la figure 37, a pour fonction d'inverser des erreurs de bits d'information détectées par le décodeur 485 de syndrome.

25 La figure 41 représente des détails d'architecture du complémentateur 487 de bits. Comme le montre la figure 41, le complémentateur 487 de bits est réalisé par des portes 513 OU exclusif. Chacune de ces portes 513 inverse un bit d'information donné dans une ligne 489, lorsqu'une sortie correspondante du
30 décodeur est validée dans une ligne 493.

La sortie corrigée est transmise ensuite dans une ligne de sortie 437 du complémentateur 487 de bits, constituant la sortie de ce module de mémoire physique.

35 Ceci complète la description du système de détection et de correction d'erreurs.

Le système de mémoire qui fait partie de la présente invention offre plusieurs caractéristiques significatives.

Tout d'abord, le relevé de la mémoire fournit quatre emplacements séparés et distincts d'adresses logiques : le code
40 du système, les données du système, le code de l'utilisateur et

les données de l'utilisateur, et il fournit une traduction des adresses logiques en adresses physiques, dans ces emplacements d'adresse.

5 La division de la mémoire logique en quatre emplacements d'adresses isole les programmes du système des interventions des programmes de l'utilisateur et elle protège les programmes du système contre toute erreur de l'utilisateur. La division en quatre emplacements d'adresses logiques fournit également une séparation du code et des données, aussi bien pour le code et les données de l'utilisateur que pour le code et les données du système. Ces caractéristiques fournissent l'avantage de programmes non modifiables.

15 Il existe des zones particulières dans chaque entrée de relevé pour cette traduction d'adresses de pages et pour d'autres états particuliers.

Une zone permet de traduire les adresses de pages logiques en adresses de pages physiques.

20 Une autre zone fournit une indication d'absence. Cette zone est un bit d'absence qui permet la réalisation d'un plan de mémoire virtuelle dans lequel les pages logiques peuvent résider dans une mémoire auxiliaire.

25 Une autre zone est une zone historique de référence. Cette dernière zone permet de maintenir l'information concernant la fréquence d'utilisation à la disposition de la fonction de gestion de la mémoire du système d'exploitation, afin de rendre performant le plan de la mémoire virtuelle. Les pages d'accès fréquent sont retenues dans la mémoire centrale et les pages d'utilisation peu fréquente sont sélectionnées pour le recouvrement nécessaire.

30 Une zone de bit-clé est maintenue dans chaque entrée du relevé des données du système et du relevé des données de l'utilisateur, de sorte que les pages de données non modifiées peuvent être identifiées. Ces pages étant ainsi identifiées ne sont pas transférées dans la mémoire auxiliaire car une copie valide de cette page de données se trouve déjà présente dans la mémoire auxiliaire.

40 Le système de mémoire inclut une logique de commande de la mémoire à relevé qui maintient automatiquement l'information des bits-clés et des bits de référence lorsque l'unité centrale et le canal d'entrées-sorties accèdent à la mémoire.

Le système de mémoire de la présente invention fournit trois instructions de l'unité centrale, c'est-à-dire l'instruction d'insertion des données dans une entrée de relevé SMAP, l'instruction de lecture d'une entrée de relevé RMAP et l'instruction de décalage d'une entrée de relevé AMAP, qui sont utilisées par la fonction de gestion de la mémoire du système d'exploitation pour maintenir et utiliser l'information dans le relevé.

Le système de mémoire de la présente invention comprend un accès à la mémoire à double entrée. La mémoire est accessible séparément par l'unité centrale et par le canal d'entrées-sorties. Les accès à la mémoire par le canal d'entrées-sorties n'ont pas besoin d'impliquer l'unité centrale et cette dernière peut remplir d'autres fonctions pendant qu'une transmission de données en entrées-sorties est effectuée dans ou hors de la mémoire.

L'opération d'accès à la mémoire à double entrée comprend également un arbitrage effectué par la logique de commande de la mémoire à relevé, au cas où l'unité centrale et le canal d'entrées-sorties tenteraient un accès simultané à la mémoire. En cas d'accès simultané, le canal d'entrées-sorties est prioritaire et l'unité centrale attend jusqu'à ce que l'accès particulier du canal d'entrées-sorties soit terminé.

La mémoire physique peut être étendue par l'adjonction de modules de mémoire physique.

Les modules de mémoire physique comprennent, dans le cas de la mémoire à semiconducteurs, une détection et une correction d'erreurs à certaines conditions. Les erreurs uniques sont détectées et corrigées de sorte que l'unité centrale et le canal d'entrées-sorties peuvent continuer à fonctionner, même lorsqu'une défaillance passagère ou permanente se produit dans le module de mémoire physique. Le système de détection et de correction d'erreurs comprend un mot de vingt-deux bits dans le moyen de stockage. Seize bits représentent les données et six bits fournissent une zone de contrôle de détection et de correction d'erreurs. La zone de contrôle de six bits permet la détection et la correction de toutes les erreurs uniques et la détection de toutes les erreurs doubles.

La mémoire à tores inclut la parité pour la détection d'erreurs uniques.

Dans l'ensemble du système de traitement par multiprocesseurs qui fait l'objet de la présente invention, chaque module

de processeur comprend son propre système de mémoire centrale.

Puisque chaque module de processeur possède son propre système de mémoire, on évite les problèmes de partage de mémoire dans un système de multitraitement.

5 Les problèmes de partage de mémoire dans un système de multitraitement comprennent la réduction de la largeur de bande de mémoire disponible pour un processeur particulier, du fait de l'encombrement, et cette réduction de la largeur de bande de mémoire disponible devient plus importante lorsque des unités
10 centrales supplémentaires sont combinées avec une mémoire commune unique.

15 Les problèmes de blocage concernant les communications entre les unités centrales, à l'aide de zones prévues dans une mémoire commune, sont évités par la présente invention qui ne comprend pas de mémoire commune mais qui, au contraire, fournit des communications entre les modules de processeur par un système de communication par lignes entre les processeurs.

20 Une difficulté supplémentaire d'une mémoire commune réside dans le fait qu'une défaillance de la mémoire commune peut avoir comme résultat une défaillance simultanée de plusieurs ou de toutes les unités centrales du système. Ce qui revient à dire que, dans un système à mémoire commune, une défaillance unique de la mémoire peut immobiliser le système en totalité ou en partie, alors que la défaillance d'une mémoire ne paralysera pas
25 le système de traitement par multiprocesseurs qui fait l'objet de la présente invention.

30 L'accès à la mémoire à double entrée par l'unité centrale et par le canal d'entrées-sorties est possible grâce à l'utilisation de registres d'adresses séparés et de registres de données séparés vers et venant de la mémoire.

35 L'unité centrale possède un registre particulier, le registre d'instruction suivante NI, en particulier pour recevoir des instructions de la mémoire. Ce registre séparé et particulier permet une prise en charge simultanée de l'instruction suivante pendant l'exécution de l'instruction en cours, qui peut impliquer l'extraction de données de la mémoire. En conséquence, à la fin d'une instruction en cours, l'instruction suivante peut être déclenchée immédiatement sans qu'il faille attendre une prise en charge de l'instruction.

40 Le relevé est constitué pour fournir un accès significa-

tivement plus rapide que l'accès à la mémoire physique centrale. Cette caractéristique présente plusieurs avantages dans la traduction des adresses par l'intermédiaire du relevé.

5 Il en résulte que, dans le système de mémoire qui fait partie de la présente invention, le relevé peut être récrit pendant que l'accès à la mémoire physique est en cours.

Du fait que la réécriture est tellement rapide, la réécriture du relevé n'augmente pas la durée du cycle de base de la mémoire.

10 De même, la vitesse élevée à laquelle le relevé est accessible, réduit la durée totale y compris la traduction des pages nécessaires à un accès à la mémoire.

15 La parité est maintenue et contrôlée dans la mémoire à relevé effective elle-même. Ceci fournit une indication immédiate de toute défaillance qui pourrait survenir dans la mémoire à relevé, avant qu'un fonctionnement incorrect résultant ne puisse survenir dans le module de processeur.

20 La présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation qui viennent d'être décrits, elle est au contraire susceptible de variantes et de modifications qui apparaîtront à l'homme de l'art.

REVENDICATIONS

1. Système d'entrées-sorties pour un système de traitement par multiprocesseurs du genre comportant des processeurs, un système d'entrées-sorties, un système d'alimentation électrique et un système de mémoire, et dans lequel les processeurs sont interconnectés
- 5 pour assurer un traitement en simultanéité, ce système d'entrées-sorties étant caractérisé en ce qu'il comprend plusieurs modules de processeurs séparés, chaque processeur comprenant une unité centrale et une mémoire ; certains au moins des modules de processeurs ayant un canal d'entrées-sorties ;
- 10 un organe de commande au moins pour commander la transmission des données entre un module de processeur et un appareil périphérique ; plusieurs entrées dans chaque organe de commande et plusieurs lignes d'entrées-sorties pour connecter chaque organe de commande afin qu'il soit accessible aux différents
- 15 modules de processeurs ; et un moyen de logique commune d'interface pour assurer qu'une seule entrée à la fois connecte operationnellement l'organe de commande au système de traitement par multiprocesseurs.

2.- Système d'entrées-sorties suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les entrées de chaque organe de commande et des composants connexes du système sont constituées de telle sorte que les entrées d'un organe de commande sont logiquement et physiquement indépendantes l'une de l'autre; et en ce qu'aucune partie de composant d'une entrée n'est également un composant de l'autre entrée d'un organe particulier de commande, de sorte qu'aucune défaillance de composant unique en un endroit quelconque de l'organe de commande ne peut affecter simultanément le fonctionnement de plus d'une entrée.

3.- Système d'entrées-sorties suivant la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen de détection des défaillances qui inclut une ligne interconnectant les modules de processeurs afin de détecter qu'une entrée particulière ne connecte plus opérationnellement l'organe de commande au système de traitement par multiprocesseurs.

4.- Système d'entrées-sorties suivant la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen logique de transmission d'un signal de prise de possession à une autre entrée éventuelle pour que celle-ci connecte opérationnellement l'organe de commande au système de traitement par multiprocesseurs, en réponse à la détection d'une défaillance de l'entrée particulière.

5.- Système d'entrées-sorties suivant l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend une partie de commande dans chaque organe de commande; en ce que chacune des entrées individuelles d'un organe particulier de commande est physiquement et indépendamment connectée à un module de processeur, en même temps qu'une autre entrée de cet organe de commande est physiquement connectée à un module différent de processeur; et en ce qu'il comprend un moyen de bascule d'acquisition pour établir une connexion logique entre la partie de commande de l'organe de commande et l'une des entrées, de sorte qu'une seule entrée commande l'organe de commande à n'importe quel moment et, de ce fait, une défaillance d'une entrée de la ligne d'entrées sorties ou du canal d'entrées-sorties ou du module de processeur ne peut jamais affecter l'autre entrée.

6.- Système d'entrées-sorties suivant l'une des revendications 1 à 5,

caractérisé en ce que chaque organe de commande comprend une partie d'interface et une partie de commande; en ce que la partie d'interface comprend les entrées multiples, le moyen de logique commune d'interface et le moyen de bascule de prise de possession; et en ce que la partie de commande comprend la partie de commande de la logique de l'organe et une mémoire-tampon.

7.- Système d'entrées-sorties suivant l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend une bascule de validation dans chaque entrée afin d'empêcher dynamiquement une entrée d'envoyer des signaux dans sa ligne respective d'entrées-sorties en réponse à une défaillance dans une partie quelconque de l'organe de commande.

8.- Système d'entrées-sorties suivant l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen de création et de contrôle de parité pour commencer à contrôler la parité avant que les données ne soient dirigées dans un registre de l'entrée et pour continuer le contrôle de parité pendant un certain temps après que les données ont été placées dans le registre, de sorte que la parité est contrôlée pendant une ouverture et non pas simplement sur un bord afin d'assurer que les lignes acheminant les données ne sont pas en cours de changement pendant que les données sont acceptées dans le registre.

9.- Système d'entrées-sorties suivant l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend, dans chaque organe de commande, un moyen de mémoire-tampon sensible aux contraintes.

10.- Système d'entrées-sorties suivant l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen à profondeur d'attente permettant d'attendre un certain temps après chaque déconnexion du canal d'entrées-sorties avant de faire la demande suivante de reconnexion; de ce fait, les appareils faiblement prioritaires peuvent accéder au canal d'entrées-sorties de sorte que ces appareils ne sont pas surchargés.

11.- Système d'entrées-sorties suivant la revendication 10, caractérisé en ce que la mémoire-tampon comprend un moyen à profondeur de seuil permettant à l'organe de commande d'attendre un certain temps après avoir fait une demande de reconnexion avant que l'organe de commande ne soit surchargé, afin de permettre aux appareils hautement prioritaires d'accéder au canal d'entrées-sorties.

12.- Système d'entrées-sorties suivant la revendication 11,

caractérisé en ce qu'il comprend un moyen de variation des contraintes capables de modifier la profondeur d'attente à laquelle l'organe de commande adresse une demande de reconnexion au moyen de canal d'entrées-sorties.

5 13.- Système d'entrées-sorties suivant la revendication 11 ou 12 caractérisé en ce que la profondeur de la mémoire-tampon est la somme de la profondeur de seuil et de la profondeur d'attente.

10 14. - Système d'entrées-sorties suivant l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen de priorité pour sélectionner, conformément à un plan de priorité, prédéterminé, un organe de commande particulier à partir de plusieurs signaux de demande d'appareil qui peuvent se produire de façon asynchrone, ce moyen de priorité comprenant une connexion de balayage en étoile entre le moyen de canal d'entrées-sorties et les organes de
15 commande utilisant une ligne de données multibinaires; un moyen de lignes de rangement qui divise les organes de commande en plusieurs groupes auxquels est affectée une priorité relative entre eux, une priorité étant également affectée aux organes de commande au sein de chaque groupe, un registre séparateur de priorité
20 pour déterminer l'organe de commande qui a la priorité la plus élevée au sein de chaque groupe et un moyen de sélection pour connecter au moyen de canal d'entrées-sorties l'organe de commande le plus hautement prioritaire qui fait une demande de reconnexion.

25 15.- Système d'entrées-sorties suivant l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce qu'il comprend une table de commande des entrées sorties dans la mémoire de chaque module de processeur et en ce qu'il contient une entrée qui définit une zone tampon dans la mémoire et une longueur restante de comptage de multiplets à transmettre pour chaque appareil périphérique connecté au moyen de canal d'entrées-sorties de ce module de processeur.
30

35 16.- Système d'entrées-sorties suivant la revendication 15, caractérisé en ce que le moyen de canal d'entrées-sorties, en réponse à une demande de reconnexion faite par un organe de commande lorsque le mot de comptage dans la table de commande des entrées-sorties est à "zéro", passe directement à l'état de suspension d'exécution du programme afin d'empêcher un recouvrement de la mémoire par un appareil défaillant.

40 17. - Système d'entrées-sorties suivant la revendication 15 ou 16, caractérisé en ce qu'il comprend, dans chaque entrée, une zone d'erreur comportant plusieurs bits qui peuvent être mis à "un"

pour indiquer l'une quelconque de nombreuses erreurs dénombrées, et en ce que le moyen de canal d'entrées-sorties passe directement à l'état de suspension d'exécution du programme en cas d'erreur quelconque.

5 18. - Système d'entrées-sorties suivant la revendication 15 ou 16,, caractérisé en ce qu'il comprend, dans chaque entrée, une zone qui peut être mise à "un" pour indiquer que la zone-tampon dans la mémoire peut être extraite de la mémoire mais non introduite en mémoire, de manière à protéger la mémoire contre une défaillance de l'organe de commande.

10 19. - Système d'entrées-sorties suivant l'une des revendications 1 à 18,, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen de protection qui empêche un appareil périphérique d'affecter sa propre zone tampon dans le module de processeur.

15 20. - Système d'entrées-sorties suivant la revendication 19,, caractérisé en ce que le moyen de protection comprend un bit de protection qui permet uniquement une opération d'extraction de la mémoire du module de processeur et qui empêche une opération d'introduction dans la mémoire du module de processeur.

20 21. - Système d'entrées-sorties suivant la revendication 3,, caractérisé en ce que chaque module de processeur comporte, dans sa mémoire, son propre moyen de table de commande d'entrées-sorties pour tous les appareils qui lui sont connectés, de sorte qu'une défaillance unique dans un organe de commande quelconque ne peut détériorer la mémoire d'un module de processeur connecté à cet organe de commande particulier.

25 22. - Système d'entrées-sorties suivant l'une des revendications 1 à 21,, caractérisé en ce qu'il comprend plusieurs moyens séparés d'alimentation électrique répartis et opérationnellement associés avec les modules de processeurs et les organes de commande, de sorte qu'aucune panne individuelle de moyen d'alimentation électrique ne peut immobiliser le système de traitement par multiprocesseurs.

30 23. - Système d'entrées-sorties suivant la revendication 22,, caractérisé en ce que les alimentations électriques séparées sont réparties et opérationnellement associées aux modules de processeurs et aux organes de commande à plusieurs entrées, de sorte que n'importe quel module de processeur ou organe de commande individuel peut être mis hors circuit sans que le fonctionnement continu du reste du système de traitement par multiproces-

seurs en soit affecté et l'entretien en direct peut être effectué sur n'importe quel module de processeur ou organe de commande individuel grâce à une coupure progressive de l'alimentation électrique de ce module de processeur ou de cet organe de commande, tandis que le reste du système de traitement par multiprocesseurs continue à fonctionner en liaison directe avec l'ordinateur.

24. - Système d'entrées-sorties suivant la revendication 22 caractérisé en ce que plusieurs alimentations électriques séparées sont opérationnellement associées avec chaque organe de commande de sorte que, si une alimentation électrique associée à un organe de commande vient à baisser, une autre alimentation électrique prend la relève pour empêcher la perte de cet organe de commande.

25. - Système d'entrées-sorties suivant la revendication 24, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen de commutation à diodes pour connecter les deux alimentations électriques à chaque organe de commande, de sorte que chaque alimentation électrique alimente l'organe de commande à tous moments; et en ce que, si une alimentation électrique vient à défaillir, l'autre alimentation électrique fournit toute la puissance à l'organe de commande, aucune discontinuité n'apparaissant jamais dans la puissance fournie à l'organe de commande.

26. - Système d'entrées-sorties suivant l'une des revendications 1 à 23, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen de circuit de mise sous tension pour déterminer le fonctionnement de l'organe de commande lors de la mise sous tension ou hors tension, afin de protéger la ligne d'entrées-sorties contre les signaux erronés et permettre un entretien en direct et une extension du système

27. - Système d'entrées-sorties suivant la revendication 25, caractérisé en ce qu'il comprend, dans chaque entrée, des appareils d'interface qui commandent les lignes d'entrées-sorties, et en ce que le moyen de circuit de mise sous tension agit en liaison avec les appareils d'interface pendant la défaillance ou la coupure d'une alimentation électrique associée, afin d'empêcher électriquement les appareils d'interface de commander la ligne d'entrées-sorties et, de ce fait, empêcher qu'un organe de commande n'affecte la ligne d'entrées-sorties pendant la défaillance ou la coupure d'une alimentation électrique.

28. - Système d'entrées-sorties pour un système de traitement pour processeurs du genre comportant un module de processeur, un système d'alimentation électrique et un système de mémoires et dans lequel le module de processeur comporte une unité centrale, une mémoire et un canal d'entrées-sorties; caractérisé par le fait qu'il comporte un organe de commande pour commander la transmission des données entre le module de processeur et un appareil périphérique ; une entrée dans l'organe de commande ; une ligne d'entrées-sorties connectant le canal d'entrées-sorties du module de processeur à l'entrée de l'organe de commande ; et une bascule de validation dans l'entrée afin d'empêcher dynamiquement cette entrée d'envoyer des signaux dans la ligne d'entrées-sorties en réponse à une défaillance dans une partie quelconque de l'organe de commande.

29. - Système d'entrées-sorties pour un système de traitement par processeurs du genre comportant un module de processeur, un système d'alimentation électrique et un système de mémoires et dans lequel le module de processeur comporte une unité centrale, une mémoire et un canal d'entrées-sorties ; caractérisé par le fait qu'il comporte un organe de commande pour commander la transmission des données entre le module de processeur et un appareil périphérique ; une entrée dans l'organe de commande ; une ligne d'entrées-sorties connectant le canal d'entrées-sorties du module de processeur à l'entrée de l'organe de commande ; et un moyen de création et de contrôle de parité pour commencer à contrôler la parité avant que les données ne soient dirigées dans un registre de l'entrée et pour continuer le contrôle de parité pendant un certain temps après que les données ont été placées dans le registre, de sorte que la parité est contrôlée pendant une ouverture et non pas simplement sur un bord afin d'assurer que les lignes acheminant les données ne sont pas en cours de changement pendant que les données sont acceptées dans le registre.

30. Système d'entrées-sorties pour un système de traitement par processeurs du genre comportant un module de processeur, un système d'alimentation électrique et un système de mémoires et dans lequel le module de processeur comporte une unité centrale, une mémoire et un canal d'entrées-sorties ; caractérisé par le fait qu'il comporte plusieurs organes de commande pour commander la transmission des données entre le module de processeur et les appareils périphériques ; une entrée dans chaque organe de commande ; une ligne d'entrées-sorties connectant le canal d'entrées-sorties du module de processeur à l'entrée de chaque organe de commande ; et un moyen de priorité pour sélectionner, conformément à un plan de priorité prédéterminé, un organe de commande particulier à partir de plusieurs signaux de demande d'appareils qui peuvent se produire de façon asynchrone, ce moyen de priorité comprenant une connexion de balayage en étoile entre le moyen d'entrées-sorties et les organes de commande utilisant une ligne de données multibinaires ; un moyen de ligne de rangement qui divise les organes de commande en plusieurs groupes auxquels est affectée une priorité relative entre eux, une priorité étant également affectée aux organes de commande au sein de chaque groupe ; un registre séparateur de priorité pour déterminer l'organe de commande qui a la priorité la plus élevée au sein de chaque groupe et un moyen de sélection pour connecter au moyen de canal d'entrées-sorties l'organe de commande le plus hautement prioritaire qui fait une demande de reconnexion.

31. .- Procédé de connexion d'organes de commande avec un canal d'entrées-sorties d'un module de processeur suivant un plan de priorité prédéterminé dans un système de traitement par processeurs du genre comportant un processeur, un système d'entrées-sorties, un système d'alimentation électrique et un système de mémoires et dans lequel plusieurs organes de commande sont connectés à un canal d'entrées-sorties comportant une ligne acheminant des données de bits multiples, et peuvent valider chacun un signal de demande de reconnexion ou d'interruption envoyé dans le canal d'entrées-sorties simultanément avec la validation de signaux de demande de reconnexion ou d'interruption venant d'autres organes de commande, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend la connexion des organes de commande au canal d'entrées-sorties dans une connexion de balayage en étoile, de sorte que chaque organe de commande est connecté indépendamment au canal d'entrées-sorties et de sorte qu'un nombre quelconque d'organes de commande peuvent être en panne ou mis hors circuit sans affecter le balayage des autres organes de commande ; la détermination des organes de commande qui valident effectivement les demandes adressées au canal d'entrées-sorties ; la détermination de l'identité de l'organe de commande le plus hautement prioritaire qui valide une demande ; la sélection d'un organe de commande particulier par le canal d'entrées-sorties suivant le plan de priorité prédéterminé ; l'exécution d'une transmission de données entre le canal d'entrées-sorties et l'organe de commande sélectionné ; et la déconnexion de l'organe de commande sélectionné à la fin de la transmission des données.

32. - Procédé suivant la revendication 31, caractérisé en ce que le canal d'entrées-sorties comprend un registre de séparation de priorité ayant un seul bit pour chaque organe de commande et opérationnellement associé avec la ligne acheminant les données afin de sélectionner un organe de commande particulier, et comprenant la validation d'un signal de validation d'un bit dans la ligne de données par chaque organe de commande ayant une demande en cours, et séparant

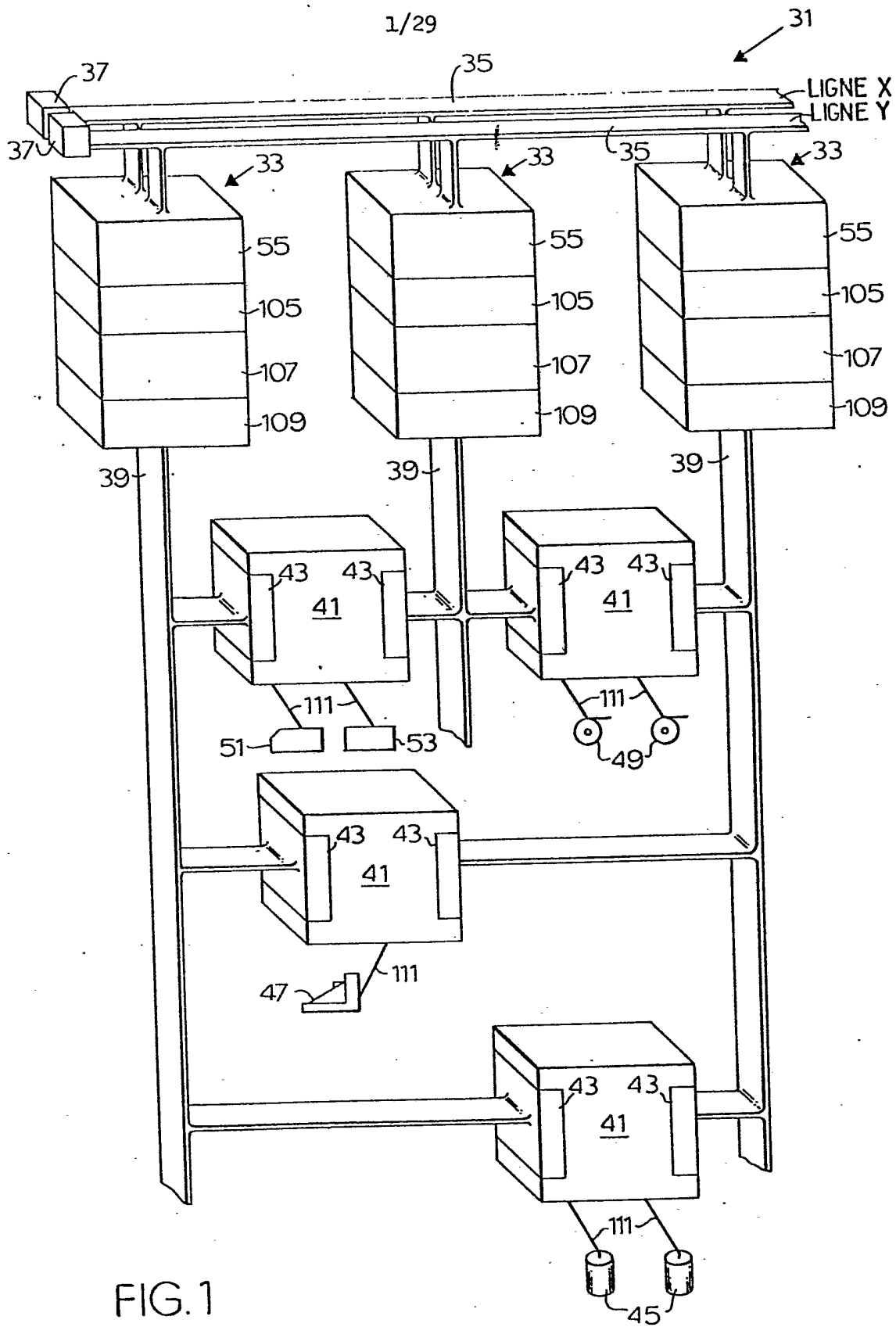
la priorité des bits, dans la ligne acheminant les données, par le registre de séparation de priorité.

5 33. - Procédé suivant la revendication 32, caractérisé en ce que chaque organe de commande comporte une entrée et chaque entrée un bit de sélection qui, lorsqu'il est à "un", permet à cette entrée de répondre aux instructions que le canal d'entrées-sorties dirige vers cette entrée, ce procédé comprenant la validation dans la ligne de données, d'un bit de sortie du registre de séparation de priorité qui met à "un" le bit de sélection de l'entrée d'un organe de commande, 10 et ce procédé comprenant également la mise à zéro de tous les bits de sélection des entrées des organes de commande qui ne sont pas sélectionnés.

15 34. - Procédé suivant la revendication 33, caractérisé en ce que chaque entrée comporte un bit de validation pour empêcher l'organe de commande de transmettre l'information par l'intermédiaire de cette entrée au canal d'entrées-sorties, et comprenant la mise à zéro du bit de validation d'une entrée lorsqu'un organe de commande accomplit une action qui pourrait affecter le fonctionnement d'autres organes de commande connectés au même canal d'entrées-sorties.

20 35. Procédé suivant la revendication 33 ou 34, caractérisé en ce qu'il comprend l'utilisation d'un moyen de ligne de rangement afin d'augmenter le nombre d'organes de commande possibles qui peuvent être prévus avec la ligne acheminant des données de bits multiples; et en ce que la priorité des organes de commande est déterminée à la 25 fois par le rang et par la priorité dans un rang.

36. Procédé suivant l'une des revendications 31 à 35, caractérisé en ce qu'il comprend l'implantation d'une mémoire-tampon comportant plusieurs mots et sensible aux contraintes dans chaque organe de commande.



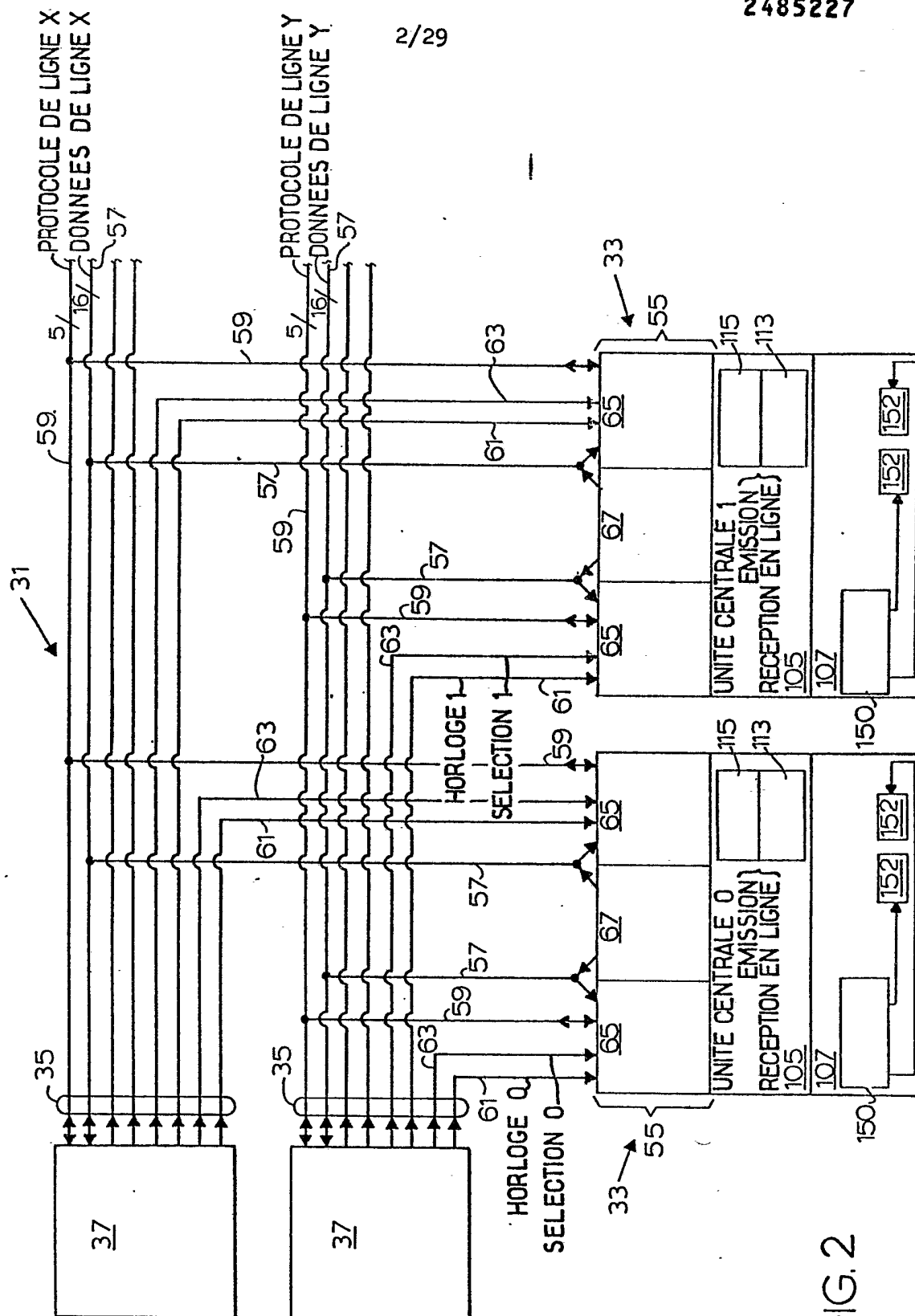
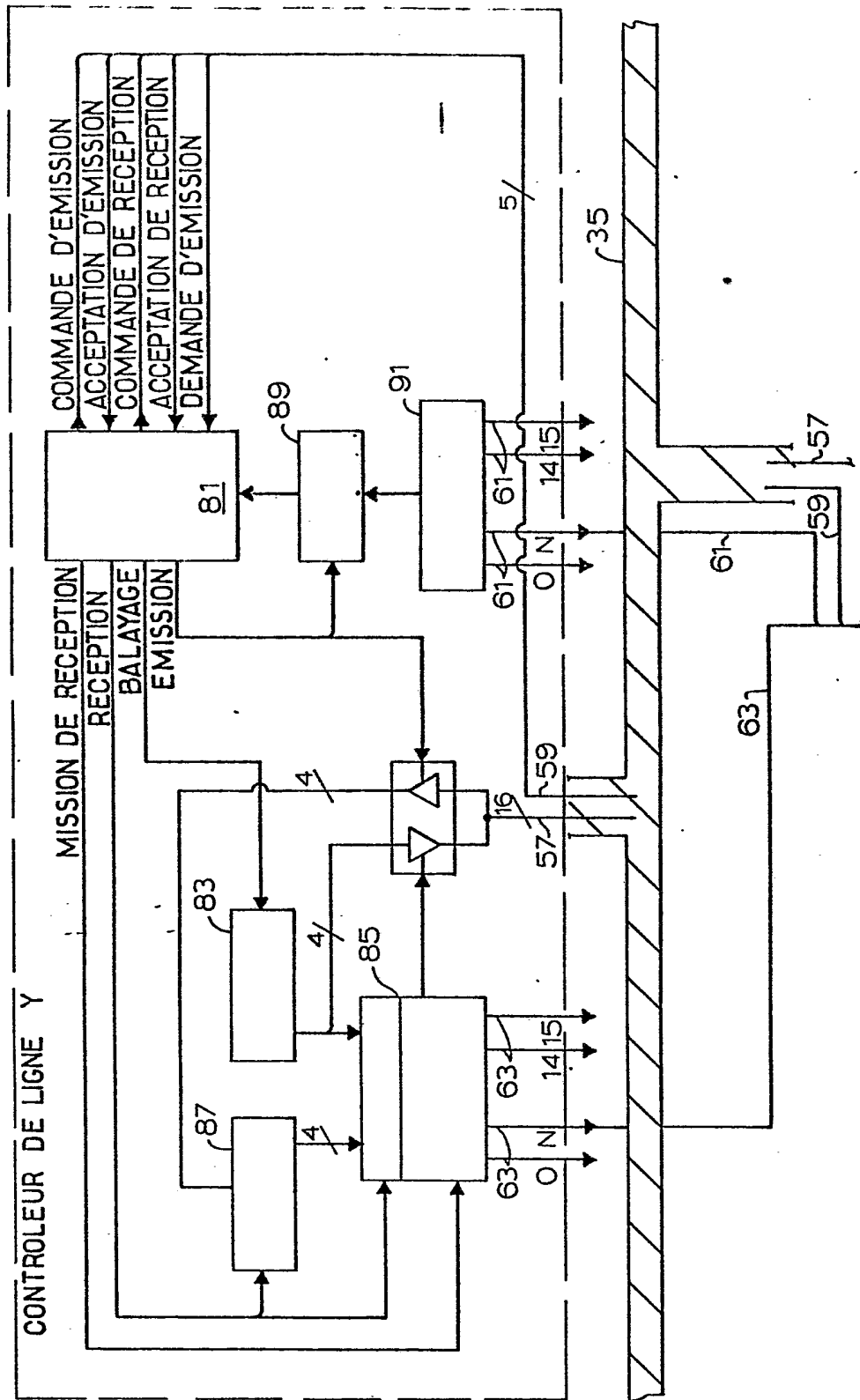


FIG. 2

FIG. 3

37



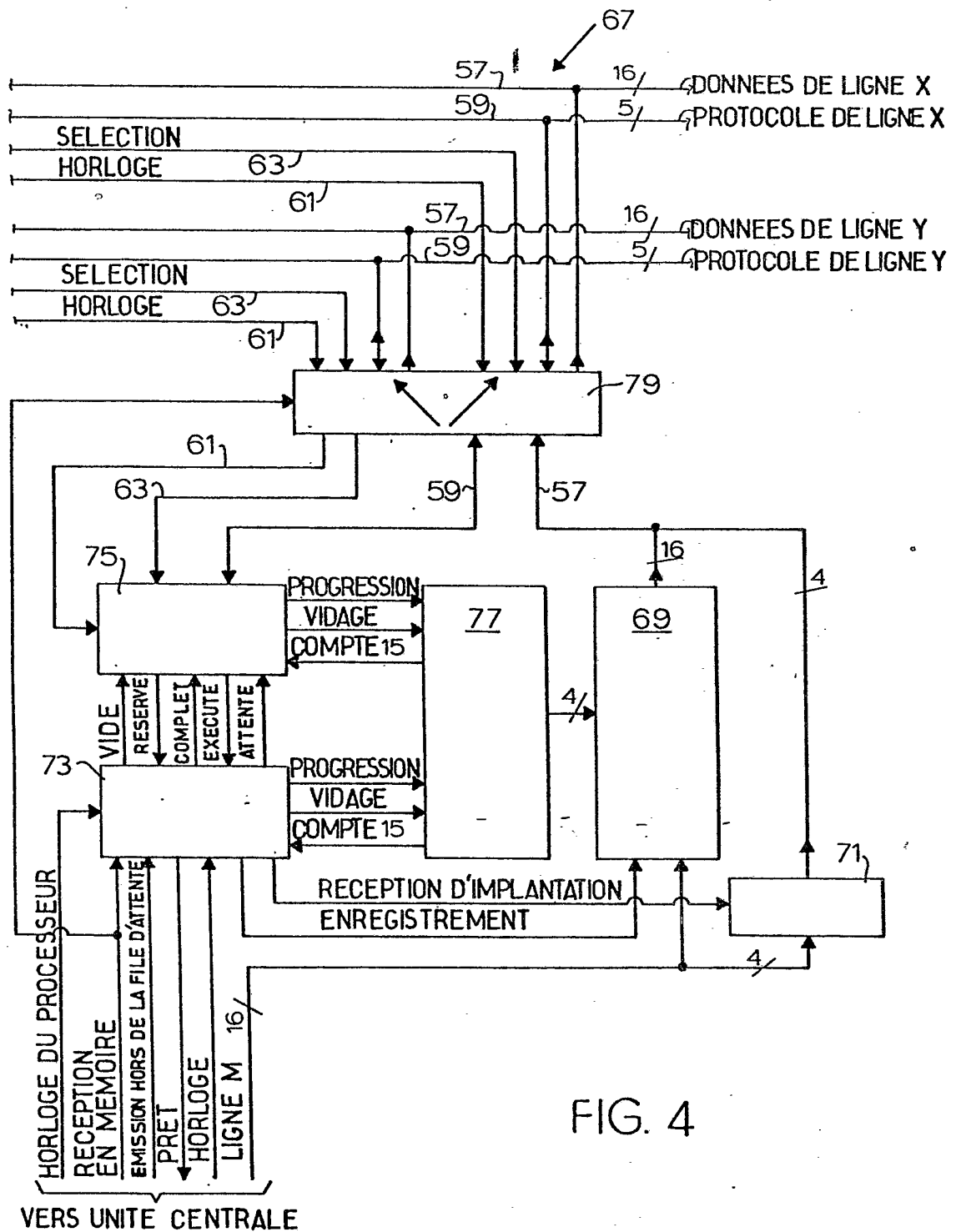


FIG. 4

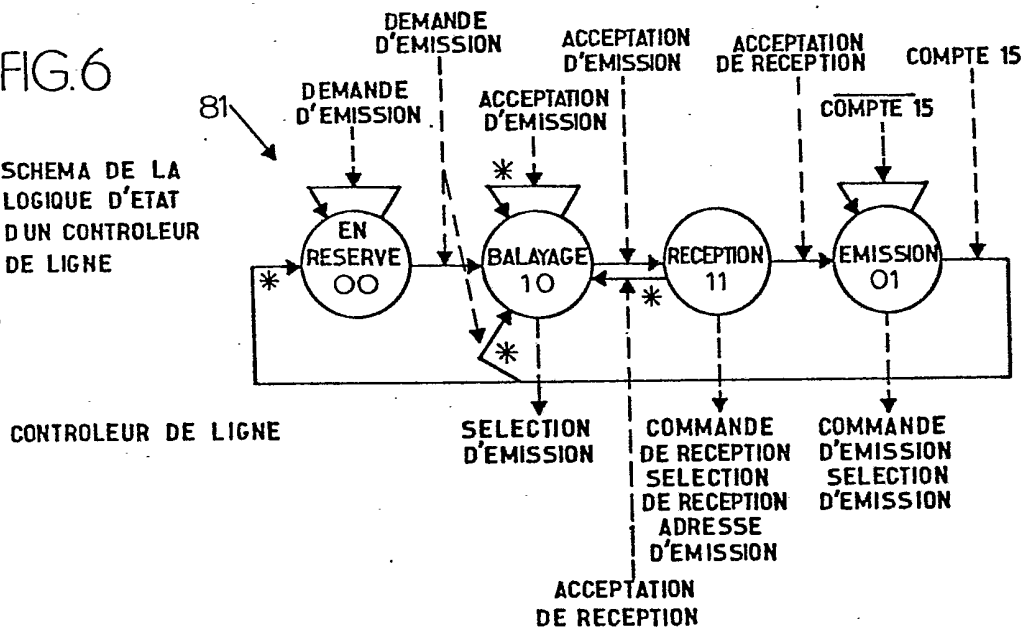
FIG. 5.

The diagram illustrates the control logic for a data link, showing the interaction between a central unit and a line unit. The components and their connections are as follows:

- Selection/Horloge Unit (93):** Receives **SELECTION** and **HORLOGE** signals (lines 61, 63). It outputs **ACCEPTATION DE RECEPTION** and **INSTRUCTION DE RECEPTION** signals. It is connected to a **CHARGEMENT** and **ENREGISTREMENT** block.
- Reception Instruction Unit (95):** Receives **PROTOCOLE DE LIGNE X** (line 5) and **DONNEES DE LIGNE X** (line 4). It outputs a **16**-bit signal to the **CHARGEMENT** block.
- Registers (99, 97):** Two registers that store data. They receive **VIDAGE** and **PROGRESSION** signals from the **CHARGEMENT** block. They output a **COMPTE 15** signal to the **CHARGEMENT** block.
- Control Logic (93, 95):** Receives **SYNCHRO**, **PRET**, **COMPLET**, **REMISE A ZERO**, and **101** signals. It outputs **VIDAGE**, **PROGRESSION**, and **COMPTE 15** signals to the registers.
- Line Unit (95):** Receives **REMISE A ZERO**, **HORLOGE DU PROCESEUR**, **X COMPLET ATTENTE**, **BLOCAGE**, **K EN FILE ATTENTE**, and **INTERUPTION DE RECEPTION** signals. It outputs a **16**-bit signal to the **CHARGEMENT** block.
- Output Logic:** Two AND gates combine signals from the registers and the line unit to produce **LIGNE K** and **ENVOI K** signals (line 16).

VERS L'UNITE CENTRALE

**SCHEMA DE LA
LOGIQUE D'ETAT
D'UN CONTROLEUR
DE LIGNE**



6/29

FIG. 7

SCHEMA DE LA
LOGIQUE DE L'ETAT
DE REMPLISSAGE
DU PROCESEUR

SCHEMA DE LA
LOGIQUE DE L'ETAT
DE VIDAGE DES
LIGNES

HORS DE LA
FILE D'ATTENTE

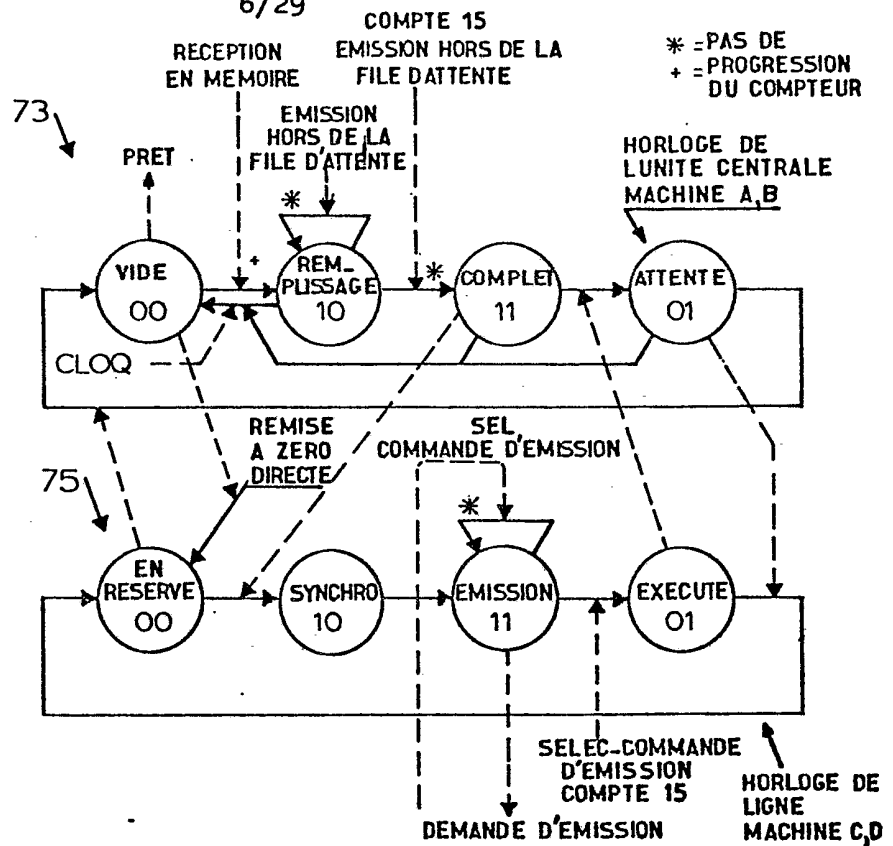
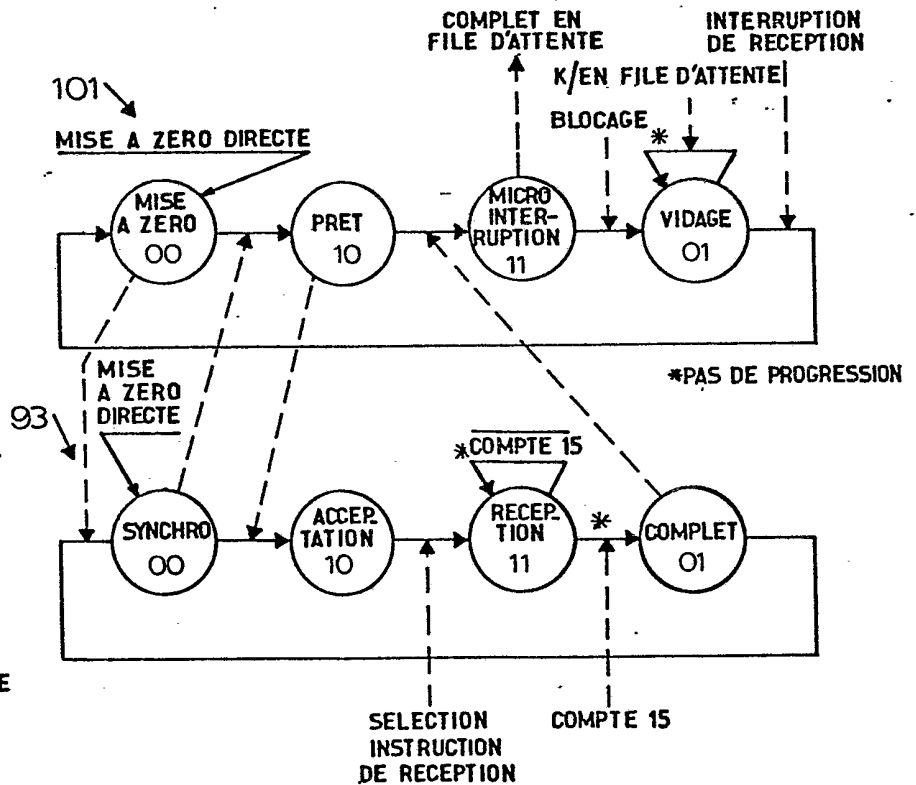


FIG. 8

SCHEMA DE LA
LOGIQUE DE L'ETAT
DE VIDAGE DES
PROCESEURS

SCHEMA DE LA
LOGIQUE DE L'ETAT
DE REMPLISSAGE
DES LIGNES

EN FILE D'ATTENTE



7/29

FIG. 9

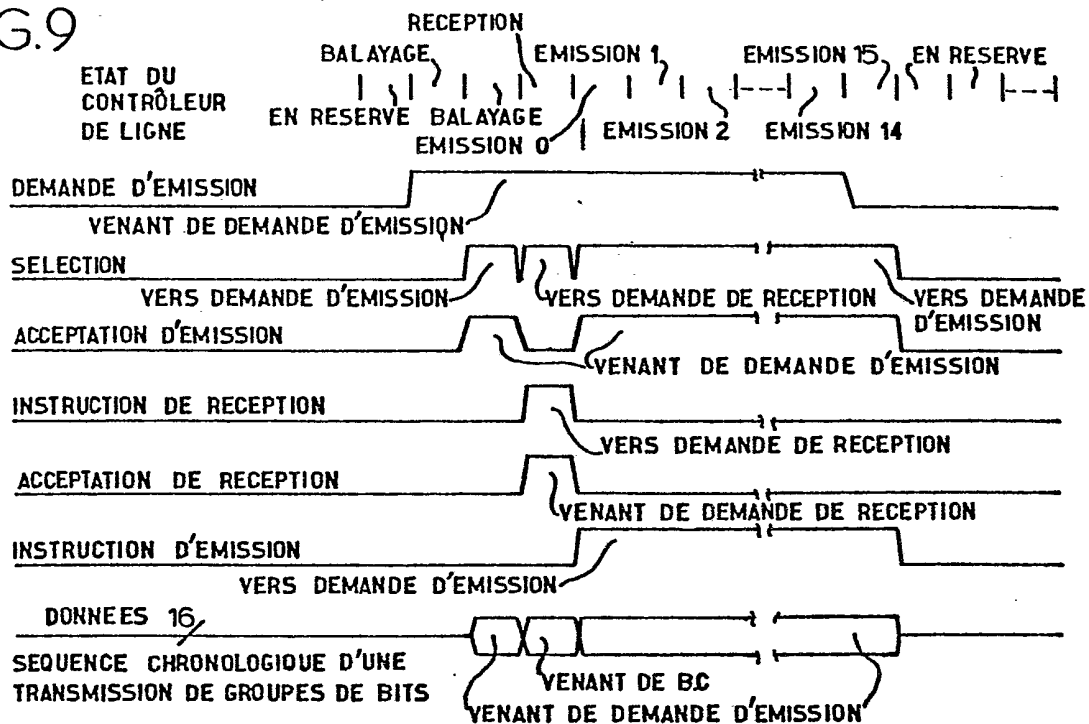
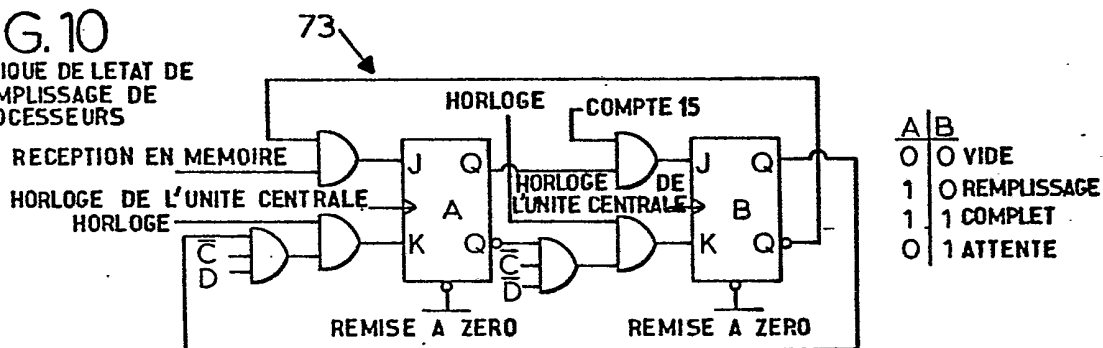


FIG. 10

LOGIQUE DE LETAT DE REMPLISSAGE DE PROCESSEURS



LOGIQUE DE L'ETAT DE VIDAGE DES LIGNES

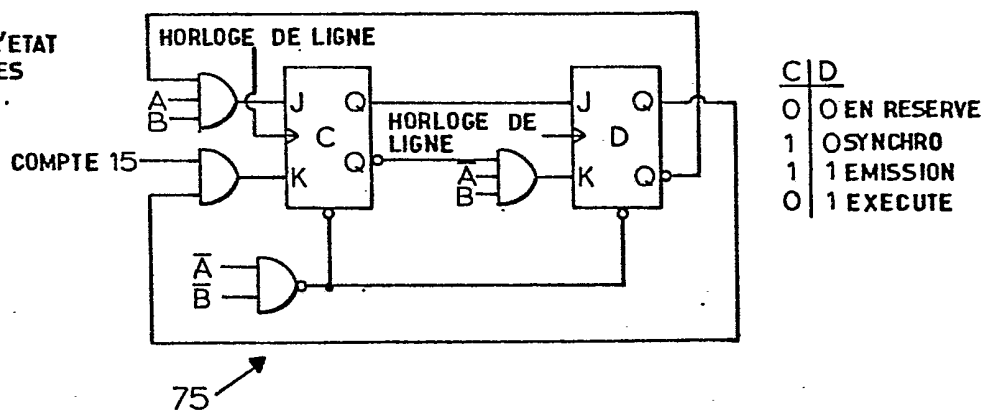


FIG. 11

$$J(A) = S/RCV \cdot \bar{B}$$

$$J(B) = A \cdot CNT\ 15$$

EXECUTE

$$K(A) = B \cdot (\bar{C} \cdot D) + CLOQ$$

REPOS

$$K(B) = \bar{A} \cdot (\bar{C} \cdot \bar{D}) + CLOQ$$

$$CLK(A) = CLK(B) = CPU\ CLK$$

$$RST(A) = RST(B) = CPU\ RST$$

(COMPLET)

$$J(C) = \bar{D} \cdot (A \cdot B)$$

$$J(D) = C$$

$$K(C) = D \cdot CNT\ 15$$

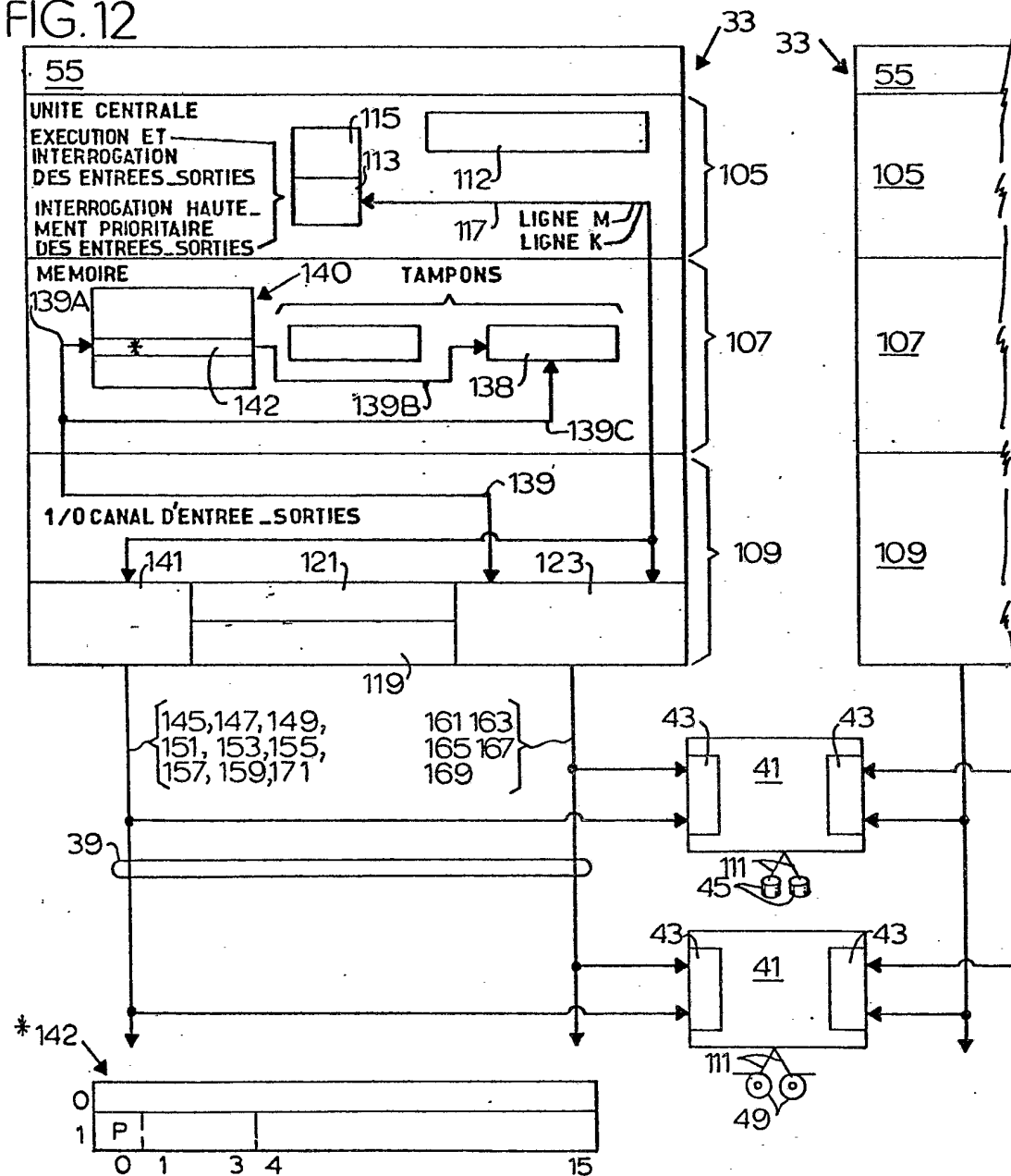
ATTENDRE

$$K(D) = \bar{C} \cdot (\bar{A} \cdot B)$$

$$CLK(C) = CLK(D) = BUS\ CLK$$

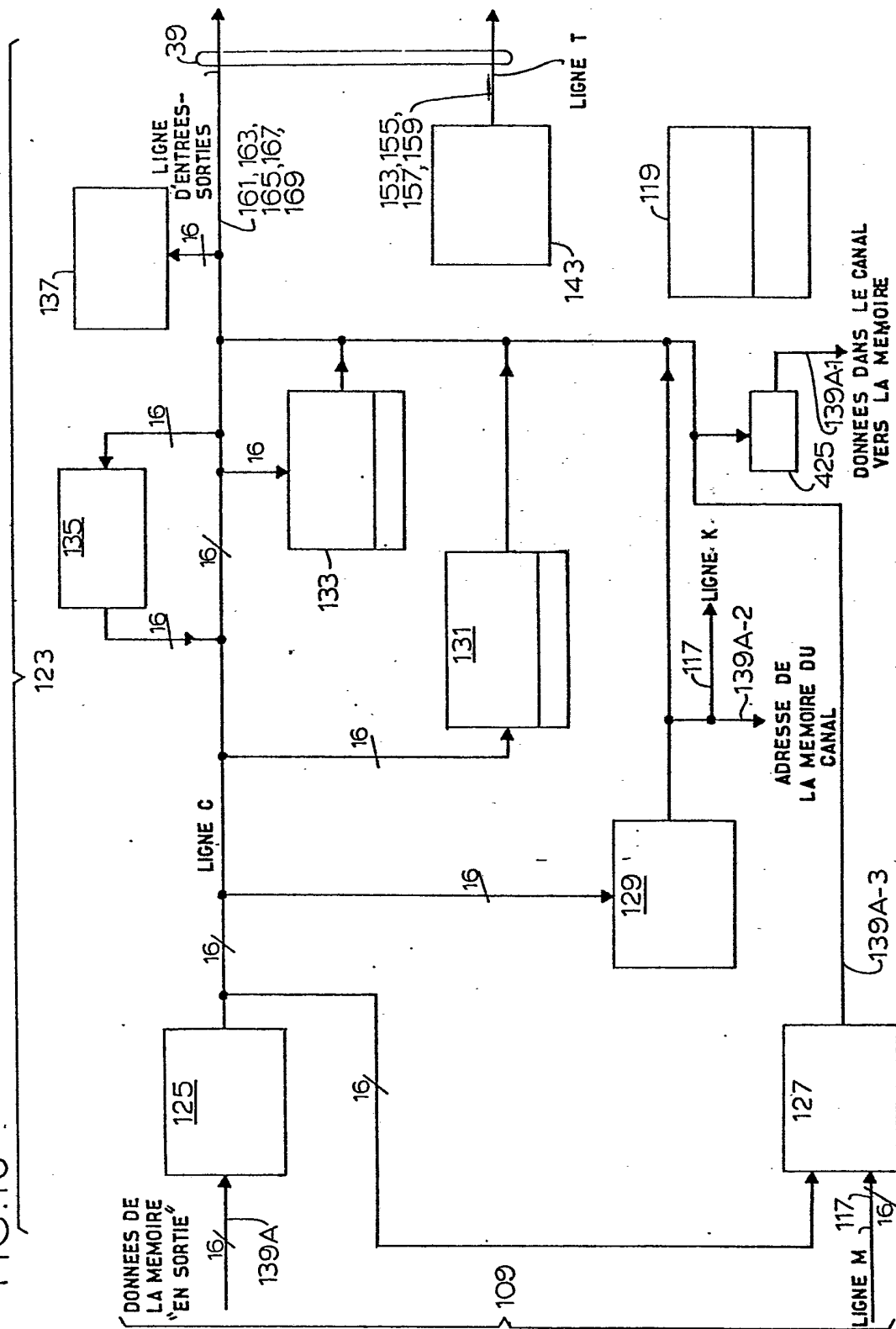
$$RST(C) = RST(D) = \bar{A} \cdot \bar{B} = VIDE$$

FIG. 12



9/29

FIG.13



119

143

153, 155, 157, 159

161, 163, 165, 167, 169

139

137

135

133

131

129

127

125

109

117

139A

139A-1

139A-2

139A-3

LIGNE M

LIGNE K

ADRESSE DE LA MEMOIRE DU CANAL

139A1

425

DONNEES DANS LE CANAL VERS LA MEMOIRE

LIGNE T

CONDUCTEURS		LIGNE T		LIGNE DE DONNEES		ETATS DES DONNEES		DEMANDES D'APPAREILS	
171,	10RS								
153,	LIGNE T	4/							
155,	SV0								
157,	SVI								
159,	STI								
161,	LIGNE DE DONNEES	16/							
163,	PARITE								
165,	EOT								
167,	PADO								
169,	PADI								
145,	RCI								
147,	LIRQ								
149,	HIRQ								
151,	RANGEE								

EXECUTION DES ENTREES- SORTIES

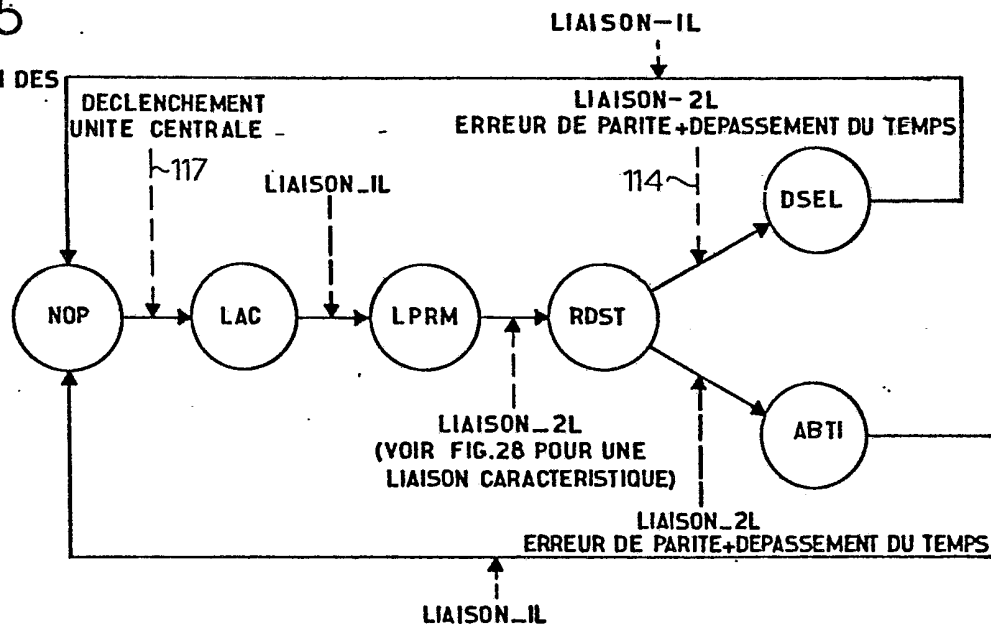


FIG. 16

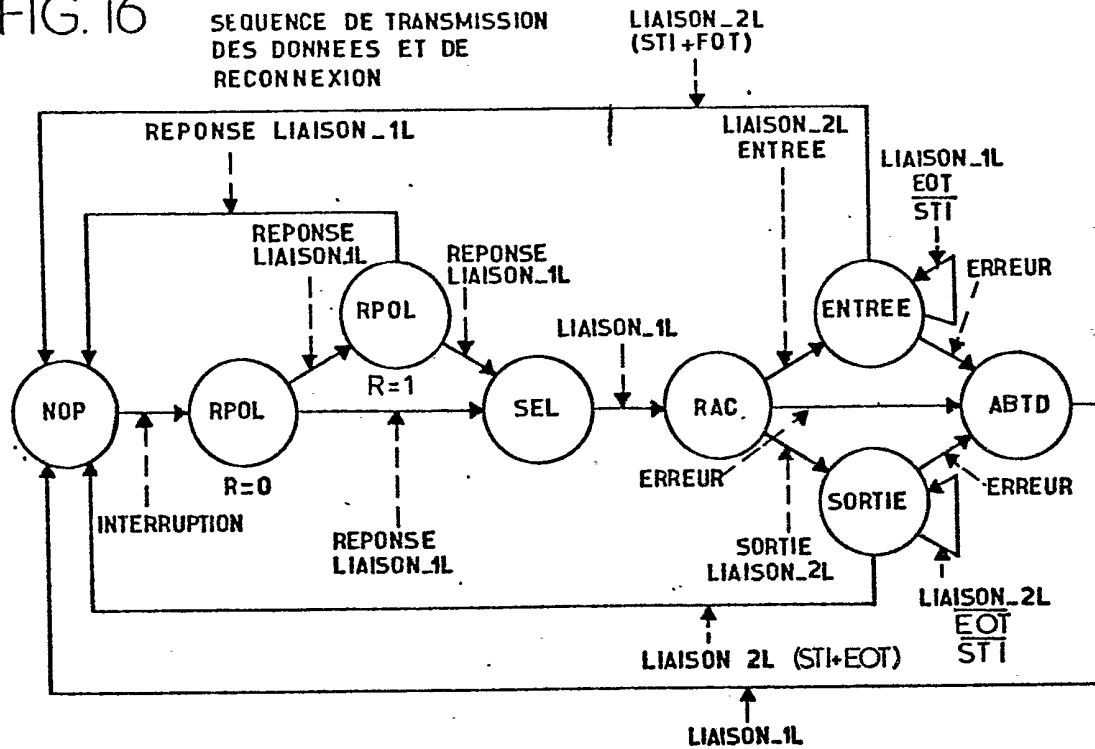
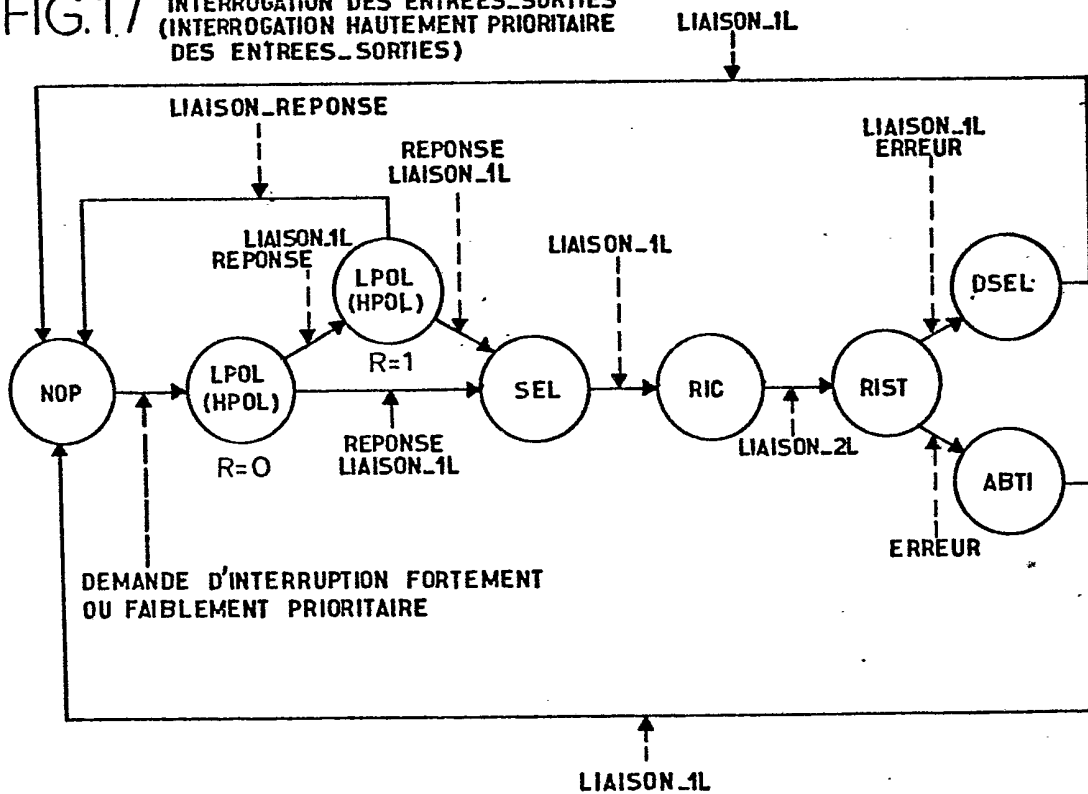
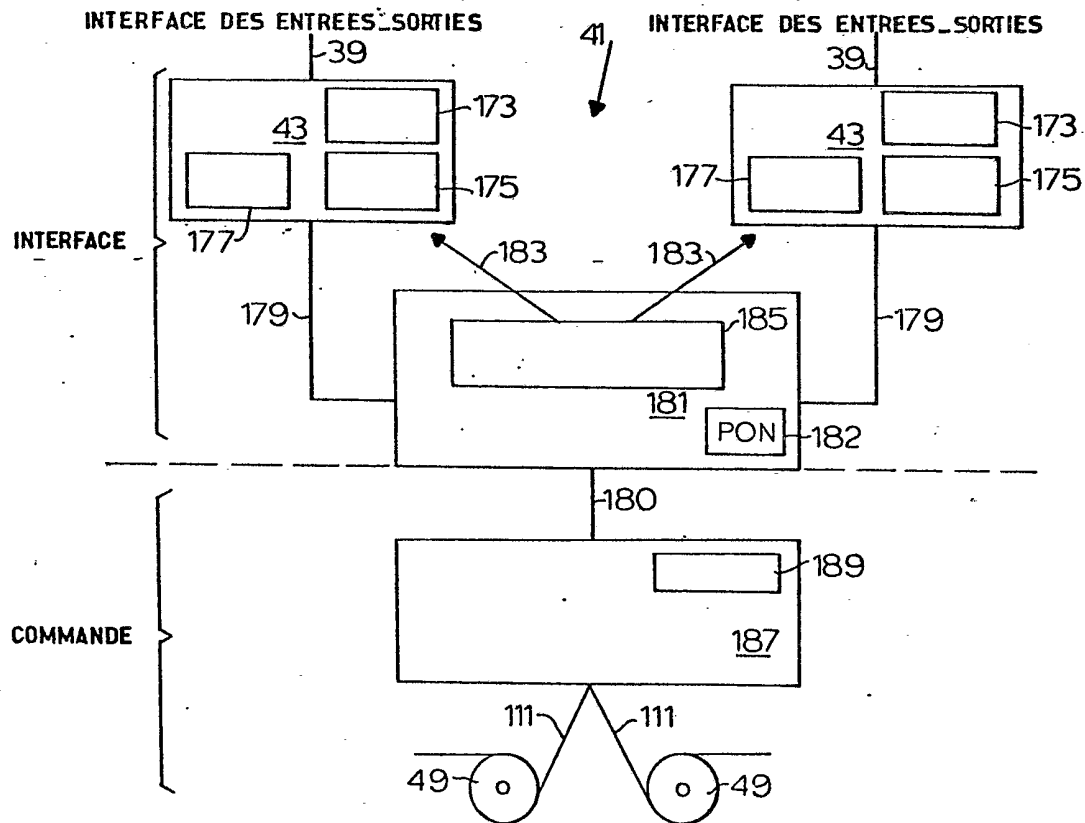
FIG. 17 INTERROGATION DES ENTREES_SORTIES
(INTERROGATION HAUTEMENT PRIORITAIRE
DES ENTREES_SORTIES)

FIG.18

INSTRUCTIONS DANS LA LIGNE T	
FONCTIONS	MNEMONIQUES
INACTIVITE	NOP
SELECTION EN SORTIE	SEL
DESELECTION	DSEL
INSTRUCTION DE SUSPENSION D'EXECUTION	ABTI
ADRESSE ET INSTRUCTION D'IMPLANTATION	LAC
PARAMETRE D'IMPLANTATION	LPRM
TRANSMISSION DE DONNEES DE SUSPENSION D'EXECUTION	ABTD
DONNEES "EN SORTIE"	SORTIE
BALAYAGE D'INTERRUPTION FORTEMENT PRIORITAIRE	HPOL
BALAYAGE D'INTERRUPTION FAIBLEMENT PRIORITAIRE	LPOL
BALAYAGE D'INTERRUPTION DE RECONNEXION	RPOL
ADRESSE ET INSTRUCTION DU DISPOSITIF DE LECTURE	RAC
ETAT DU DISPOSITIF DE LECTURE	RDST
ETAT D'INTERRUPTION DE LECTURE	RIST
CAUSE D'INTERRUPTION DE LECTURE	RIC
DONNEES "EN ENTREE"	ENTREE

FORMAT DE LIGNE D																			
FONCTION LIGNE T		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
ADRESSE ET INSTRUCTION D'IMPLANTATION		INSTRUCTION										N° D'APPAREIL				N° D'UNITE			
ETAT DU DISPOSITIF DE LECTURE		O I B P																ETAT	

FIG.19



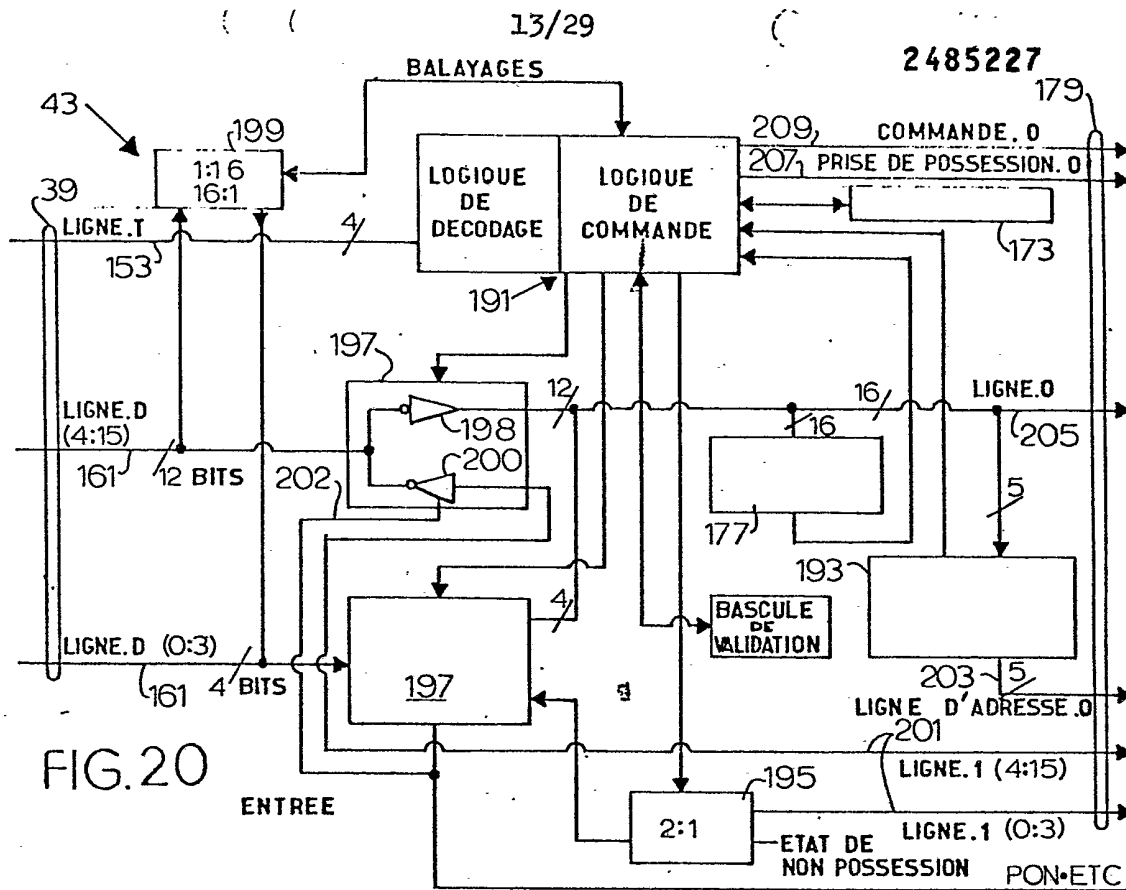


FIG. 21 LOGIQUE COMMUNE D'INTERFACE

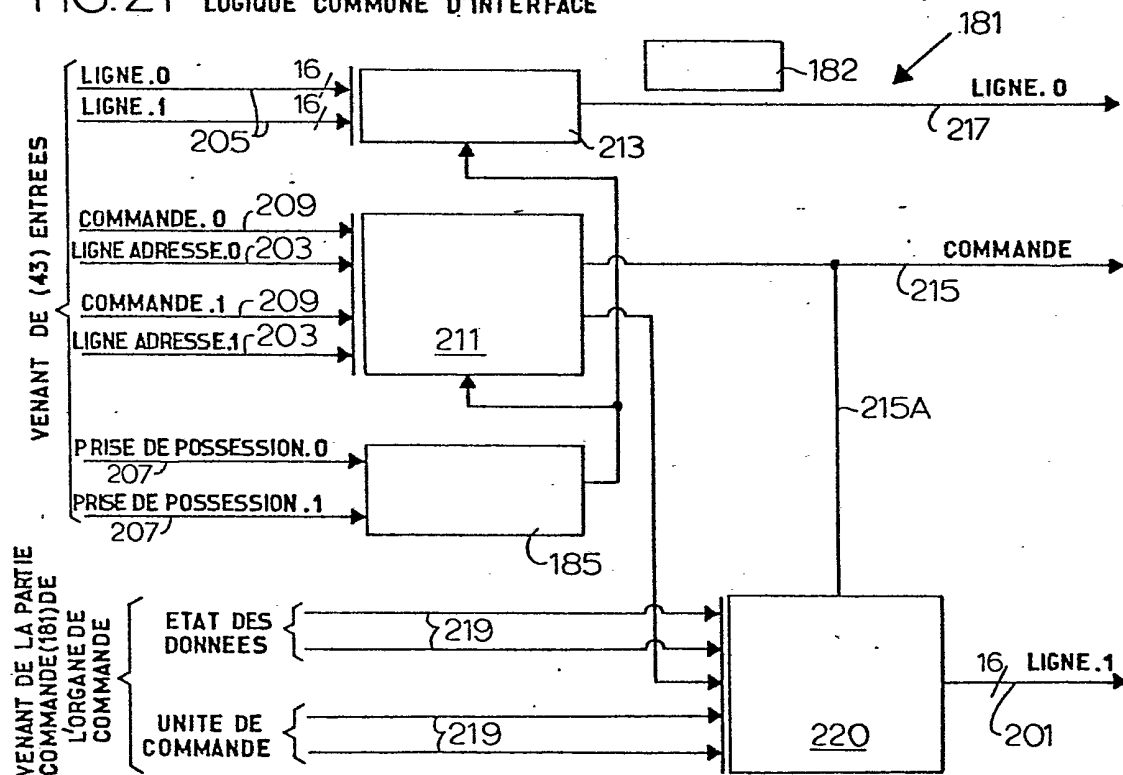


FIG. 22

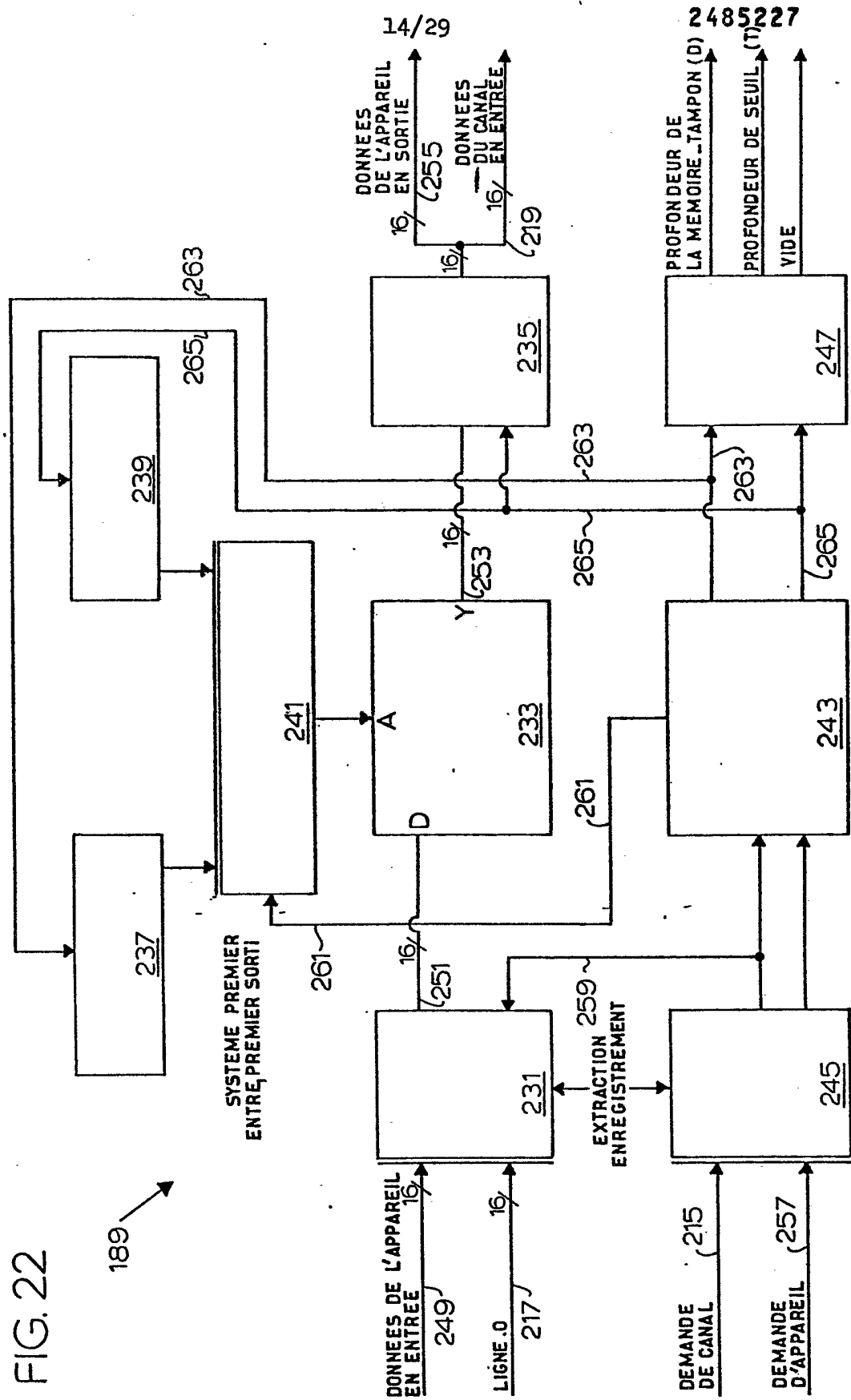
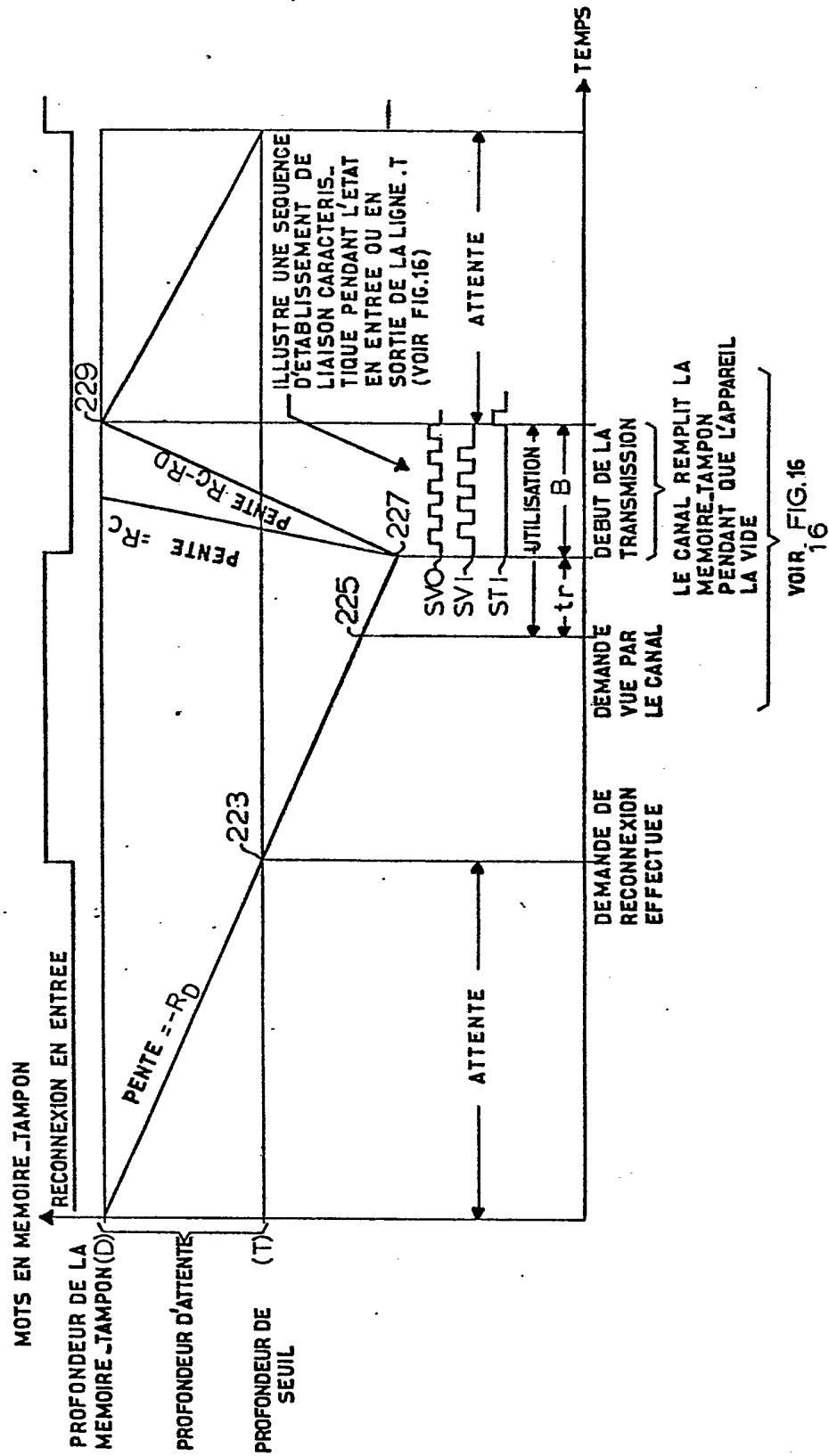


FIG. 23

ACTION DE LA MEMOIRE_TAMPON SUR UNE OPERATION DE SORTIE



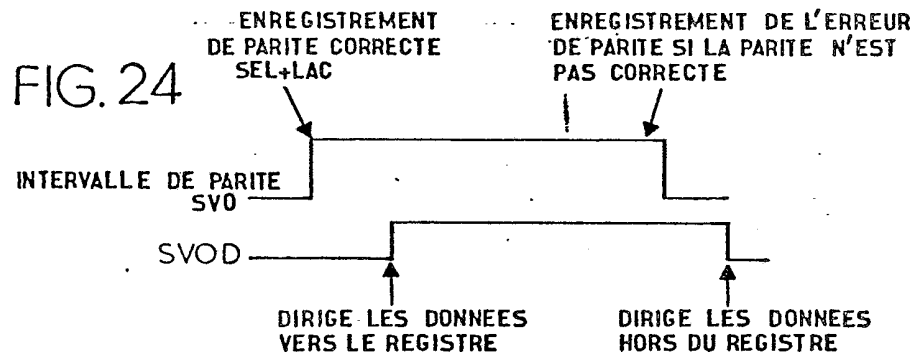
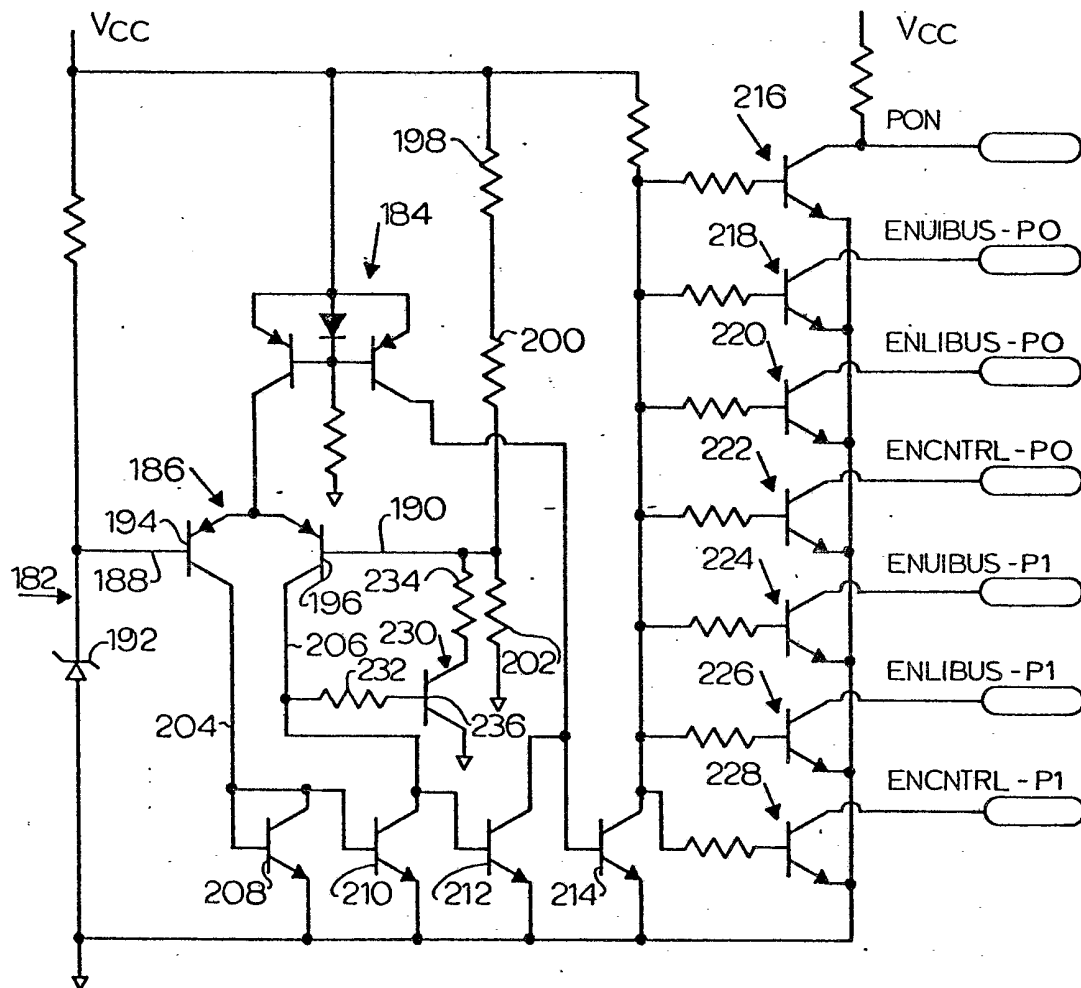
**FIG. 25**

FIG. 26

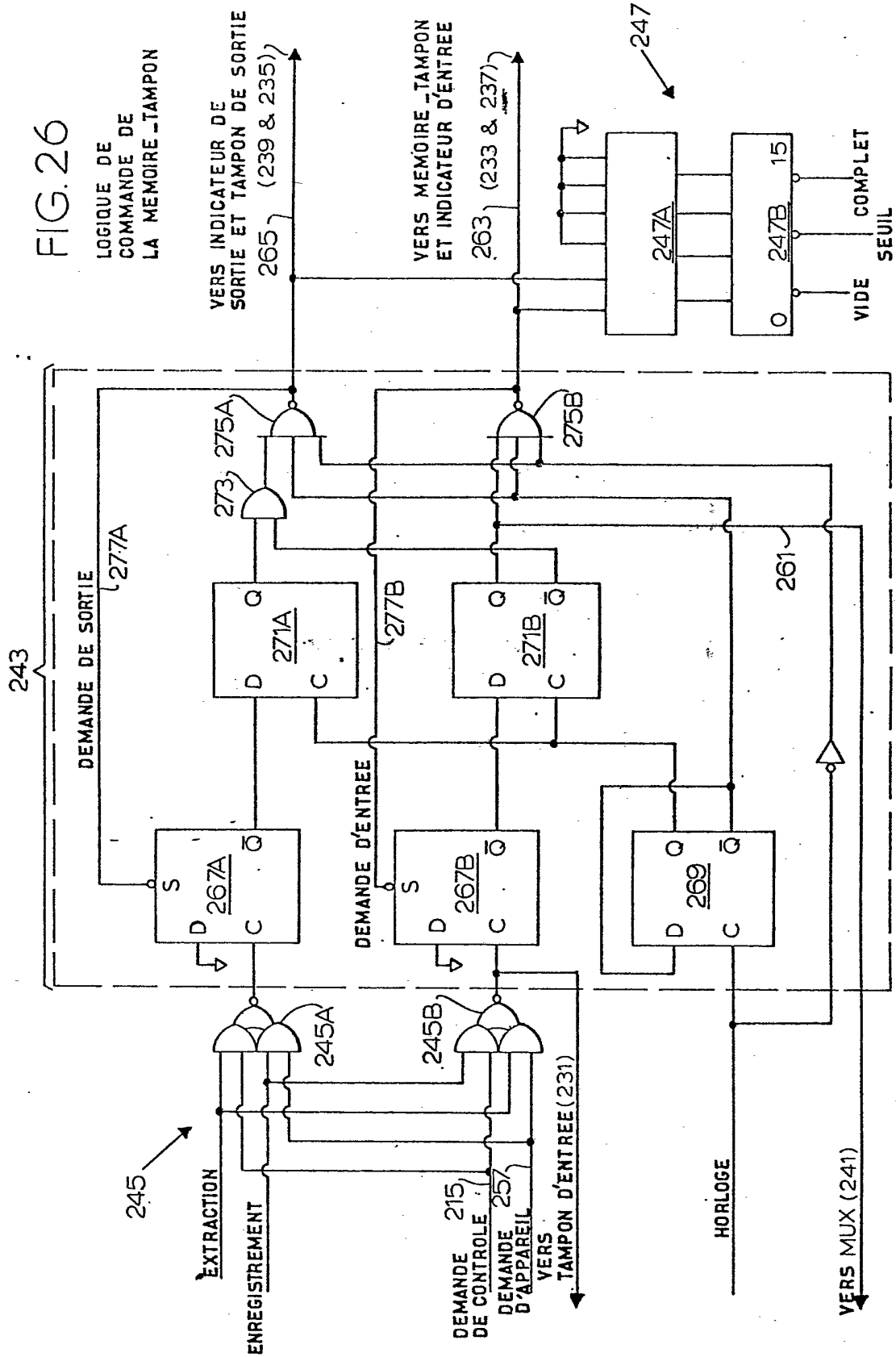
LOGIQUE DE
COMMANDE DE
LA MEMOIRE _TAMPON

FIG. 27

$$\text{SELECTION J} = (\text{LAC} \cdot \text{ADD COMP} \cdot \text{PAROK FF}) + (\text{SEL} \cdot \text{OWN} \cdot \text{ENABLE} \cdot \text{RANK} \cdot \text{PAROK FF} \cdot \text{SELBIT})$$

$$\text{K} = \text{ENSTOPIN} \cdot (\text{DATA IN} + \text{DATA OUT}) + \text{ABTD} + \text{ABTI} + \text{DSEL} + \text{LAC} \cdot \text{ADD COMP} \cdot \text{PAROK} + \text{SEL} \cdot \text{RANK} \cdot \text{SELBIT} \cdot \text{PAROK}$$

$$\text{CLK} = \text{SVO TE}$$

FIG. 28

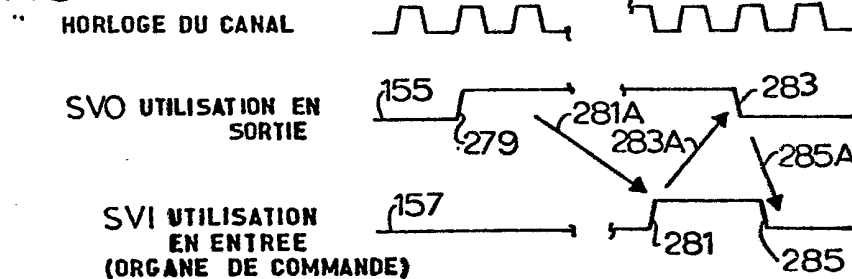


FIG. 29

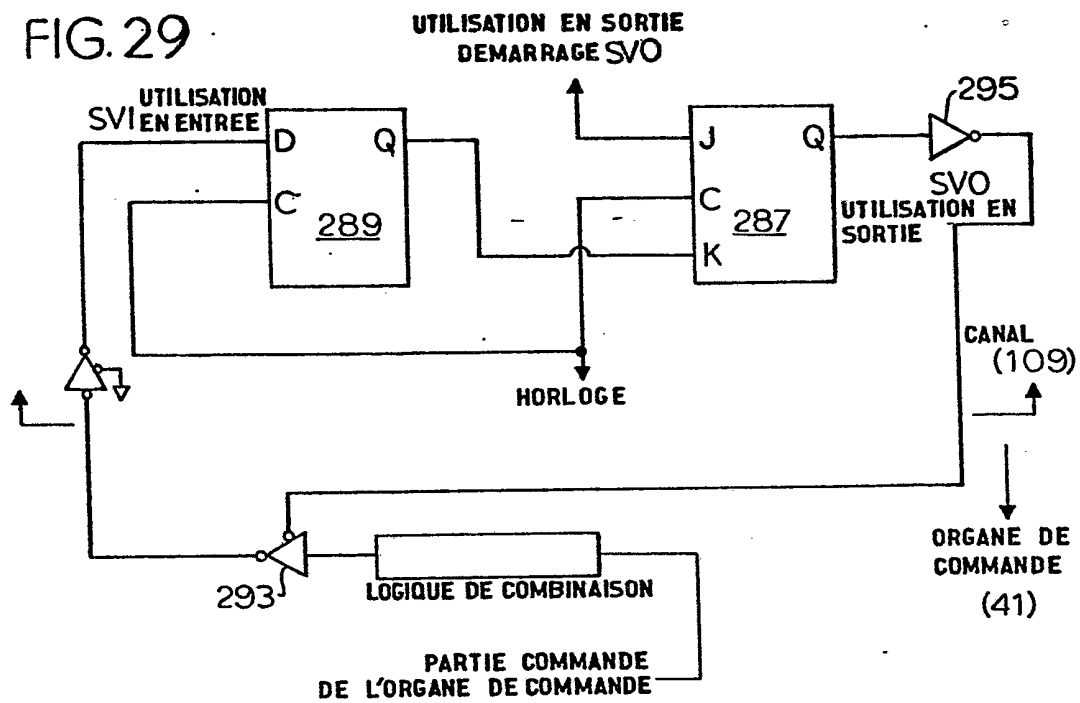


FIG. 30

19/29

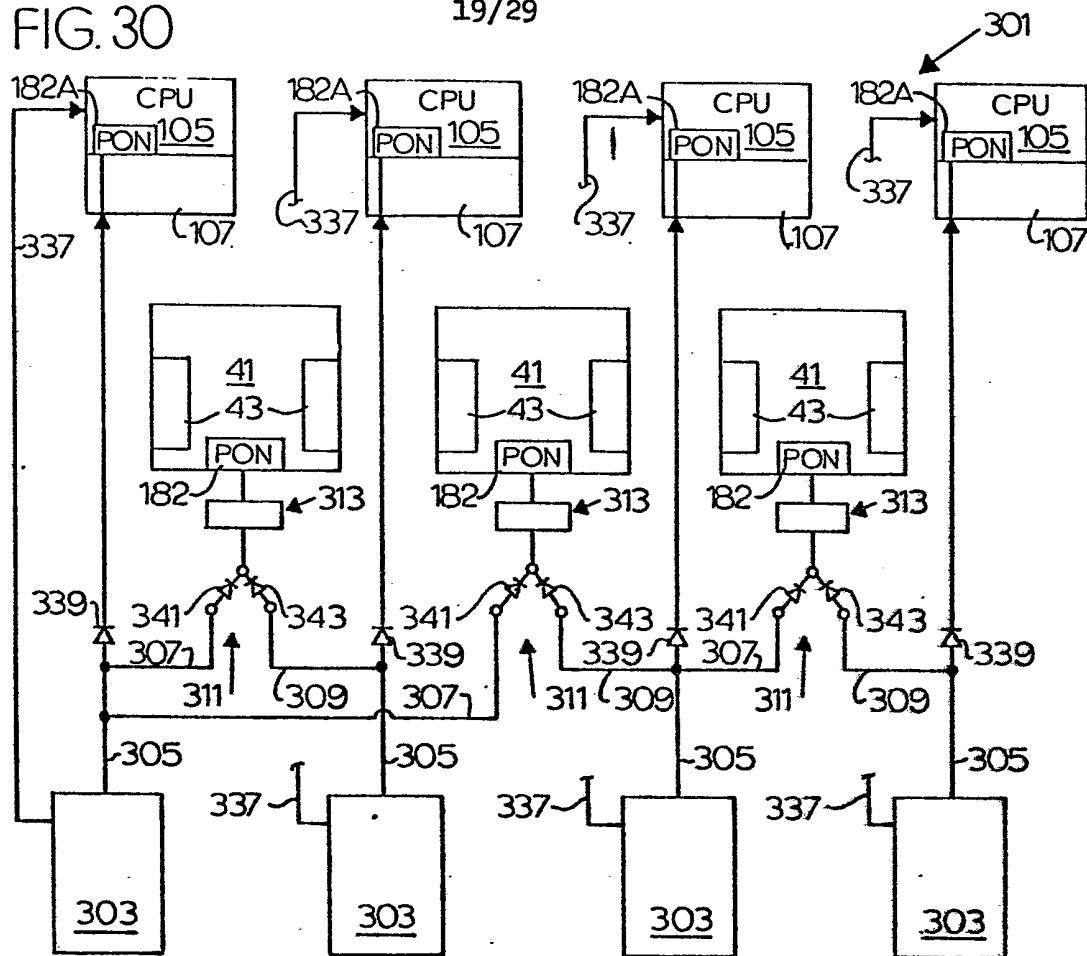
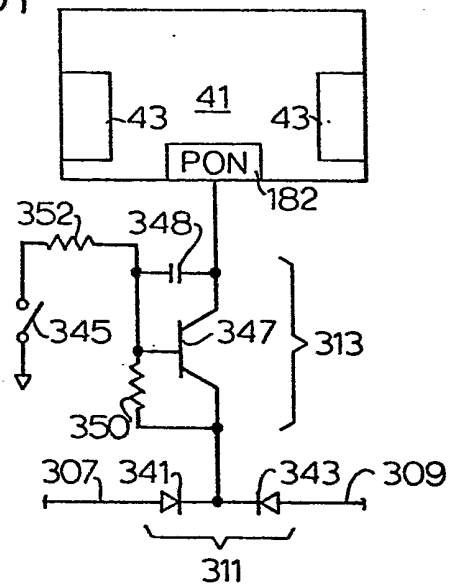


FIG. 31



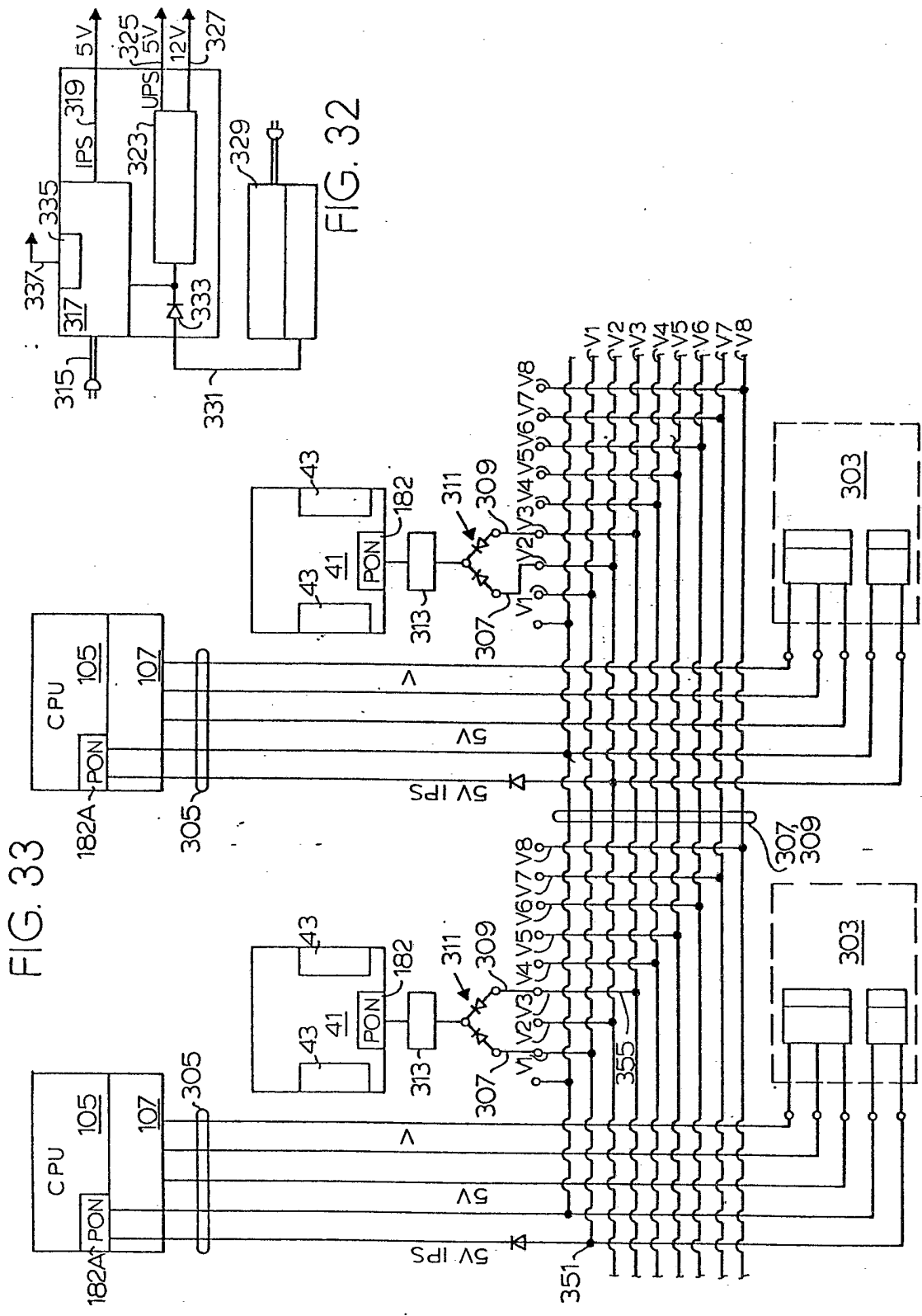


FIG. 34

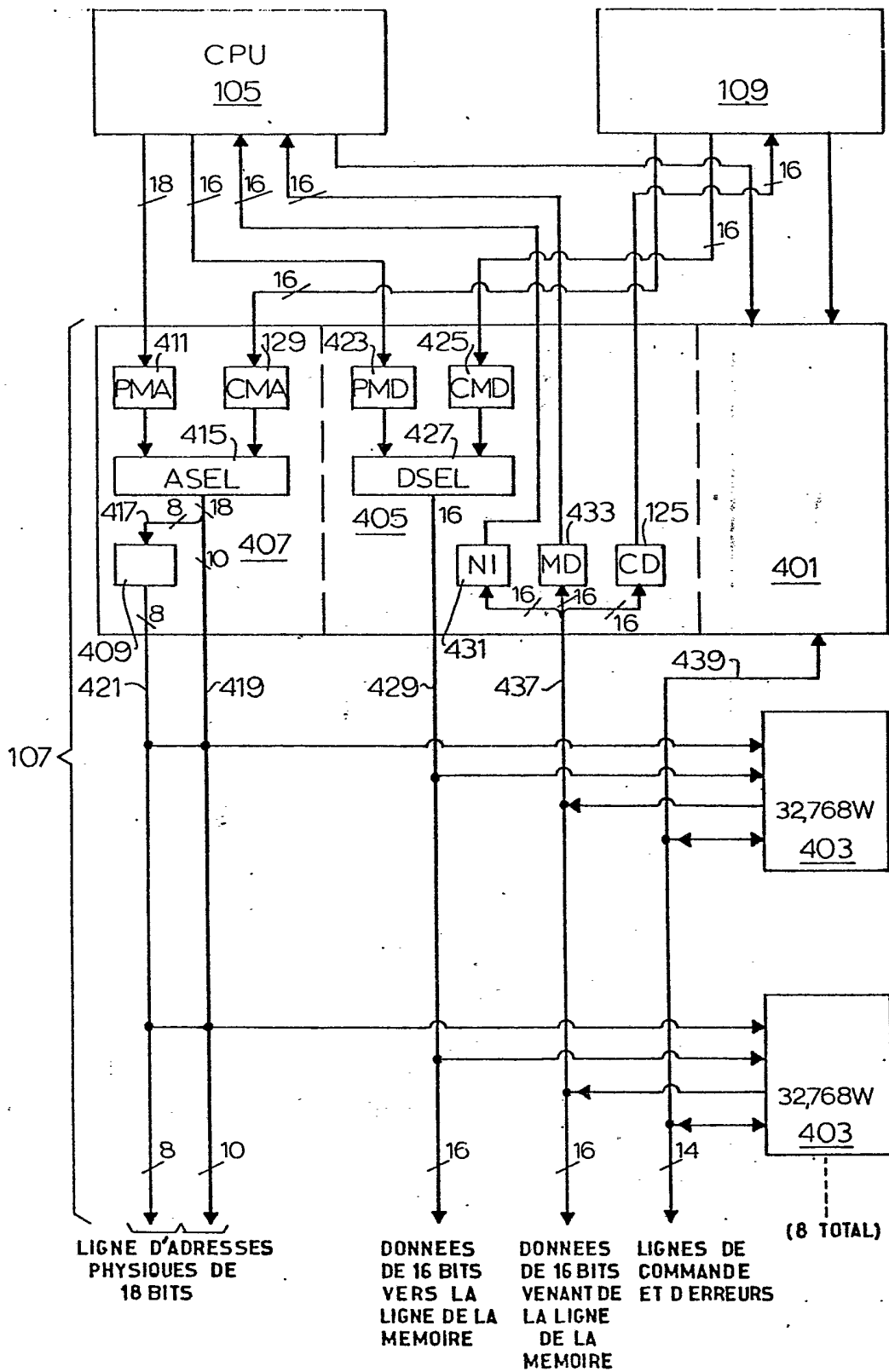
SCHEMA DE FONCTIONNEMENT
DU SYSTEME DE MEMOIRE

FIG.35 SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DE LA PARTIE DE RELEVÉ

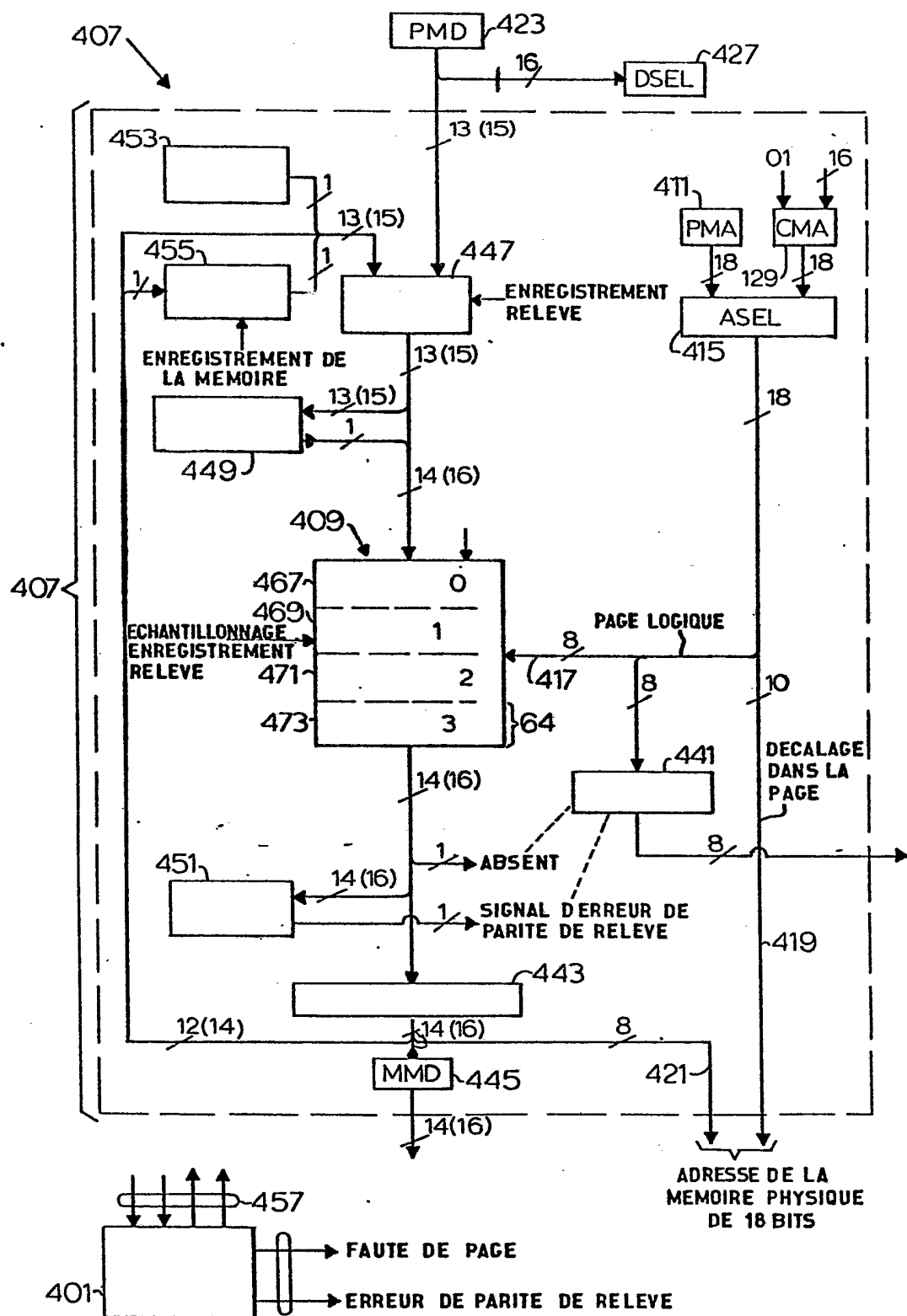


FIG. 36 MEMOIRE LOGIQUE

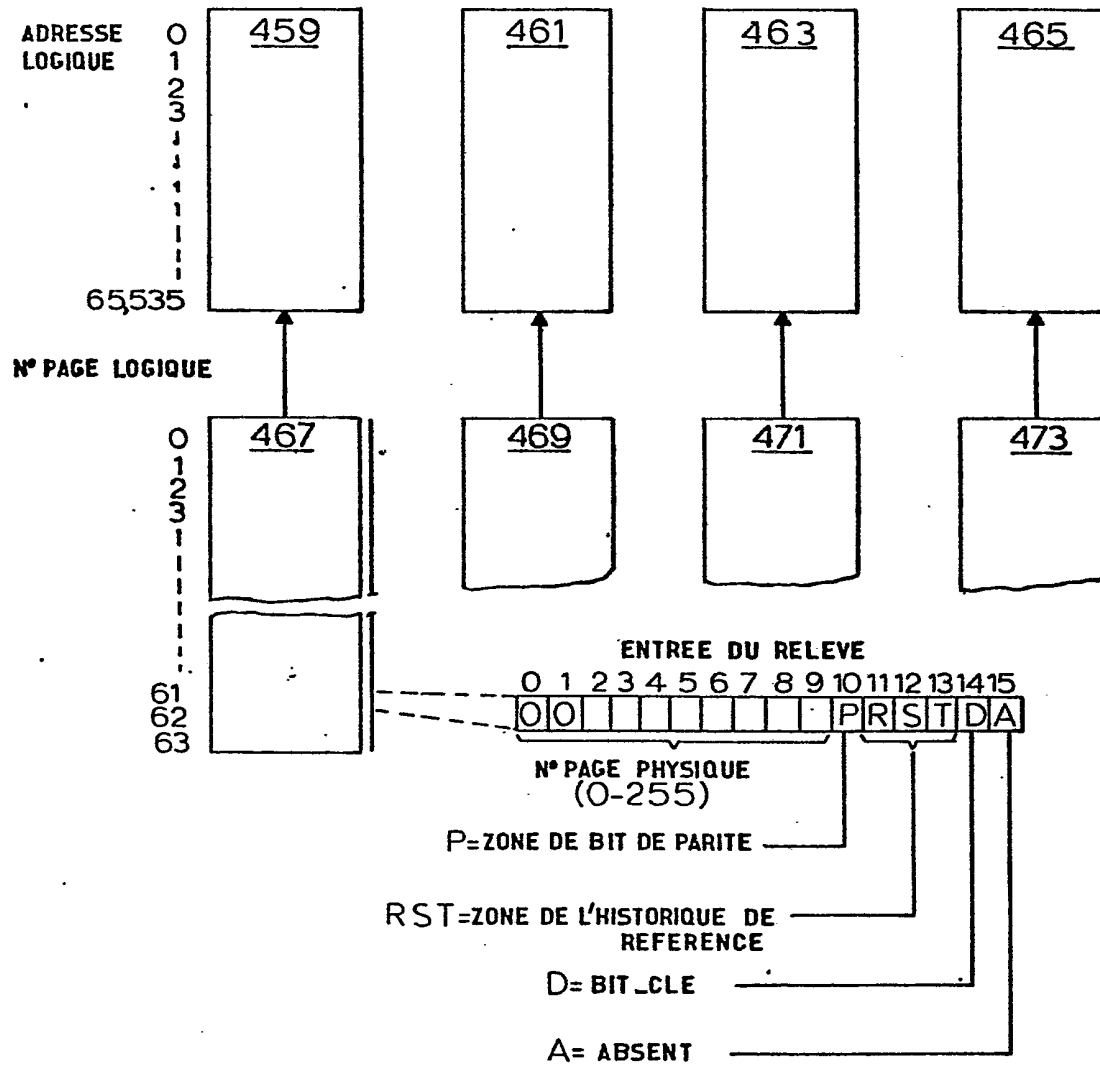
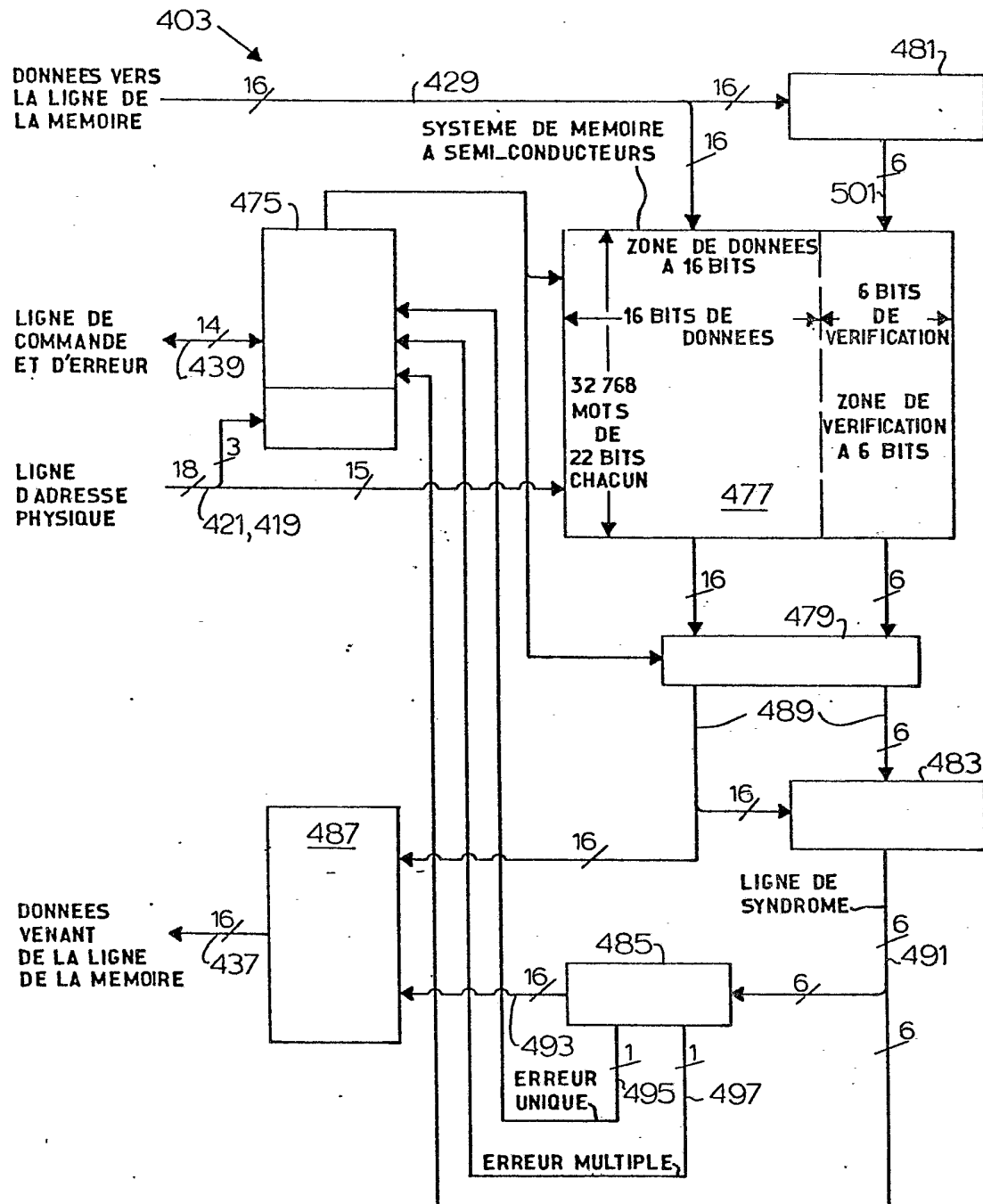


FIG. 37



SCHEMA DE FONCTIONNEMENT
DU MODULE DE MEMOIRE A SEMI-CONDUCTEURS

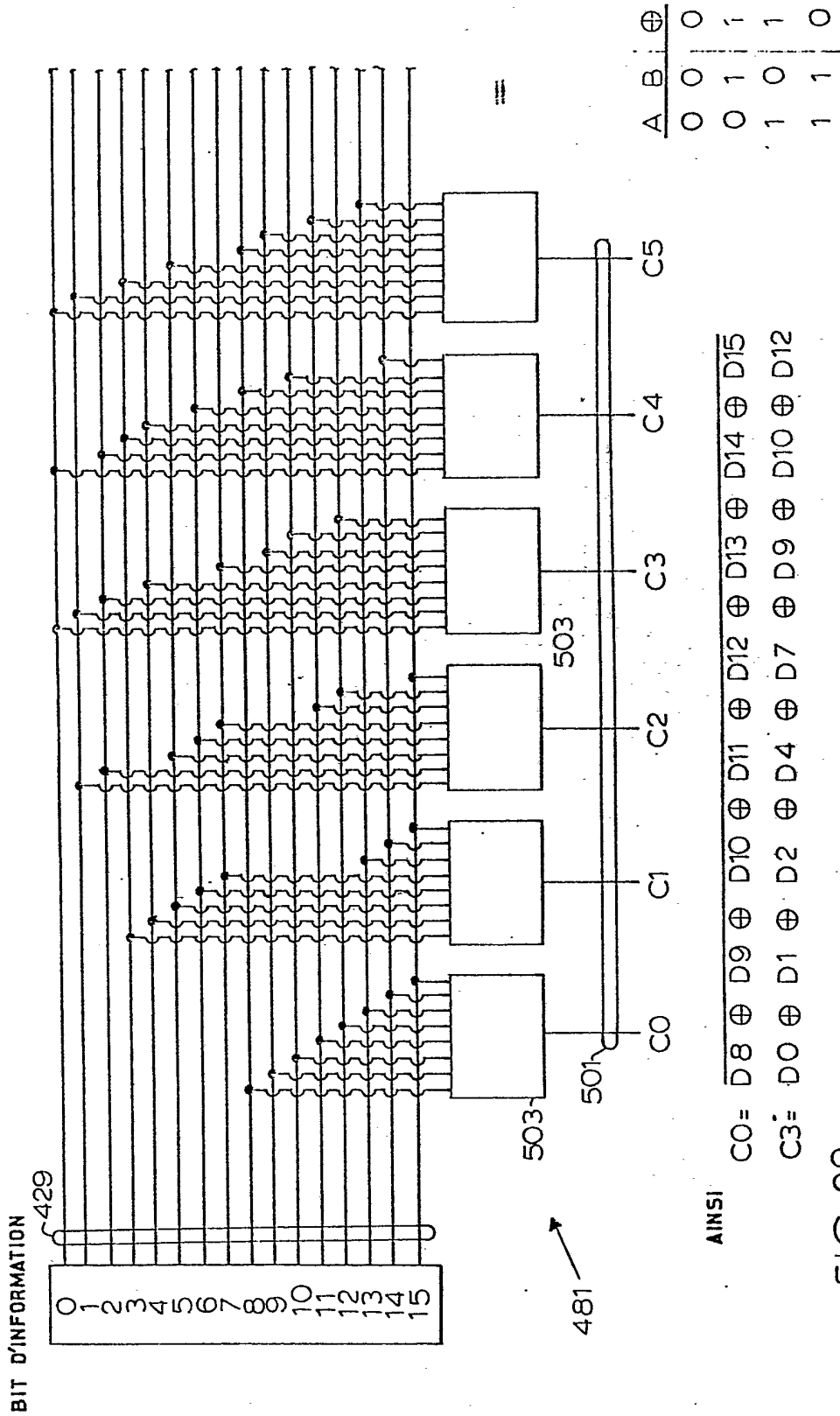


FIG. 38 GENERATEUR DE BITS DE CONTROLE

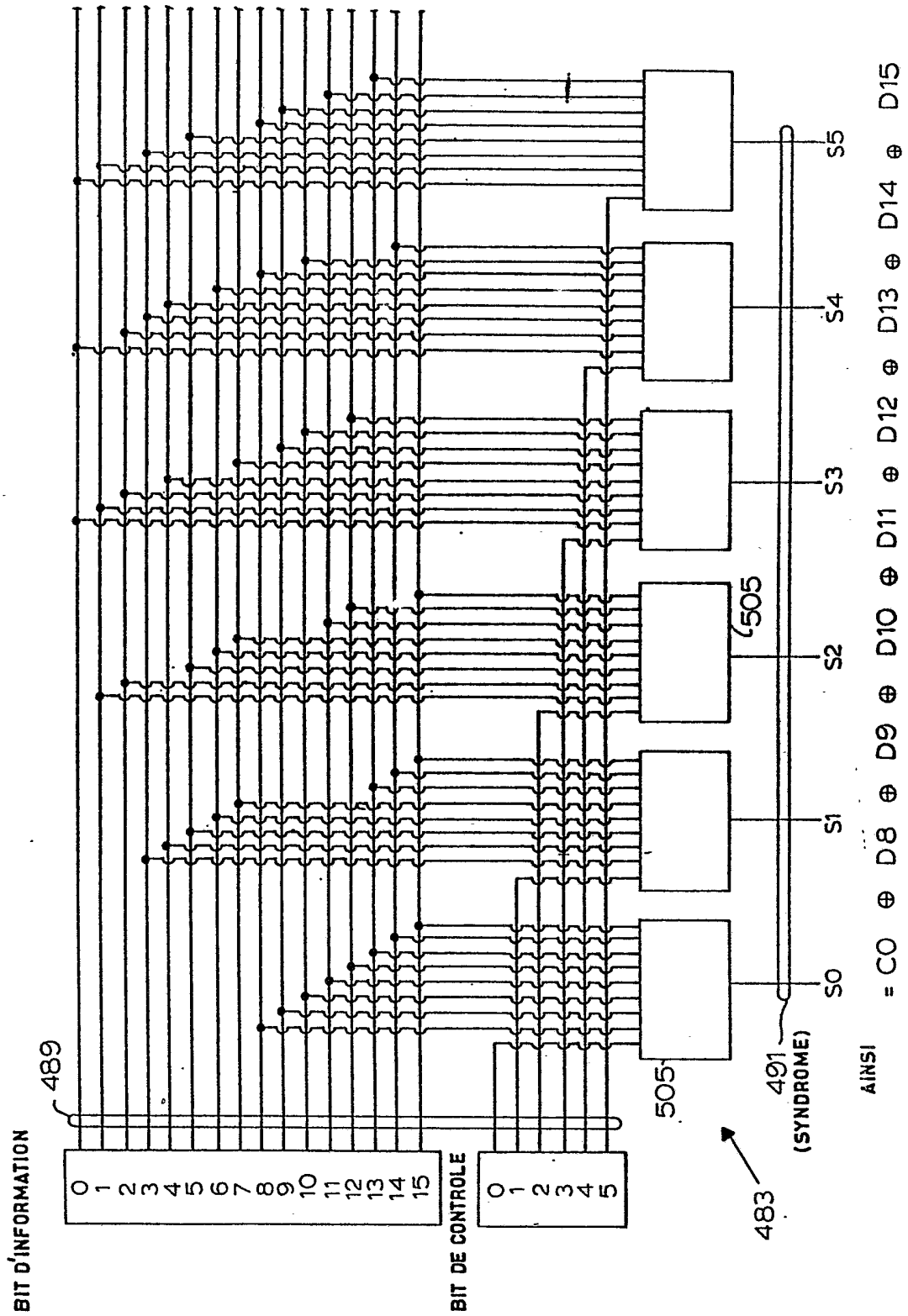
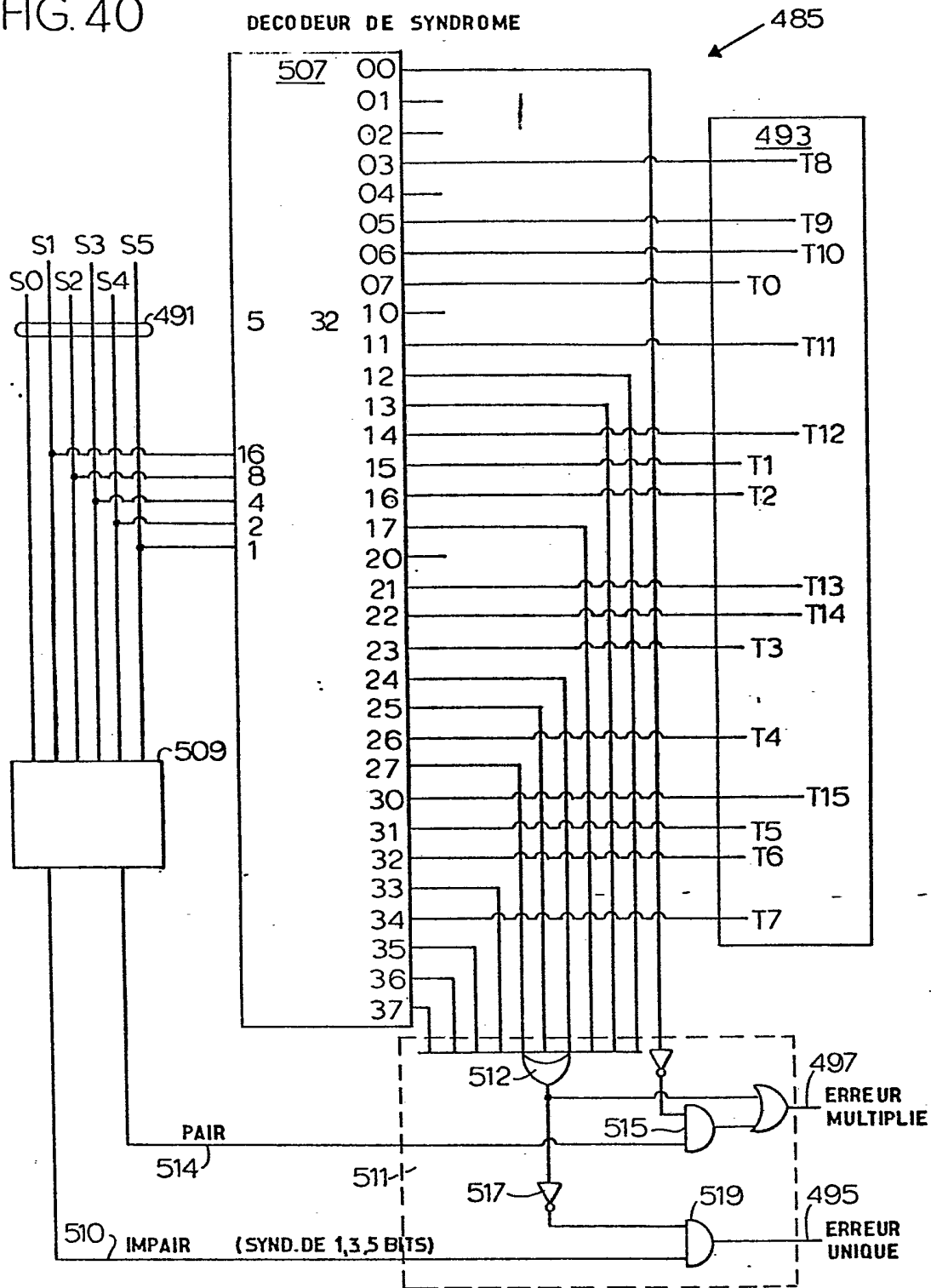


FIG. 39 COMPAREUR DE BITS DE CONTRÔLE

FIG. 40

DECODEUR DE SYNDROME



$$\begin{aligned} \text{IMPAIR} &= \overline{\text{PAIR}} = S_0 \oplus S_1 \oplus S_2 \oplus S_3 \oplus S_4 \oplus S_5 \\ \text{ERREUR MULTIPLE} &= \text{MULTIPLE} + \text{PAIR} \cdot \overline{S_1} \cdot \overline{S_2} \cdot \overline{S_3} \cdot \overline{S_4} \cdot \overline{S_5} \\ \text{ERREUR UNIQUE} &= \text{IMPAIR} \cdot \text{MULTIPLE} \end{aligned}$$

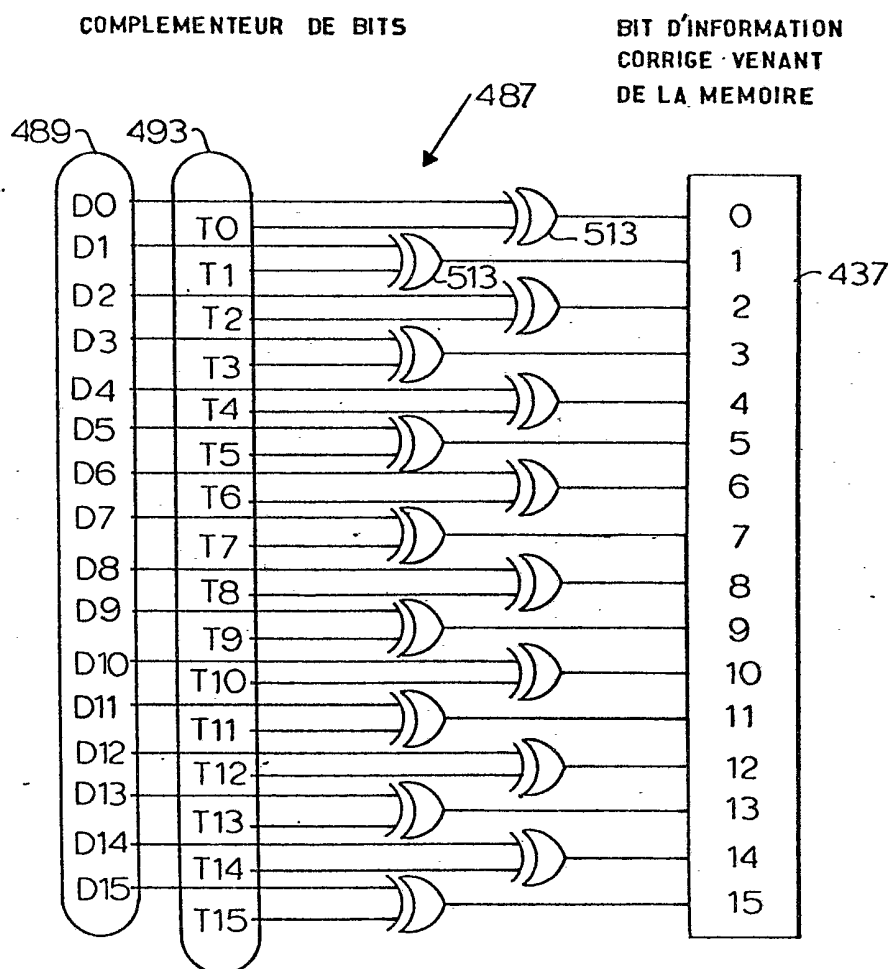


FIG. 41

