

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
6 avril 2017 (06.04.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale

WO 2017/055732 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G06F 13/12 (2006.01) **G06F 13/40** (2006.01)

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2016/052450

(22) Date de dépôt international :
27 septembre 2016 (27.09.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1559321 1 octobre 2015 (01.10.2015) FR
1650186 11 janvier 2016 (11.01.2016) FR

(71) Déposant : UPMEM [FR/FR]; 2 Square Roger Génin, 38000 Grenoble (FR).

(72) Inventeurs : DEVAUX, Fabrice; 10 Chemin de la Valleyre, 1052 Le Mont Sur Lausanne (CH). ROY, Jean-François; c/o UPMEM, 2 Square Roger Génin, 38000 Grenoble (FR).

(74) Mandataire : CABINET BEAUMONT; 1 Rue Champollion, 38000 Grenoble (FR).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : COMPUTER DEVICE PROVIDED WITH PROCESSING IN MEMORY AND NARROW ACCESS PORTS

(54) Titre : DISPOSITIF INFORMATIQUE MUNI DE TRAITEMENT EN MEMOIRE ET DE PORTS D'ACCES ETROITS

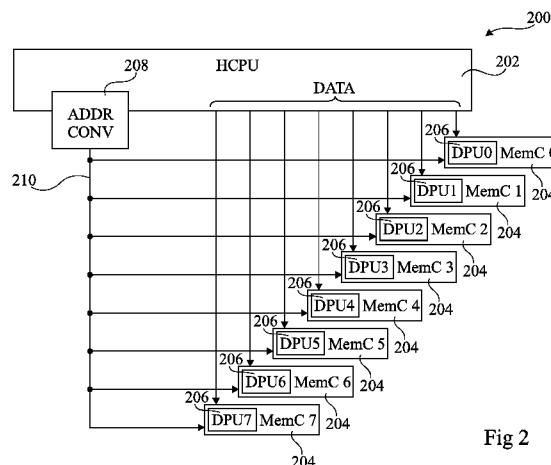


Fig 2

(57) Abstract : The invention relates to a computer device which comprises: a first processing device (202); a plurality of memory circuits (204), a first one of which comprises one or more other processing devices (206); a data bus (DATA) coupling the first processing device (202) to each of the memory circuits (204), each of the memory circuits (204) having a data port with a width of m bits and the data bus having a width of n bits, n being higher than m, the first processing device and/or another circuit (208) being suitable for reading or writing the data value of n bits in the first memory circuit (204) by converting the first address into a plurality of second addresses corresponding to memory locations of m bits in the first memory circuit, and by performing the reading or writing operation of the data value of n bits in the first memory circuit over a plurality of memory access operations.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



L'invention concerne un dispositif informatique comprenant: un premier dispositif de traitement (202); une pluralité de circuits mémoire (204), dont un premier comprend un ou plusieurs autres dispositifs de traitement (206); un bus de données (DATA) couplant le premier dispositif de traitement (202) à chacun des circuits mémoire (204), chacun des circuits mémoire (204) ayant un port de données qui a une largeur de m bits et le bus de données ayant une largeur de n bits, n étant supérieur à m, le premier dispositif de traitement et/ou un autre circuit (208) étant adaptés à lire ou écrire la valeur de données de n bits dans le premier circuit mémoire (204) en convertissant la première adresse en une pluralité de deuxièmes adresses correspondant à des emplacements mémoire de m bits dans le premier circuit mémoire, et en réalisant l'opération de lecture ou d'écriture de la valeur de données de n bits dans le premier circuit mémoire sur une pluralité d'opérations d'accès mémoire.

**DISPOSITIF INFORMATIQUE MUNI DE TRAITEMENT EN MEMOIRE ET DE
PORTS D'ACCES ETROITS**

La présente demande de brevet revendique la priorité des demandes de brevet français FR15/59321 et FR16/50186 qui seront considérées comme faisant partie intégrante de la présente 5 description.

Domaine de l'invention

La présente description concerne le domaine du "traitement en mémoire", et en particulier un dispositif informatique et un procédé impliquant des circuits mémoire 10 comportant un ou plusieurs processeurs et un bus de données de faible largeur.

Exposé de l'art antérieur

Les ordinateurs modernes comprennent en général un circuit de traitement, souvent mis en oeuvre sous la forme d'un 15 système sur une puce (SoC), couplé à un ou plusieurs circuits de mémoire dynamique à accès aléatoire (DRAM). De telles mémoires, qui en général nécessitent une opération de rafraîchissement périodique, sont denses et relativement rapides d'accès, et sont ainsi utilisées comme stockage principal de données en RAM dans 20 la plupart des ordinateurs. Toutefois, au vu des quantités

toujours croissantes de données à transférer entre le SoC et les circuits DRAM, de tels transferts de données tendent à ralentir le fonctionnement de l'ordinateur et conduisent à une consommation d'énergie relativement élevée.

5 Une solution qui a été proposée consiste à prévoir des circuits DRAM comportant un ou plusieurs processeurs intégrés dedans, en plus des processeurs hôtes principaux se trouvant dans le SoC. Une telle solution réduit le volume de transfert de données entre le circuit DRAM et les processeurs hôtes en permettant de 10 déléguer certaines tâches de traitement de données aux processeurs des DRAM, de sorte que ces tâches de traitement peuvent être réalisées tout en évitant des transferts de données entre le circuit DRAM et les processeurs hôtes.

15 Une difficulté dans l'utilisation d'un processeur de données se trouvant dans une puce mémoire est que chaque puce mémoire peut ne pas voir la totalité de la largeur de bus du processeur hôte. En effet, il est de pratique courante de prévoir une série de puces mémoires dont chacune est couplée à une tranche correspondante du bus de données du processeur hôte. Les avantages 20 d'un tel découpage en tranches du bus de données comprennent le fait que les boîtiers des puces peuvent avoir des ports de données relativement étroits, ce qui signifie moins de broches, et ainsi une consommation d'énergie réduite. En outre, les ports de données étroits permettent de construire des systèmes mémoire à grande 25 capacité sans avoir besoin de puces d'amplificateurs tampons supplémentaires, dont l'utilisation augmenterait le coût, la consommation d'énergie, la latence et diminuerait la fréquence de fonctionnement et par conséquent la bande passante. Vu le port de données étroit de chaque puce mémoire, un processeur de la puce 30 mémoire sera incapable de traiter des données fournies sur la largeur totale du processeur hôte.

Il existe donc un problème technique pour obtenir un système permettant un traitement en mémoire dans des puces de mémoire ayant des bus de données étroits.

Résumé

Un objet des modes de réalisation de la présente description est de répondre au moins partiellement à un ou plusieurs problèmes de l'art antérieur.

5 Selon un aspect, on prévoit un dispositif informatique comprenant : un premier dispositif de traitement ; une pluralité de circuits mémoire, au moins un premier des circuits mémoire comprenant un ou plusieurs autres dispositifs de traitement ; un bus de données couplant le premier dispositif de traitement à chacun des circuits mémoire, dans lequel chacun des circuits mémoire a un port de données qui a une largeur de m bits et le bus de données a une largeur de n bits, n étant supérieur à m , le port de données de chaque circuit mémoire étant couplé par exemple à une tranche correspondante de m bits du bus de données, le premier dispositif de traitement étant adapté à fournir une ou plusieurs premières adresses pour une valeur de données de n bits à lire ou écrire par l'intermédiaire du bus de données, dans lequel le premier dispositif de traitement et/ou un autre circuit sont adaptés à lire ou écrire la valeur de données de n bits dans le premier circuit mémoire en convertissant la première adresse en une pluralité de deuxièmes adresses correspondant à des emplacements mémoire de m bits dans le premier circuit mémoire, au moins deux de la pluralité de deuxièmes adresses étant des adresses contiguës ; et en réalisant l'opération de lecture ou d'écriture de la valeur de données de n bits dans le premier circuit mémoire sur une pluralité d'opérations d'accès mémoire.

10

15

20

25

Selon un mode de réalisation, chaque autre dispositif de traitement comprend un ou plusieurs processeurs configurés pour effectuer des opérations de traitement des données stockées par le premier circuit mémoire sur la base de commandes fournies par le premier dispositif de traitement.

Selon un mode de réalisation, la largeur n du bus de données est un multiple p de la largeur m du port de données de chaque circuit mémoire, et il y a p circuits mémoire.

Selon un mode de réalisation, la conversion d'adresse comprend une permutation d'adresses telle qu'un ou plusieurs des bits les plus significatifs desdites une ou plusieurs premières adresses deviennent un ou plusieurs bits les moins significatifs 5 de la pluralité de deuxièmes adresses désignant le premier circuit mémoire.

Selon un mode de réalisation, lesdites une ou plusieurs premières adresses sont des adresses dans un espace d'adressage (HGAS) du premier dispositif de traitement, et les adresses de la 10 pluralité de deuxièmes adresses sont des adresses dans un espace d'adressage local desdits un ou plusieurs autres dispositifs de traitement, l'espace d'adressage local étant linéaire ou linéaire par segments.

Selon un mode de réalisation, le dispositif informatique 15 comprend en outre un cache de données, et un circuit de permutation de données adapté à réaliser une permutation de ligne de cache sur une ou plusieurs lignes du cache de données, le cache de données comportant des lignes de cache mémorisant chacune une pluralité de mots de données, chaque mot de données comprenant 20 une pluralité d'octets de données, la permutation de ligne de cache mémorisant les octets formant un premier des mots de données dans des emplacements de mémorisation du cache associés au premier circuit mémoire.

Selon un mode de réalisation, le cache de données est 25 couplé aux circuits mémoire par l'intermédiaire d'un bus de données, et le circuit de permutation de données est un circuit de transposition d'octets couplé entre le bus de données et le cache de données et adapté à réaliser la permutation de ligne de cache de chaque valeur de données mémorisée dans ou chargée à 30 partir du cache.

Selon un mode de réalisation, le premier dispositif de traitement et/ou un autre circuit sont adaptés à déterminer si lesdites une ou plusieurs premières adresses tombent dans un segment d'adresses associé à un ou plusieurs des autres 35 dispositifs de traitement, et à réaliser la conversion d'adresse

si lesdites une ou plusieurs premières adresses tombent dans le segment d'adresses.

Selon un mode de réalisation, une pluralité de bits les moins significatifs de la première adresse est identique à une 5 pluralité de bits les moins significatifs de l'une des deuxièmes adresses.

Selon un mode de réalisation, un registre de commande de plus de m bits est mappé vers l'espace d'adressage du premier circuit mémoire, le registre de commande comprenant au moins un 10 bit de commande, le premier dispositif de traitement étant adapté à réaliser une opération d'écriture dans le registre de commande sur une pluralité d'opérations d'accès mémoire, un octet du registre de commande comprenant le bit de commande étant écrit par une opération finale des opérations d'accès en mémoire et 15 impliquant une modification du bit de commande.

Selon un mode de réalisation, le premier circuit mémoire est une puce de circuit intégré intégrant une matrice mémoire et lesdits un ou plusieurs autres dispositifs de traitement.

Selon un mode de réalisation, le premier circuit mémoire 20 comprend une première puce de circuit intégré comprenant une matrice mémoire et une autre puce de circuit intégré comprenant lesdits un ou plusieurs autres dispositifs de traitement.

Selon un mode de réalisation, le premier circuit mémoire comprend une pluralité d'autres dispositifs de traitement, chacun 25 étant associé à un espace d'adressage correspondant de la matrice mémoire.

Selon un mode de réalisation, le premier dispositif de traitement comprend un ou plusieurs circuits de code de correction 30 d'erreur (ECC) adaptés à insérer un ou plusieurs bits ECC dans chaque valeur de m bits.

Selon un mode de réalisation, le premier dispositif de traitement comprend un ou plusieurs circuits de code de correction d'erreur (ECC) adaptés à générer des bits ECC à mémoriser dans le premier circuit mémoire pendant une autre opération d'accès 35 mémoire.

Selon un autre aspect, on prévoit un procédé comprenant : réaliser, par un premier dispositif de traitement, une opération de lecture ou d'écriture d'une valeur de données de n bits dans un premier circuit mémoire d'une pluralité de circuits mémoire par l'intermédiaire d'un bus de données couplant le premier dispositif de traitement à chacun des circuits mémoire, le premier circuit mémoire comprenant un ou plusieurs autres dispositifs de traitement, dans lequel chacun des circuits mémoire comporte un port de données qui a une largeur de m bits et le bus de données a une largeur de n bits, n étant supérieur à m , le port de données de chaque circuit mémoire étant couplé par exemple à une tranche correspondante de m bits du bus de données, l'opération de lecture ou d'écriture comprenant : fournir, par le premier dispositif de traitement, une ou plusieurs premières 15 d'adresses pour une valeur de données de n bits à lire ou écrire par l'intermédiaire du bus de données ; convertir la première adresse en une pluralité de deuxièmes adresses correspondant à des emplacements mémoire de m bits dans le premier circuit mémoire, au moins deux de la pluralité de deuxièmes adresses étant 20 des adresses contiguës ; et réaliser l'opération de lecture ou d'écriture de la valeur de données de n bits dans le premier circuit mémoire sur une pluralité d'opérations d'accès mémoire.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre la réalisation, par le premier dispositif de traitement, 25 d'une permutation de ligne de cache sur une ou plusieurs lignes d'un cache de données, le cache de données comportant des lignes de cache mémorisant chacune une pluralité de mots de données, chaque mot de données comprenant une pluralité d'octets de données, la permutation de ligne de cache mémorisant lesdits 30 octets formant un premier des mots de données dans des emplacements de mémorisation du cache associés au premier circuit mémoire.

Selon un autre aspect, on prévoit un support de stockage électronique mémorisant des instructions de programme qui amènent,

lorsqu'elles sont exécutées par le premier dispositif de traitement, la mise en œuvre du procédé susmentionné.

Selon un autre aspect, on prévoit un système informatique dans lequel un processeur hôte est connecté à plusieurs puces mémoire, ces puces mémoire intégrant un ou plusieurs processeurs de données, la connexion entre ces puces mémoire et le processeur hôte étant réalisée par un bus de données plus large que le port de données de ces puces mémoire, ces puces mémoire étant connectées au bus de données dans un mode de données parallèle pour concorder avec la largeur du bus de données.

Selon un mode de réalisation, un espace d'adressage linéaire, ou linéaire par segments, est défini, cet espace d'adressage permettant d'accéder de façon linéaire, ou linéaire par segments, à la mémoire de chaque puce mémoire.

Selon un mode de réalisation, une fonction de conversion d'adresse entre ce nouvel espace d'adressage et l'espace d'adressage d'origine du processeur hôte, permet au processeur hôte d'accéder à ce nouvel espace d'adressage.

Selon un mode de réalisation, la fonction de conversion d'adresse est mise en œuvre directement par du matériel.

Selon un mode de réalisation, la fonction matérielle de conversion d'adresse est configurable, et cette fonction change en fonction des segments de mémoire configurables.

Selon un mode de réalisation, le nouvel espace d'adressage comprend lui-même des sous-espaces d'adressage, ces sous-espaces d'adressage étant utilisés par les processeurs de données intégrés dans les puces mémoires, leur assurant un accès linéaire, ou linéaire par segments, à leurs mémoires accessibles.

Selon un mode de réalisation, ces sous-espaces d'adressage sont mappés de façon linéaire, ou linéaire par segments, dans le nouvel espace d'adressage.

Selon un mode de réalisation, le processeur hôte comporte un cache de données, ou un cache universel servant également de cache de données, et une permutation de ligne de cache est réalisée afin de changer la fonction de conversion

d'adresse, et de rendre cette dernière linéaire par segments, ce qui permet au processeur hôte d'accéder correctement à la mémoire accessible au processeur de données intégré dans les puces mémoires lorsque le processeur hôte utilise une instruction de 5 chargement, ou de stockage, ou une quelconque instruction accédant à la mémoire, dont la largeur d'accès à la mémoire est plus grande que le port de données des puces mémoires concernées.

Selon un mode de réalisation, la permutation de ligne de cache est mise en œuvre entièrement par du logiciel.

10 Selon un mode de réalisation, la permutation de ligne de cache est mise en œuvre entièrement par du matériel.

Selon un mode de réalisation, la permutation de ligne de cache est mise en œuvre partiellement par du logiciel et partiellement par du matériel.

15 Selon un mode de réalisation, le motif de données en rafale correspond de façon native à la permutation de ligne de cache, cela étant équivalent à avoir toujours une permutation de ligne de cache lorsque la ligne de cache est chargée à partir de la mémoire, ou mémorisée dans celle-ci.

20 Selon un mode de réalisation, plusieurs types de permutations de ligne de cache sont supportés, et des moyens de configuration permettent de spécifier des segments d'adresses et quelle sorte de permutation de ligne de cache doit être réalisée lorsqu'un accès se trouve à l'intérieur de ces segments.

25 Selon un mode de réalisation, les puces mémoires intègrent un ou plusieurs registres de commande plus large que le port de données de la puce mémoire, un processus de couleur de commande est utilisé, un changement de couleur de commande étant demandé pour qu'une nouvelle commande soit valide dans le registre 30 de commande concerné.

Selon un mode de réalisation, le processeur hôte est un système sur une puce comprenant plusieurs cœurs de processeur.

Selon un mode de réalisation, le processeur hôte est un système sur une puce comprenant plusieurs bus mémoire.

Selon un autre mode de réalisation, on prévoit un système plus grand comprenant plusieurs systèmes, chacun étant tel que défini précédemment, connectés entre eux et appartenant à un même domaine de cohérence de cache, afin de construire un 5 serveur à multiples interfaces de connexion.

Selon un mode de réalisation, chaque puce mémoire donnée est agrandie, à la fois en capacité mémoire et en largeur de port de données, afin de permettre le transfert, pendant la totalité d'une transaction en rafale, d'un code ECC couvrant la totalité 10 des données non agrandies pendant cette transaction en rafale à partir ou à destination de cette puce mémoire donnée.

Selon un mode de réalisation, chaque puce mémoire donnée est agrandie en capacité mémoire afin de permettre de mémoriser des codes ECC, les transactions en rafale sont allongées ce qui 15 permet le transfert d'un code ECC pendant une transaction en rafale, de sorte que le code ECC transféré protège la totalité des données non ECC transférées à partir ou à destination de cette puce mémoire donnée pendant une transaction en rafale.

Selon un mode de réalisation, le processeur de données 20 n'est pas intégré dans les puces mémoires, mais dans un ou plusieurs circuits additionnels, placés entre le processeur hôte et les puces mémoires.

Selon un mode de réalisation, la conversion d'adresse et/ou la permutation de ligne de cache est/sont partiellement ou 25 entièrement réalisées à l'intérieur d'un ou plusieurs circuits additionnels placés entre le processeur hôte et les puces mémoires.

Selon un aspect, on prévoit un dispositif informatique 30 comprenant : un premier processeur ; une pluralité de dispositifs mémoire, au moins un premier des dispositifs mémoire intégrant un ou plusieurs autres processeurs ; un bus de données couplant le premier processeur à chacun des dispositifs mémoire, chacun des dispositifs mémoire comportant un port de données d'une largeur de m bits et le bus de données ayant une largeur de n bits, avec 35 n supérieur à m , le premier processeur étant adapté à fournir une

première adresse pour une valeur de données de n bits à lire ou écrire par l'intermédiaire du bus de données, le premier processeur et/ou un autre circuit étant adaptés à lire ou écrire la valeur de données de n bits dans le premier dispositif mémoire
5 en convertissant la première adresse en une pluralité d'adresses correspondant à des emplacements mémoire de m bits dans le premier dispositif mémoire, au moins deux de la pluralité d'adresses étant des adresses contiguës ; et en réalisant l'opération de lecture ou d'écriture de la valeur de données de n bits dans le premier
10 dispositif mémoire sur une pluralité d'opérations d'accès mémoire.

Brève description des dessins

Les caractéristiques et avantages susmentionnés et d'autres apparaîtront clairement à la lecture de la description détaillée suivante de modes de réalisation, donnés à titre
15 d'illustration et non de limitation en faisant référence aux dessins joints, dans lesquels :

la figure 1 illustre schématiquement un exemple de dispositif informatique ;

la figure 2 illustre schématiquement un dispositif
20 informatique selon un exemple de réalisation de la présente description ;

la figure 3 illustre schématiquement des espaces d'adresses mémoire dans le dispositif informatique de la figure 2 selon un exemple de réalisation ;

25 la figure 4 illustre schématiquement un espace d'adresses mémoire de processeur hôte de la figure 3 plus en détail selon un exemple de réalisation ;

la figure 5 est un organigramme illustrant des étapes dans un procédé de réalisation d'une opération de lecture ou
30 d'écriture selon un exemple de réalisation ;

la figure 6 représente schématiquement une distribution d'octets de données dans des circuits mémoire selon un exemple de la présente description;

la figure 7 illustre schématiquement un dispositif informatique comprenant une pluralité de banques de mémoire selon un exemple de réalisation de la présente description ;

5 la figure 8 illustre schématiquement un circuit mémoire plus en détail selon un exemple de réalisation ;

la figure 9 illustre schématiquement des circuits mémoire ayant une pluralité de banques virtuelles selon un exemple de réalisation ;

10 la figure 10A illustre schématiquement un cache de données du processeur hôte de la figure 2 selon un exemple de réalisation de la présente description ;

la figure 10B illustre schématiquement un exemple de stockage de données en ligne de cache dans des espaces d'adresses de la figure 4 selon un exemple de réalisation ;

15 les figures 10C à 10F illustrent schématiquement un circuit de permutation de ligne de cache pendant un fonctionnement selon un exemple de réalisation ;

20 la figure 11 illustre schématiquement des circuits d'un dispositif informatique selon un exemple de réalisation de la présente description ;

la figure 12 représente schématiquement un stockage horizontal et vertical de codes de correction d'erreur dans des circuits mémoire selon un exemple de réalisation ;

25 la figure 13 représente schématiquement un stockage horizontal et vertical de codes de correction d'erreur dans des circuits mémoire selon un autre exemple de réalisation ; et

la figure 14 illustre schématiquement un circuit mémoire plus en détail selon un autre exemple de réalisation.

Description détaillée

30 Dans la description qui suit, on considérera que les termes suivants sont utilisés avec les définitions suivantes :

puce mémoire : circuit intégré comprenant une matrice mémoire, comme une matrice DRAM (mémoire dynamique à accès aléatoire) ou un autre type de matrice mémoire à accès aléatoire ;

module de traitement de données (DPU) : dispositif de traitement comprenant un ou plusieurs processeurs intégrés dans une puce mémoire ou associés d'une autre façon à une puce mémoire ;

5 circuit mémoire : circuit comprenant une puce mémoire, et qui peut comprendre un ou plusieurs modules de traitement de données intégrés dans la puce mémoire ou associés d'une autre façon à la puce mémoire ; et

10 module de traitement central hôte (HCPU) : dispositif de traitement principal d'un dispositif informatique comprenant un ou plusieurs processeurs agencés pour lire et écrire des données dans des circuits mémoire par l'intermédiaire d'un bus de données.

15 La figure 1 illustre schématiquement un dispositif informatique 100 selon un exemple de réalisation. Le dispositif informatique 100 comprend par exemple un processeur central 102, appelé ici module de traitement central hôte (HCPU). Le HCPU 102 est par exemple couplé à des circuits mémoire 104. Dans l'exemple de la figure 1, il y a 8 circuits mémoire notés MemC 0 à MemC 7.

20 Chacun des circuits mémoire 104 a par exemple un port de données qui est plus étroit que la largeur du bus de données du HCPU, et chaque port de données est couplé à une partie du bus de données du HCPU 102. Dans un exemple, le bus de données a une largeur de 64 bits, et chacun des circuits mémoire 104 a un port de données couplé à une tranche de 8 bits correspondante du bus de données. Comme cela a été mentionné précédemment, un avantage de prévoir des circuits mémoire ayant des ports de données qui sont plus étroits que la largeur du bus de données du HCPU 102 est que des ports de données plus étroits utilisent moins de broches, ce qui conduit à des économies en ce qui concerne la 25 surface de la puce et la consommation d'énergie. En outre, des ports de données étroits permettent de construire des systèmes mémoire à grande capacité sans nécessiter de puces d'amplificateurs tampons supplémentaires, dont l'utilisation augmenterait le coût, la consommation d'énergie, la latence et diminuerait la 30 fréquence de fonctionnement et par conséquent la bande passante.

Ainsi, lorsque des mots de données de 64 bits sont écrits dans les circuits mémoire, chaque circuit mémoire 104 mémorise seulement une partie du mot de données. Cela signifie que si un ou plusieurs des circuits mémoire 104 comprennent un module de 5 traitement de données pour réaliser un traitement de données en plus du HCPU 102, un tel module de traitement de données verra seulement une portion de chaque mot de données mémorisé dans la mémoire, et par conséquent ne sera pas capable de réaliser des opérations significatives.

À titre d'exemple, on supposera qu'un dispositif de traitement doit être intégré dans chacun des circuits mémoire 104 afin de permettre de réaliser une simple fonction de comptage. En outre, on supposera que les circuits mémoire MemC 0 à MemC 7 sont mappés en commençant à l'adresse 0x04000000, où le préambule "0x" 10 indique que la valeur est représentée en hexadécimal. Le HCPU 102 écrit un mot de 64 bits, appelé *compteur*, dans la mémoire principale formée par les circuits mémoire 104 à l'adresse 0x04000000. Le HCPU veut ensuite qu'un DPU du circuit de mémoire MemC 0 mette en œuvre une fonction de comptage en incrémentant le 15 mot de 64 bits *compteur*. Cependant, ce DPU verra seulement une partie [7:0] du mot de 64 bits, et sera donc incapable de remplir la fonction souhaitée. De même, le DPU de tout autre circuit de mémoire verra également seulement une partie du mot de 64 bits, et sera donc incapable de remplir la fonction souhaitée.

Comme cela est illustré sur la figure 1, un circuit de mémoire supplémentaire (MemC DPU) 106 peut comprendre un DPU et un port de données de largeur égale à celle du bus de données du HCPU 102. Ce circuit mémoire 106 peut mémoriser les mots entiers fournis sur le bus de données du HCPU, et donc le DPU de ce circuit 20 peut effectuer des opérations sur des mots de données entiers, y compris la fonction de comptage mentionnée ci-dessus. Toutefois, compte tenu de son port de données large, ce circuit mémoire 106 utilisera un nombre élevé de broches, et n'aura donc pas les 25 avantages associés à des ports de données étroits tels que décrits précédemment.

La figure 2 illustre schématiquement un dispositif informatique 200 selon un exemple de réalisation de la présente description.

Le dispositif informatique 200 comprend un HCPU 202 couplé à une pluralité de circuits mémoire 204. Dans l'exemple de la figure 2, il y a 8 circuits mémoire référencés MemC 0 à MemC 7. Chacun des circuits mémoire 204 comprend un DPU 206, les DPU se trouvant dans les circuits mémoire MemC 0 à MemC 7 étant respectivement référencés DPU0 à DPU7 en figure 2. Chacun des circuits mémoire 204 reçoit une tranche correspondante du bus de données du HCPU 202. Dans un exemple, le bus de données du HCPU 202 a une largeur de 64 bits, et sera représenté ici par `data_bus[63:0]`. Les bits de ce bus de données sont par exemple répartis en tranches parmi les circuits mémoire 204 comme suit :

- 15 - le port de données de MemC 0 est connecté à `data_bus[7:0]` ;
- le port de données de MemC 1 est connecté à `data_bus[15:8]` ;
- le port de données de MemC 2 est connecté à `data_bus[23:16]` ;
- le port de données de MemC 3 est connecté à `data_bus[31:24]` ;
- le port de données de MemC 4 est connecté à `data_bus[39:32]` ;
- 20 - le port de données de MemC 5 est connecté à `data_bus[47:40]` ;
- le port de données de MemC 6 est connecté à `data_bus[55:48]` ;
- le port de données de MemC 7 est connecté à `data_bus[63:56]` ;

Une fonction de conversion d'adresse (ADDR CONV) 208 est par exemple mise en oeuvre par du matériel et/ou par du logiciel dans le HCPU 202, ou par un circuit séparé. Cette fonction de conversion 208 convertit des adresses de l'espace d'adressage du 35 HCPU en adresses particulières dans l'espace d'adressage global

physique (PGAS) utilisé par les circuits mémoire 204, de telle sorte qu'un mot de données qui serait autrement présent sur toute la largeur du bus de données HCPU et partiellement sur chaque circuit de mémoire 204 est à la place mémorisé entièrement par 5 l'un des circuits mémoire. L'adresse PGAS convertie est par exemple fournie aux circuits mémoire 204, ainsi que les signaux de commande de lecture ou d'écriture appropriés, sur un bus d'adresse et de commande 210 couplé à chacun des circuits mémoire 204. La fonction de conversion d'adresse 208 va maintenant être 10 décrite plus en détail en référence aux figures 3 à 6.

La figure 3 représente schématiquement la fonction de conversion d'adresse 208 selon un exemple de réalisation. Selon cet exemple, un espace d'adressage global HCPU (HGAS) 302 est défini, qui est l'espace d'adressage vu et utilisé par le HCPU 15 202. L'espace d'adressage global physique (PGAS) 304 est utilisé pour adresser le système de mémoire physique.

Selon les modes de réalisation décrits ici, le HGAS et le PGAS sont définis différemment pour au moins certaines plages dans l'espace d'adressage HGAS. Par exemple, le HGAS 302 comprend 20 un espace de sous-adressage 306 représenté en figure 3, qui est un espace d'adressage global de DPU (DGAS).

Lorsqu'une adresse HGAS est en dehors de la région DGAS 306, l'adresse PGAS correspondante est donnée directement par la valeur de cette adresse HGAS. En d'autres termes, aucune 25 conversion d'adresse n'est nécessaire.

Cependant, quand une adresse HGAS se trouve dans la région DGAS 306, une conversion d'adresse est réalisée afin de générer l'adresse PGAS. Par exemple, l'adresse PGAS est générée par une fonction 308 que nous appellerons ici DGAS2PGAS.

Dans certains modes de réalisation, la totalité du HGAS 30 302 peut correspondre au DGAS 306, ce qui signifie que des DPU des circuits mémoire peuvent accéder à l'espace d'adressage complet des circuits mémoire 204.

Le DGAS 306 comprend des plages d'adresses affectées à chaque DPU et accessibles par celui-ci, comme cela va maintenant être décrit en référence à la figure 4.

La figure 4 illustre schématiquement l'espace d'adressage global HCPU 302 plus en détail, et en particulier montre que le DGAS 306 peut comporter des zones DLAS0 à DLAS7 d'adresses mémoire correspondant aux espaces d'adressage DPU locaux (DLAS) de chacun des DPU des circuits mémoire. Le DLAS de chaque DPU est par exemple un espace d'adressage qui est linéaire, ou linéaire par segments. Cela signifie qu'un incrément de un de l'adresse accèdera à un octet de mémoire adjacent dans le même circuit mémoire pour au moins une partie des adresses du circuit mémoire. Ce n'est pas le cas quand un mot est mémorisé sur un certain nombre de circuits de mémoire différents, puisque dans un tel cas l'incrémentation de un de l'adresse provoquera l'adressage d'un circuit mémoire différent.

La figure 4 correspond à l'exemple de la figure 2 dans lequel il y a 8 circuits mémoire, avec 8 DPU correspondants, et donc il y a 8 DLAS (DLAS0 à DLAS7). Bien entendu, dans des variantes de réalisation, il pourrait y avoir un nombre différent d'espaces d'adressage locaux en fonction du nombre de DPU présents dans les circuits mémoire et en fonction du nombre de circuits mémoire.

Par exemple, dans un mode de réalisation, les espaces d'adressage locaux DLAS 0 à DLAS 7 sont mappés sur les portions de mémoire suivantes du système de mémoire, en supposant que chacun des circuits mémoire a une taille de 8 Mo (mégaoctets), et donc que la taille physique totale de la mémoire est de 64 Mo :

- DLAS 0 est mappé sur les adresses physiques 0 à 8 Mo-1, où la représentation X Mo-1 signifie un octet de moins que X mégaoctets;
- DLAS 1 est mappé sur les adresses physiques 8 à 16 Mo-1 ;
- DLAS 2 est mappé sur les adresses physiques 16 à 24 Mo-1 ;

- DLAS 3 est mappé sur les adresses physiques 24 à 32 Mo-1 ;
- DLAS 4 est mappé sur les adresses physiques 32 à 40 Mo-1 ;
- 5 - DLAS 5 est mappé sur les adresses physiques 40 à 48 Mo-1 ;
- DLAS 6 est mappé sur les adresses physiques 48 à 56 Mo-1 ;
- 10 - DLAS 7 est mappé sur les adresses physiques 56 à 64 Mo-1.

Ainsi, le circuit de mémoire MemC 0 contient les 8 premiers Mo de l'espace d'adressage physique, le circuit de mémoire MemC 1 contient les deuxièmes 8 Mo de l'espace d'adressage physique, etc. Un avantage d'une telle cartographie est que chaque 15 DPU peut accéder à un espace d'adressage continu. Toutefois, cette mise en correspondance des espaces d'adressage DPU locaux avec les adresses physiques est simplement un exemple, et d'autres types de correspondance seraient possibles. Par exemple, les adresses physiques pourraient être des blocs de 4 Mo, dans 20 lesquels :

- DLAS 0 est mappé sur les adresses physiques 0 à 4 Mo-1 et 32 à 36 Mo-1;
- DLAS 1 est mappé sur les adresses physiques de 4 à 8 Mo-1 et 36 à 40 Mo-1 ; etc., jusqu'à :
- 25 - DLAS 7 est mappé sur les adresses physiques 28 à 32 Mo-1 et 60 à 64 Mo-1.

La figure 5 est un organigramme illustrant des étapes dans un procédé d'accès à une mémoire selon un exemple de réalisation de la présente invention. Le procédé est par exemple 30 mis en œuvre par le HCPU 202 et/ou un circuit mettant en œuvre la fonction de conversion d'adresse 208. En particulier, le procédé peut être mis en œuvre exclusivement par le HCPU dans le cas où la fonction de conversion d'adresse 208 est mise en œuvre dans du logiciel exécuté par un ou plusieurs processeurs du HCPU. 35 En variante, le procédé peut être mis en œuvre par un circuit

dédié dans le cas où la fonction de conversion d'adresse 208 est mise en œuvre par du matériel distinct du HCPU 202.

Dans une étape 501, une demande de lecture ou d'écriture mémoire est générée. Par exemple, le HCPU 202 génère cette demande 5 de lecture ou d'écriture mémoire en exécutant une instruction de chargement ou de stockage.

Dans une étape 502, on détermine si la demande de lecture ou d'écriture mémoire implique une adresse relevant d'un segment DGAS. En d'autres termes, il est déterminé si l'adresse correspond 10 à la zone de mémoire référencée 306 dans les figures 3 et 4, qui doit être convertie afin de générer l'adresse physique. Par exemple, la fonction de conversion d'adresse 208 mémorise une indication des plages d'adresses correspondant au DGAS 306.

Dans certains modes de réalisation, le HCPU 202 est 15 amélioré afin de mettre en œuvre la fonction DGAS2PGAS sans ou avec de faibles pertes de performance. Par exemple, le HCPU comprend une pluralité de registres de configuration permettant de créer le segment d'adresses DGAS spécial dans le HGAS. Par exemple, ces registres de configuration mémorisent les limites du 20 segment DGAS ou de chaque segment DGAS dans le cas où il existe une pluralité de segments DGAS non contigus. De plus, les registres de configuration indiquent par exemple la transformation à effectuer pour la conversion d'adresses. En effet, cette conversion dépend des circuits mémoire particuliers qui sont 25 utilisés, et en particulier de la largeur des ports de données des circuits de mémoire. Lorsque l'adresse HGAS est à l'intérieur du segment DGAS, l'adresse est en fait une adresse DGAS, et donc elle doit être convertie en une adresse PGAS.

Si l'adresse ne se trouve pas dans un segment DGAS, dans 30 une étape 503, il est supposé que l'espace d'adressage physique global (PGAS) est égal à l'espace d'adressage DPU global (DGAS), et par conséquent dans une étape ultérieure 504, l'accès à la mémoire est traité sur la base de l'adresse HGAS.

En variante, si, dans l'étape 502, il est déterminé que 35 la demande de lecture ou d'écriture concerne une adresse tombant

dans un segment DGAS, l'étape suivante est l'étape 505, dans laquelle la conversion d'adresse est effectuée en utilisant la fonction DGAS2PGAS, dont un exemple va maintenant être décrit plus en détail en référence à la figure 6.

5 La figure 6 illustre schématiquement un exemple de l'espace d'adressage physique du système de mémoire en supposant le cas des 8 circuits mémoire MemC 0 à MemC 7. Chaque rangée de chaque circuit mémoire MemC 0 à MemC 7 mémorise un sous-mot, qui est par exemple un octet. Chaque mot présent sur le bus de données
10 HCPU de 64 bits est ainsi mémorisé de telle sorte qu'un sous-mot (SW) est mémorisé dans chaque rangée. Par exemple, une première rangée R0 couvrant le système de mémoire comprend une première valeur de 8 bits mémorisée dans le circuit mémoire MemC 0, une deuxième valeur de 8 bits mémorisée dans le circuit mémoire MemC 1, etc. Ainsi, pour des adresses tombant en dehors du DGAS 306 pour lesquelles aucune conversion d'adresse n'est exécutée, chaque mot dans l'espace d'adressage HCPU est mémorisé à travers chacun des circuits mémoire du système de mémoire. Dans un tel cas, l'adresse de chaque sous-mot SW ou octet est par exemple de la forme [25:0], où les 23 bits [25:3] désignent une rangée parmi les 8388608 rangées du système de mémoire, et les bits finaux [2:0] désignent l'octet dans la rangée.
15
20

Cependant, pour des adresses tombant dans le DGAS 306, la fonction de conversion suivante est par exemple appliquée entre l'adresse dans le DGAS 302 et l'adresse PGAS utilisée pour adresser les circuits mémoire :

```
PGAS_address[25:0] = {DGAS_address[22:0], DGAS_address[25:23]}.
```

Ainsi, les bits les plus significatifs [25:23] de l'adresse DGAS, qui autrement indiquerait si la rangée tombe dans le premier, deuxième, troisième, quatrième, cinquième, sixième, septième ou huitième groupe de 1048576 rangées, indiquent maintenant dans quel circuit de mémoire on doit écrire. Ainsi des adresses tombant normalement dans les 1048576 premières rangées 30 vont maintenant être écrites dans la cellule mémoire MemC 0, les

deuxièmes 1048576 rangées seront écrites dans la cellule mémoire MemC 1, etc.

Ainsi des octets formant un mot de données de 64 bits dans le DGAS 306 seront par exemple tous écrits ou lus dans huit 5 rangées adjacentes dans l'un des circuits de mémoire. Ainsi la lecture ou l'écriture de ce mot de 64 bits est par exemple effectuée sur plus de huit opérations de lecture ou d'écriture consécutives. Dans un tel cas, les bits d'adresse DGAS [2:0] peuvent par exemple être omis, et les circuits mémoire sont par 10 exemple capables d'effectuer des opérations sur des emplacements d'adresse successifs sans nécessiter de fournir ces bits d'adresse. Toutefois, le bit d'adresse DGAS [2] est par exemple fourni quand un mot de 32 bits doit être accédé, les bits d'adresse DGAS [1:0] sont par exemple fournis quand un accès de 16 bits doit 15 être effectué, et les bits d'adresse DGAS [2:0] sont par exemple fournis lorsqu'un octet spécifique doit être accédé.

Cette conversion d'adresse peut, dans certains modes de réalisation, être mise en œuvre par une permutation de bits d'adresse qui est effectuée automatiquement pour le segment DGAS. 20 Par exemple, la nature de la permutation de bits est spécifiée par le contenu des registres de configuration correspondants. Dans certains modes de réalisation, le DGAS peut être mappé vers le HGAS comme une somme de plusieurs segments de mappage, avec une linéarité par segments. En effet, le DGAS est par exemple la somme 25 des segments DLAS dans les circuits mémoire.

En se référant de nouveau à la figure 5, dans une étape suivante 506, k opérations d'accès à la mémoire sont effectuées sur la base des adresses physiques converties. Par exemple, dans certains modes de réalisation, l'adresse de l'opération de lecture ou d'écriture peut correspondre à un seul octet de données, auquel cas ceci peut être réalisé en une seule opération de lecture ou d'écriture et k est égal à 1. En variante, la requête de lecture ou d'écriture peut correspondre à un mot de données à lire ou à écrire, et dans un tel cas, il y aura une séquence de 8 opérations 30 d'accès en mémoire effectuées afin d'écrire les données dans la 35

zone DLAS correspondante dans la mémoire, et k sera égal à 8. D'autres valeurs de k sont possibles en fonction du nombre d'octets désignés par l'adresse de l'opération de lecture ou d'écriture.

5 La figure 7 illustre un dispositif informatique 700, qui est similaire au dispositif 200 de la figure 2, mais au lieu de comporter une seul banque de circuits mémoire 204, il comporte une pluralité de banques 702 de circuits mémoire. Par exemple le HCPU 202 communique avec un total de r banques de circuits mémoire,
10 ces banques étant notées Rank 0 MemC à Rank r-1 MemC. Chaque banque comprend par exemple une pluralité de circuits mémoire. Le bus de données du HCPU est couplé à chacune des banques de mémoire, et la fonction de conversion d'adresse 208 est par exemple appliquée indépendamment pour chaque banque. Par exemple, dans le
15 cas où il y a deux banques 0 et 1, la banque 0 comprend par exemple les zones DLAS 0 à 7, tandis que la banque 1 comprend par exemple les zones DLAS 8 à 15.

Alors que dans le mode de réalisation de la figure 2, chacun des circuits mémoire 204 comporte un seul DPU 206, dans
20 des variantes de réalisation, chaque circuit mémoire 204 peut comporter une pluralité de DPU, comme cela va être décrit en faisant référence aux figures 8 et 9.

La figure 8 illustre schématiquement un circuit mémoire 800 comme une alternative à chacun des circuits mémoire 204 de la
25 figure 2. Par exemple, le circuit mémoire 800 est une puce de mémoire intégrant une matrice mémoire (MEM) 802 et deux DPU référencés DPU 0 et DPU 1. Les DPU DPU 0 et DPU 1 et la matrice mémoire 802 sont chacun couplés par exemple à une tranche 804 du bus HCPU. Dans ce mode de réalisation, chacun des DPU DPU 0 et
30 DPU 1 par exemple partage le même l'espace d'adressage local DPU et est par exemple capable d'accéder à la totalité de l'espace d'adressage de la matrice mémoire 802. De même, le DPU de chaque autre circuit mémoire, partage par exemple également le même DLAS.

La figure 9 représente un mode de réalisation alternatif
35 dans lequel la mémoire de chaque circuit mémoire est divisée en

une pluralité de régions. Dans l'exemple de la figure 9 trois circuits mémoire MemC $x-1$, MemC x et MemC $x+1$ comprennent chacun deux régions, une région notée MemC region 0, et l'autre notée MemC region 1. Un DPU est associé à chaque région de mémoire, et 5 peut seulement accéder à cette région. Par exemple, le DPU 0 de chaque circuit mémoire peut seulement accéder à la région notée MemC region 0, et le DPU 1 de chaque circuit mémoire peut seulement accéder à la région notée MemC region 1. Ainsi, les régions 0 du 10 circuit de mémoire considéré peuvent être considérées comme une banque virtuelle, et les régions 1 comme une autre banque virtuelle, et les régions 0 et 1 sont notées comme telles dans la figure 9 comme VIRTUAL RANK 0 et VIRTUAL RANK 1 respectivement. Ainsi, au lieu de considérer que chaque circuit mémoire comprend 15 une pluralité de DPU, il est possible de considérer simplement qu'il existe une pluralité de banques, et d'adopter la solution décrite ci-dessus en relation avec la figure 7.

Dans des modes de réalisation alternatifs, chaque DPU peut être capable d'accéder à une pluralité de régions, mais la totalité de l'espace d'adressage de la mémoire physique des 20 circuits de mémoire n'est pas accessible par les DPU. Dans un tel cas, un DLAS est par exemple défini pour chaque région de mémoire accessible, de sorte que le DPU ou les DPU associés y ont accès.

En mettant en œuvre la fonction de conversion d'adresse comme une permutation de bits d'adresse comme décrit ci-dessus, 25 la conversion d'adresse peut être effectuée de façon plus ou moins transparente d'un point de vue des performances. Cependant, le HCPU accède encore à l'espace d'adressage DGAS par des opérations de lecture et d'écriture de la taille d'un octet. Une conversion plus efficace peut être effectuée en utilisant des accès mémoire 30 en rafales comme cela va maintenant être décrit plus en détail en se référant aux figures 10A et 10B.

La figure 10A illustre schématiquement un cache de données 1000 (CACHE) selon un exemple de réalisation. Un cache de données permet à un dispositif de traitement de stocker localement 35 des données et d'y accéder rapidement. Le cache de données 1000

est par exemple intégré dans le HCPU 202, et est par exemple couplé à un bus de données (DDR DATA BUS) et à un bus d'adresse et de commande (ADDR+CMD BUS) du HCPU 202. Le cache de données 1000 comprend par exemple des lignes de cache L1, L2, L3, etc, le 5 nombre de lignes étant fonction de la taille du cache. Chaque ligne de cache a par exemple la taille d'une transaction mémoire en rafale. Une transaction mémoire en rafale est par exemple une opération d'accès mémoire qui améliore les performances en permettant un accès rapide en lecture ou en écriture à un bloc 10 d'adresses mémoire.

Par exemple, une transaction d'écriture en rafale implique une succession d'accès en écriture, un premier accès en écriture utilisant une adresse générée par le HCPU, et les accès en écriture suivants utilisant des adresses incrémentées automatiquement, 15 par exemple, par les circuits mémoire, à partir de celle utilisée par le premier accès en écriture, la taille de l'incrément correspondant à la largeur du bus HCPU en octets.

De même, une transaction de lecture en rafale implique une succession d'accès en lecture, un premier accès en lecture utilisant une adresse générée par le HCPU et les accès en lecture suivants utilisant des adresses incrémentées automatiquement à partir de celle utilisée par le premier accès en lecture, la taille de l'incrément correspondant à la largeur du bus HCPU en octets.

25 Par exemple, selon les protocoles DDR3 (double débit de données type 3) et DDR4 (DDR type 4), une transaction en rafale se compose de huit accès successifs, chaque accès déplaçant 8 octets de données. Par conséquent, la quantité de données déplacée par l'opération en rafale est de 64 octets. Par ailleurs, 30 l'adresse du premier accès est par exemple alignée sur une limite de 64 octets.

Dans certains modes de réalisation, l'accès à la mémoire en rafale est basé sur une rafale carrée, c'est-à-dire une rafale pour laquelle la largeur en octets est égale à sa profondeur en 35 nombre d'accès.

Dans un exemple, le cache de données 1000 fonctionne sur la base du protocole DDR3 ou DDR4, et donc chaque ligne de cache L1, L2, etc., est par exemple de 64 octets. Les protocoles DDR3 et DDR4 utilisent des rafales carrées. En effet, dans le contexte 5 de DDR3/DDR4, le HCPU 202 communique avec sa mémoire au moyen d'opérations en rafale comprenant chacune 8 accès en rafale de 64 bits (8 octets), ces accès étant appelés ici "accès en rafale 0" à "accès en rafale 7".

Une transaction de lecture ou écriture en rafale, 10 comprenant 64 octets désignés ici comme B00 à B63, est par exemple organisée comme suit :

accès en rafale 0 : B00 B01 B02 B03 B04 B05 B06 B07
accès en rafale 1 : B08 B09 B10 B11 B12 B13 B14 B15
accès en rafale 2 : B16 B17 B18 B19 B20 B21 B22 B23
accès en rafale 3 : B24 B25 B26 B27 B28 B29 B30 B31
accès en rafale 4 : B32 B33 B34 B35 B36 B37 B38 B39
accès en rafale 5 : B40 B41 B42 B43 B44 B45 B46 B47
accès en rafale 6 : B48 B49 B50 B51 B52 B53 B54 B55
accès en rafale 7 : B56 B57 B58 B59 B60 B61 B62 B63

20 Ainsi, lorsqu'elle est remplie avec une transaction en rafale, l'une des lignes de cache de 64 octets de la mémoire cache de données 1000 peut par exemple être représentée comme un tableau 8x8, contenant :

B00 B01 B02 B03 B04 B05 B06 B07
B08 B09 B10 B11 B12 B13 B14 B15
B16 B17 B18 B19 B20 B21 B22 B23
B24 B25 B26 B27 B28 B29 B30 B31
B32 B33 B34 B35 B36 B37 B38 B39
B40 B41 B42 B43 B44 B45 B46 B47
B48 B49 B50 B51 B52 B53 B54 B55
B56 B57 B58 B59 B60 B61 B62 B63

30 A l'intérieur d'une telle ligne de cache, le HCPU 202 est par exemple en mesure d'accéder à : tout octet ; tout mot de 16 bits, composé de deux octets {Bn, Bn+1}, où n est divisible par 2 ; un mot de 32 bits, composé des octets {Bn, Bn+1, Bn+2,

B_{n+3}}, où n est divisible par 4 ; et un mot de 64 bits, composé des 8 octets d'une ligne du tableau.

Dans certains modes de réalisation, les octets se trouvant dans une ligne de cache de la mémoire cache de données 5 1000 sont soumis à une permutation afin de modifier la façon dont ils sont stockés dans les circuits mémoire. Par exemple, au lieu de remplir une ligne de cache avec les données à mesure qu'elles arrivent du bus de données DDR du HCPU 202, la permutation suivante 10 est effectuée : en représentant la ligne de mémoire cache sous forme d'un tableau 8x8, chaque octet situé aux coordonnées (x,y) est échangé avec l'octet situé aux coordonnées (y,x). Une fois permutee, la ligne de cache est donc remplie comme suit :

	B00 B08 B16 B24 B32 B40 B48 B56
	B01 B09 B17 B25 B33 B41 B49 B57
15	B02 B10 B18 B26 B34 B42 B50 B58
	B03 B11 B19 B27 B35 B43 B51 B59
	B04 B12 B20 B28 B36 B44 B52 B60
	B05 B13 B21 B29 B37 B45 B53 B61
	B06 B14 B22 B30 B38 B46 B54 B62
20	B07 B15 B23 B31 B39 B47 B55 B63

Le cache est toujours accédé en utilisant une adresse de l'espace d'adressage global physique, et ainsi la fonction de conversion d'adresse DGAS2PGAS est modifiée pour tenir compte de la permutation d'octets. Comme cela a été décrit ci-dessus, la 25 fonction de conversion d'adresse initiale était la suivante :

```
PGAS_address[25:0] = {DGAS_address[22:0], DGAS_address  
[25:23]}.
```

En permutant l'octet dans la ligne de mémoire cache, les bits d'adresse PGAS[2:0], qui correspondent à des emplacements 30 d'adresse dans la direction x de la matrice 8x8, sont échangés avec les bits d'adresse PGAS[5:3], correspondant à la direction y dans la matrice 8x8. Ainsi, la nouvelle conversion d'adresse devient :

```
PGAS_address[25:0] = {DGAS_address [22:3], DGAS_address  
[25:23], DGAS_address [2:0]}.
```

On notera que les bits d'adresse PGAS [2:0] sont maintenant égaux aux bits d'adresse DGAS [2:0]. De manière avantageuse, cela signifie que des opérations d'accès à la mémoire adressant des valeurs de 16 bits, 32 bits et 64 bits deviennent possibles. En particulier, lors de la lecture ou de l'écriture de la ligne de cache, il devient possible d'effectuer l'une quelconque des opérations d'accès suivantes :

- un mot de 16 bits, 16 bits alignés, formé de 2 octets avec des adresses DGAS consécutives ;
- 10 - un mot de 32 bits, 32 bits alignés, formé de 4 octets avec des adresses DGAS consécutives ; ou
 - un mot de 64 bits, 64 bits alignés, formé de 8 octets avec des adresses DAS consécutives.

15 Bien que la description ci-dessus mentionne des accès mémoire d'une certaine taille, alignés avec la même taille, en utilisant deux lignes de cache à la fois, des accès DGAS non alignés de 16 bits, 32 bits et 64 bits peuvent également être pris en charge. En particulier, cela peut par exemple être obtenu en fractionnant un accès qui coupe des lignes de cache adjacentes en 20 deux accès successifs comportant chacun une ligne de cache unique, ou en effectuant des accès simultanés aux deux lignes de cache et en multiplexant ensuite les données de lecture pour extraire les parties pertinentes.

25 L'exemple ci-dessus suppose que la permutation $(x, y) \rightarrow (y, x)$ est appliquée à une rafale de ligne de cache carrée. D'autres permutations sont aussi possibles. Par exemple, la permutation $(x, y) \rightarrow (y, \sim x)$ pourrait être utilisée à la place, le symbole " \sim " signifiant le complément à 1, autrement dit, $7-x$. La conséquence est que les indices des puces de mémoire sont 30 inversés.

L'exemple ci-dessus suppose que la rafale de mémoire est 35 carrée, ce qui est le cas pour les protocoles DDR3 et DDR4. Cependant, d'autres protocoles impliquent une rafale rectangulaire. Par exemple, le protocole DDR2 comprend 4 accès, chaque accès déplaçant 8 octets. Une opération de permutation similaire

à celle décrite ci-dessus peut être appliquée à une telle rafale, comme cela va maintenant être décrit plus en détail.

Dans le contexte DDR2, la ligne de mémoire cache a une taille de 32 octets, et quand elle est remplie par une opération 5 en rafale et représentée sous forme d'un tableau 8x4, elle contient:

	B00 B01 B02 B03 B04 B05 B06 B07
	B08 B09 B10 B11 B12 B13 B14 B15
	B16 B17 B18 B19 B20 B21 B22 B23
10	B24 B25 B26 B27 B28 B29 B30 B31

En appliquant la transformation $(x, y) \rightarrow (y, x)$, et en représentant la ligne de mémoire cache de 32 octets sous forme d'un tableau de 4 x 8, on obtient:

	B00 B08 B16 B24
15	B01 B09 B17 B25
	B02 B10 B18 B26
	B03 B11 B19 B27
	B04 B12 B20 B28
	B05 B13 B21 B29
20	B06 B14 B22 B30
	B07 B15 B23 B31

Encore une fois, la fonction de conversion d'adresse DGAS2PGAS est par exemple modifiée pour tenir compte de cette permutation d'octets. Comme cela est décrit ci-dessus, la fonction 25 de conversion d'adresse initiale était la suivante :

```
PGAS_address[25:0] = {DGAS_address[22:0], DGAS_address[25:23]}.
```

On notera que cette permutation d'adresses initiale est la même que pour l'exemple DDR3/DDR4, étant donné que cette 30 permutation initiale dépend uniquement du nombre de circuits de mémoire en parallèle, qui est par exemple de huit pour les exemples DDR2 et DDR3/DDR4.

La nouvelle permutation pour l'exemple DDR2 est par exemple :

PGAS_address[25:0] = {DGAS_address [22:2], DGAS_address [25:23], DGAS_address[1:0]}.

Le HCPU peut par exemple effectuer les accès suivants en lecture ou en écriture:

- 5 - un accès 16 bits, 16 bits alignés, dans le DGAS ; ou
 - un accès 32 bits, 32 bits alignés, dans le DGAS.

L'accès à 64 bits dans le DGAS ne fonctionne pas parce que la linéarité DGAS a seulement une taille de 4 octets, ce qui signifie que seuls les deux bits les moins significatifs de 10 l'adresse DGAS sont égaux aux deux bits les moins significatifs de l'adresse PGAS.

Alors que dans l'exemple DDR2 la largeur de la rafale rectangulaire est plus grande que sa profondeur, les transformations décrites ici peuvent être appliquées de manière 15 égale à d'autres configurations de rafale, par exemple, lorsque la largeur est inférieure à la profondeur.

La permutation décrite ci-dessus de la ligne de mémoire cache peut par exemple être réalisée par du logiciel ou du matériel.

20 Dans le cas d'une permutation par logiciel, la permutation peut par exemple être réalisée sur 36 cycles. Ce nombre de cycles peut être comparé au coût d'un accès DRAM aléatoire (page fermée), qui est généralement de plus de 200 cycles. Ainsi, le coût d'une permutation par logiciel est 25 relativement faible.

En variante, dans une permutation de ligne de cache par du matériel, le HCPU 202 comprend par exemple un ou plusieurs circuits de permutation. Ces circuits sont par exemple mis en oeuvre dans le HCPU 202, ou comme partie d'un circuit séparé 30 couplé entre le HCPU et les circuits mémoire. L'opération de permutation n'est pas par exemple réalisée en pipeline, puisque l'ensemble du réseau de 8x8 doit être chargé avant que la permutation commence.

Le circuit de permutation pourrait être mis en oeuvre 35 en utilisant :

- des registres à double port, avec un bus d'écriture et un bus de lecture orthogonaux ; ou
 - une mémoire à un seul port, dont les entrées sont des registres à décalage orthogonaux au bus mémoire ;
- 5 - une matrice 2D de registres à décalage, avec le décalage possible dans un sens, puis dans l'autre sens.

Un exemple de mise en oeuvre d'un circuit de permutation va maintenant être décrit en référence aux figures 10C à 10E sur la base d'un exemple dans lequel la ligne de cache comprend 16 octets b0 à b15. Il sera évident pour l'homme du métier de savoir comment cette mise en oeuvre pourrait être adaptée à d'autres tailles de ligne de cache, tels que les exemples à 32 et 64 octets décrits ci-dessus.

Les figures 10C à 10F illustrent un circuit de permutation 1001 pour réaliser des permutations de ligne de cache pendant une opération de lecture d'une ligne de cache dans le cache de données. Bien sûr, les opérations inverses pourraient être réalisées lors de l'écriture d'une ligne de cache dans le cache.

Le circuit de permutation 1001 comprend par exemple des registres 1002, 1004, 1006 et 1008, qui sont par exemple des registres à décalage. Comme cela est représenté en figure 10C, le registre 1002 a une ligne d'entrée couplée de façon à recevoir les octets b0, b4, b8 et b12 d'une ligne de cache, le registre 1004 a une ligne d'entrée couplée de façon à recevoir les octets b1, b5, b9 et b13 d'une ligne de cache, le registre 1006 a une ligne d'entrée couplée de façon à recevoir les octets b2, b6, b10 et b14 d'une ligne de cache, et le registre 1008 a une ligne d'entrée couplée de façon à recevoir les octets b3, b7, b11 et b15 d'une ligne de cache.

La figure 10D illustre le circuit de permutation 1001 après que les octets b0 à b15 ont été chargés dans les registres 1002 à 1008, par exemple par des opérations de décalage.

La figure 10E illustre une première opération de sortie pendant laquelle les octets b0, b4, b8 et b12 chargés dans le

registre 1002 sont fournis en parallèle pour former une première rangée de la ligne de cache permutée. En même temps, les octets provenant du registre 1004 sont décalés vers le registre 1002, les octets provenant du registre 1006 sont décalés vers le 5 registre 1004 et les octets provenant du registre 1008 sont décalés vers le registre 1006.

Les opérations de sortie et de décalage représentées en figure 10E sont ensuite répétées jusqu'à ce que, comme cela est représenté en figure 10F, tous les octets aient été fournis par 10 les registres 1002 à 1008 pour former la ligne de cache permutée.

Le chargement initial des données dans les registres 1002 à 1008 peut être réalisé par des opérations de décalage en utilisant les registres à décalage tels que mentionnés précédemment, ou par des opérations d'écriture en mémoire dans les 15 registres. En outre, bien que dans l'exemple décrit en relation avec les figures 10E et 10F les valeurs de données soient fournies à partir des registres 1002, 1004, 1006, 1008 en réalisant des opérations de décalage, dans des variantes de réalisation les données pourraient être fournies par des opérations de lecture 20 mémoire.

Dans certains modes de réalisation, la permutation de ligne de cache peut être réalisée pour tous les accès mémoire, sans tenir compte du fait qu'elle concerne ou pas un circuit mémoire ayant un DPU intégré. En effet, le sens dans lequel une 25 ligne de cache est écrite dans le système de mémoire est en général sans conséquence, et par conséquent réaliser la permutation sur toutes les données serait possible. Dans un tel cas, la permutation d'octets de ligne de cache pourrait être réalisée par une modification de la manière dont les lignes de cache sont 30 chargées à partir du bus DDR2, DDR3 ou DDR4, ou écrites dans celui-ci. Une conversion d'adresse est encore par exemple réalisée pour des adresses DGAS.

En effet, en référence à la figure 10B, lors de la lecture dans le DGAS 1004, une ligne de cache de 64 octets contient 35 des mots de 8 x 64 bits, chacun de ces mots appartenant à un DLAS

différent. Ainsi ces 8 mots ne sont pas mappés de façon contiguë dans le DGAS, et sont par exemple séparés de 8 Mo dans le cas où le système mémoire a une taille de 64 Mo assurée par 8 circuits mémoire. Lors de la lecture dans le HGA 1006, une ligne de cache 5 de 64 Mo contient 8 mots de 64 bits, et les 8 mots sont mappés de façon contiguë dans le HGAS.

L'organigramme de la transformation va maintenant être décrit plus en détail en faisant référence à la figure 11.

La figure 11 illustre une partie du dispositif 10 informatique 200 comprenant le cache 1000 de la figure 10A et la fonction de conversion d'adresse 208 de la figure 2. Les circuits de la figure 11 sont par exemple tous intégrés dans le HCPU 202.

La fonction de conversion d'adresse 208 est par exemple mise en oeuvre par du matériel ou du logiciel. Cette fonction est 15 représentée en figure 11 par un organigramme constitué de plusieurs opérations. La conversion est basée sur une adresse HGAS, qui doit être la cible de l'opération d'accès au cache de données. Dans une opération 1106, on détermine si l'adresse HGAS correspond à un segment DGAS. Si oui, dans une opération suivante 20 1108, la conversion d'adresse DGAS vers PGAS est réalisée, par exemple sur la base de l'une des fonctions DGAS2PGAS décrites précédemment, en fonction du type de l'opération de rafale mémoire. Un multiplexeur 1110 sélectionne par exemple l'adresse convertie dans le cas où l'adresse HGAS correspond à un segment 25 DGAS, ou autrement sélectionne l'adresse HGAS, pour former l'adresse PGAS pour adresser le cache 1000. L'adresse est fournie sur un bus d'adresse (ADDR BUS) à un port d'adresses (ADDR) du cache de données 1000.

Le cache de données 1000 est couplé à une file de 30 registres HCPU 1114 du HCPU 202. La file de registres HCPU 1114 est par exemple la file de registres d'usage général accessible par des instructions exécutées par le HCPU 202. Le cache de données est rempli avec des données par l'intermédiaire d'un circuit de transposition d'octets (BYTE TRANPOSITION) 1116, qui est par 35 exemple mis en oeuvre par un circuit similaire au circuit de

permutation 1001 des figures 10C à 10F. Le circuit de transposition d'octets 1116 est par exemple couplé entre le bus de données DDR (DDR BUS) 1118 et le cache de données 1000. Toutefois, dans d'autres modes de réalisation, il pourrait être 5 disposé ailleurs, comme dans le chemin entre le cache de données 1000 et la file de registres HCPU 1114.

Dans certains modes de réalisation, plutôt que d'utiliser un circuit de permutation de ligne de cache comme le circuit de transposition d'octets 1116 pour réaliser des 10 permutations de ligne de cache, comme cela a été mentionné précédemment, cela pourrait être à la place réalisé par du logiciel, en lisant et en écrivant des octets entre les circuits mémoire et le cache de données. Ainsi, des écritures de 16 bits, 32 bits, et 64 bits sont en fait converties en des séquences 15 d'écriture sur 8 bits, ce qui rompt la granularité de ces opérations d'écriture. Un accès standard de 16 bits, 32 bits ou 64 bits qui est aligné avec sa propre taille va avoir une certaine granularité, mais lorsque seulement certains des bits sont écrits dans une opération d'écriture donnée, la granularité est rompue. 20 En effet, à la suite de chaque opération d'écriture, tous les octets concernés par l'opération d'écriture doivent être écrits, puisque sinon la granularité du système serait compromise. La granularité est rompue si, à la suite d'une opération d'écriture donnée, un mot de données contient certains octets qui ont déjà 25 été écrits, et d'autres octets qui sont en attente d'écriture. Par exemple, un registre de commande ayant une largeur plus grande que la largeur du port de données d'un circuit mémoire peut être mappé dans le DGAS. Si ce registre de commande est écrit seulement de façon partielle, la commande devient sans signification. Ce 30 problème est par exemple résolu en incluant au moins un bit de commande dans le registre de commande, indiquant quand la commande est valide. Le bit de commande est inclus dans un octet final du registre de commande à écrire, et est par exemple inversé pendant chaque opération d'écriture. De cette manière, le DPU va prendre 35 en compte une commande lue dans le registre de commande seulement

une fois que le bit de commande a changé de couleur, en d'autres termes une fois qu'il a été inversé, par rapport à la commande précédente.

Dans certains modes de réalisation, les données 5 mémorisées dans les circuits mémoire 204 peuvent inclure un code de correction d'erreur (ECC), comme on va le décrire maintenant en faisant référence aux figures 12 et 13.

La figure 12 représente schématiquement un stockage horizontal et un stockage vertical de codes de correction d'erreur 10 dans les circuits mémoire 204 selon un exemple de réalisation.

Un bloc 1202 en figure 12 représente le stockage horizontal. Chaque octet de données est représenté par un rectangle vide, les données étant mémorisées sur huit circuits mémoire représentés par les huit colonnes de rectangles. Un 15 neuvième circuit mémoire est par exemple ajouté pour mémoriser, pour chaque rangée horizontale de données, les bits ECC associés. Cependant, comme chaque DPU interne d'un circuit mémoire peut modifier les données mémorisées par ce circuit mémoire, chaque circuit mémoire devrait être capable d'accéder et de modifier les 20 données ECC lorsque les données changent. Cela n'est pas possible dans l'agencement à stockage horizontal. En outre, puisque chaque valeur ECC est associée à une rangée d'octets horizontale, chaque circuit mémoire devrait aussi avoir accès aux données mémorisées par d'autres circuits mémoire afin de vérifier et de recalculer 25 une valeur ECC.

Un bloc 1204 en figure 12 représente le stockage vertical. Comme cela est représenté par une portion hachurée associée à chaque octet de données, les bits ECC associés à une colonne verticale d'octets d'une colonne sont répartis entre ces 30 octets. Par exemple, une ou plusieurs cellules de mémorisation additionnelles sont prévues pour chaque octet afin de mémoriser un ou plusieurs bits additionnels d'ECC. Le port de données du circuit mémoire est de même agrandi du même nombre de bits. Le DPU d'un circuit mémoire est ainsi capable de reconstruire l'ECC 35 en combinant le bit ou les bits ECC mémorisés avec chaque octet

dans un certain nombre de sous-mots dans la même colonne. Par exemple il y a i bits d'ECC associés à chaque octet, et l'ECC comprend ixj bits, en d'autres termes les bits ECC associés à j bits d'une colonne, où i est par exemple égal à un ou plus, et j est par exemple égal à au moins deux. Dans ce mode de réalisation, 5 le HCPU 202 comprend par exemple un seul circuit ECC pour générer les bits ECC à partir d'un groupe de huit octets, puis ces bits sont répartis entre les octets. Par exemple, le HCPU comprend un circuit ECC associé à chaque circuit mémoire de sorte que des 10 valeurs ECC peuvent être calculées en parallèle. Chaque circuit mémoire qui intègre un DPU comprend aussi par exemple un circuit ECC pour vérifier les bits ECC, et générer de nouveaux bits ECC à chaque fois qu'une valeur de données est modifiée.

La figure 13 représente schématiquement un bloc 1302 15 représentant un mode de stockage vertical alternatif de bits ECC. Dans l'exemple de la figure 13, les bits ECC associés à j rangées d'octets d'une colonne donnée sont stockés dans une rangée additionnelle dédiée au stockage des données ECC. Les bits ECC peuvent ainsi être accédés en réalisant une opération de lecture 20 ou d'écriture additionnelle. Par exemple, la longueur de la rafale est étendue de 8 à 9 accès. Dans ce mode de réalisation, le HCPU 202 comprend par exemple un certain nombre de circuits ECC égal 25 au nombre d'octets dans chaque accès. Ainsi, dans l'exemple de la figure 13 dans lequel chaque accès comprend huit octets, le HCPU 202 comprend par exemple huit circuits ECC fonctionnant en parallèle. Chaque circuit mémoire qui intègre un DPU comprend aussi par exemple un circuit ECC pour vérifier les bits ECC, et générer de nouveaux bits ECC à chaque fois qu'une valeur de données est modifiée.

30 La figure 14 illustre schématiquement l'un des circuits mémoire 204 de la figure 2 plus en détail selon un exemple de réalisation dans lequel le DPU 206 n'est pas intégré directement dans la puce de circuit intégré contenant la matrice mémoire (ARRAY), mais dans une puce de circuit intégré séparée couplée à 35 la matrice mémoire par un bus de données 1402 et un bus d'adresse

1404. Le DPU 206 comprend par exemple un ou plusieurs processeurs de données (DATA PROCESSOR(S)) couplés au bus d'adresse et de commande (ADDR+CMD BUS) et à une tranche du bus de données (DATA BUS) du HCPU 202.

5 Un avantage des modes de réalisation décrits ici est que, en prévoyant une conversion d'adresse, des mots de données peuvent être stockés verticalement dans un seul circuit mémoire ayant un port de données d'une largeur inférieure au mot de données. Ainsi, un dispositif de traitement de données du circuit 10 mémoire est capable d'accéder aux mots de données, et de réaliser des opérations sur les mots de données.

Avec la description ainsi faite d'au moins un mode de réalisation illustratif, diverses altérations, modifications et améliorations apparaîtront facilement à l'homme de l'art. Par 15 exemple, il sera clair pour l'homme de l'art que bien qu'on ait décrit des modes de réalisation spécifiques sur la base d'un bus de données HCPU qui a une largeur de 64 bits, et une ou plusieurs banques de huit circuits mémoire ayant des ports de données de 8 bits, de nombreux agencement différents seraient possibles.

20 En outre, bien que dans les exemples de réalisation décrits ici chaque circuit mémoire corresponde à un circuit intégré comportant un ou plusieurs DPU intégrés, dans des variantes de réalisation lesdits un ou plusieurs DPU pourraient être formés dans un ou plusieurs autres circuits intégrés séparés 25 du circuit mémoire.

REVENDICATIONS

1. Dispositif informatique comprenant :
un premier dispositif de traitement (202) ;
une pluralité de circuits mémoire (204), au moins un premier des circuits mémoire (204) comprenant un ou plusieurs autres dispositifs de traitement (206) ;
un bus de données (DATA) couplant le premier dispositif de traitement (202) à chacun des circuits mémoire (204), dans lequel chacun des circuits mémoire (204) a un port de données qui a une largeur de m bits et le bus de données a une largeur de n bits, n étant supérieur à m, le port de données de chaque circuit mémoire (204) étant couplé à une tranche correspondante de m bits du bus de données, le premier dispositif de traitement (202) étant adapté à fournir une ou plusieurs premières adresses pour une valeur de données de n bits à lire ou écrire par l'intermédiaire du bus de données, dans lequel le premier dispositif de traitement et/ou un autre circuit (208) sont adaptés à lire ou écrire la valeur de données de n bits dans le premier circuit mémoire (204) :
 - en convertissant la première adresse en une pluralité de deuxièmes adresses correspondant à des emplacements mémoire de m bits dans le premier circuit mémoire, au moins deux de la pluralité de deuxièmes adresses étant des adresses contiguës ; et
 - en réalisant l'opération de lecture ou d'écriture de la valeur de données de n bits dans le premier circuit mémoire sur une pluralité d'opérations d'accès mémoire.
2. Dispositif informatique selon la revendication 1, dans lequel chaque autre dispositif de traitement (206) comprend un ou plusieurs processeurs configurés pour effectuer des opérations de traitement des données stockées par le premier circuit mémoire (204) sur la base de commandes fournies par le premier dispositif de traitement.
3. Dispositif informatique selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la largeur n du bus de données est un multiple p de la largeur m du port de données de chaque circuit mémoire, et dans lequel il y a p circuits mémoire.

4. Dispositif informatique selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la conversion d'adresse comprend une permutation d'adresses telle qu'un ou plusieurs des bits les plus significatifs (MSB) desdites une ou plusieurs premières 5 adresses deviennent un ou plusieurs bits les moins significatifs (LSB) de la pluralité de deuxièmes adresses désignant le premier circuit mémoire.

5. Dispositif informatique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel lesdites une ou plusieurs 10 premières adresses sont des adresses dans un espace d'adressage (HGAS) du premier dispositif de traitement, et les adresses de la pluralité de deuxièmes adresses sont des adresses dans un espace d'adressage local (DLAS) desdits un ou plusieurs autres dispositifs de traitement, dans lequel l'espace d'adressage local 15 est linéaire ou linéaire par segments.

6. Dispositif informatique selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant en outre un cache de données (1000), et un circuit de permutation de données (1001, 1116) adapté à réaliser une permutation de ligne de cache sur une ou 20 plusieurs lignes (L0, L1, L2) du cache de données (1000), le cache de données (1000) comportant des lignes de cache mémorisant chacune une pluralité de mots de données, chaque mot de données 25 comprenant une pluralité d'octets de données, et dans lequel la permutation de ligne de cache mémorise les octets formant un premier des mots de données dans des emplacements de mémorisation du cache associés au premier circuit mémoire.

7. Dispositif informatique selon la revendication 6, dans lequel le cache de données (1000) est couplé aux circuits mémoire (204) par l'intermédiaire d'un bus de données, et dans 30 lequel le circuit de permutation de données est un circuit de transposition d'octets (1116) couplé entre le bus de données et le cache de données (1000) et adapté à réaliser la permutation de ligne de cache de chaque valeur de données mémorisée dans ou chargée à partir du cache.

8. Dispositif informatique selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le premier dispositif de traitement et/ou un autre circuit (208) sont adaptés à déterminer si lesdites une ou plusieurs premières adresses tombent dans un 5 segment d'adresses associé à un ou plusieurs des autres dispositifs de traitement (206), et à réaliser la conversion d'adresse si lesdites une ou plusieurs premières adresses tombent dans le segment d'adresses.

9. Dispositif informatique selon l'une quelconque des 10 revendications 1 à 8, dans lequel une pluralité de bits les moins significatifs de la première adresse est identique à une pluralité de bits les moins significatifs de l'une des deuxièmes adresses.

10. Dispositif informatique selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel un registre de commande de plus 15 de m bits est mappé vers l'espace d'adressage du premier circuit mémoire, le registre de commande comprenant au moins un bit de commande, dans lequel le premier dispositif de traitement (202) est adapté à réaliser une opération d'écriture dans le registre de commande sur une pluralité d'opérations d'accès mémoire, un 20 octet du registre de commande comprenant le bit de commande étant écrit par une opération finale des opérations d'accès en mémoire et impliquant une modification du bit de commande.

11. Dispositif informatique selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel le premier circuit mémoire 25 (204, 800) est une puce de circuit intégré intégrant une matrice mémoire (802) et lesdits un ou plusieurs autres dispositifs de traitement (DPU 0, DPU 1).

12. Dispositif informatique selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel le premier circuit mémoire 30 (204, 800) comprend une première puce de circuit intégré comprenant une matrice mémoire et une autre puce de circuit intégré comprenant lesdits un ou plusieurs autres dispositifs de traitement (DPU 0, DPU 1).

13. Dispositif informatique selon la revendication 11 35 ou 12, dans lequel le premier circuit mémoire (204, 800) comprend

une pluralité d'autres dispositifs de traitement (DPU 0, DPU 1) chacun étant associé à un espace d'adressage correspondant de la matrice mémoire.

14. Dispositif informatique selon l'une quelconque des 5 revendications 1 à 13, dans lequel le premier dispositif de traitement (202) comprend un ou plusieurs circuits de code de correction d'erreur (ECC) adaptés à insérer un ou plusieurs bits ECC dans chaque valeur de m bits.

15. Dispositif informatique selon l'une quelconque des 10 revendications 1 à 14, dans lequel le premier dispositif de traitement (202) comprend un ou plusieurs circuits de code de correction d'erreur (ECC) adaptés à générer des bits ECC à mémoriser dans le premier circuit mémoire (204) pendant une autre opération d'accès mémoire.

16. Procédé comprenant :

réaliser, par un premier dispositif de traitement (202), une opération de lecture ou d'écriture d'une valeur de données de n bits dans un premier circuit mémoire (204) d'une pluralité de circuits mémoire par l'intermédiaire d'un bus de données (DATA) 20 couplant le premier dispositif de traitement (202) à chacun des circuits mémoire, le premier circuit mémoire comprenant un ou plusieurs autres dispositifs de traitement (206), dans lequel chacun des circuits mémoire comporte un port de données qui a une largeur de m bits et le bus de données a une largeur de n bits, n étant supérieur à m , le port de données de chaque circuit mémoire 25 (204) étant couplé à une tranche correspondante de m bits du bus de données, l'opération de lecture ou d'écriture comprenant :

- fournir, par le premier dispositif de traitement (202), une ou plusieurs premières d'adresses pour une valeur de données de n bits à lire ou écrire par l'intermédiaire du bus de données ;
- convertir la première adresse en une pluralité de deuxièmes adresses correspondant à des emplacements mémoire de m bits dans le premier circuit mémoire, au

moins deux de la pluralité de deuxièmes adresses étant des adresses contiguës ; et

- réaliser l'opération de lecture ou d'écriture de la valeur de données de n bits dans le premier circuit mémoire sur une pluralité d'opérations d'accès mémoire.

17. Procédé selon la revendication 16, comprenant en outre la réalisation par le premier dispositif de traitement, d'une permutation de ligne de cache sur une ou plusieurs lignes (L0, L1, L2) d'un cache de données (1000), le cache de données (1000) comportant des lignes de cache mémorisant chacune une pluralité de mots de données, chaque mot de données comprenant une pluralité d'octets de données, et dans lequel la permutation de ligne de cache mémorise les octets formant un premier des mots de données dans des emplacements de mémorisation du cache associés au premier circuit mémoire.

18. Support de stockage électronique mémorisant des instructions de programme qui amènent, lorsqu'elles sont exécutées par le premier dispositif de traitement (202), la mise en oeuvre du procédé de la revendication 16 ou 17.

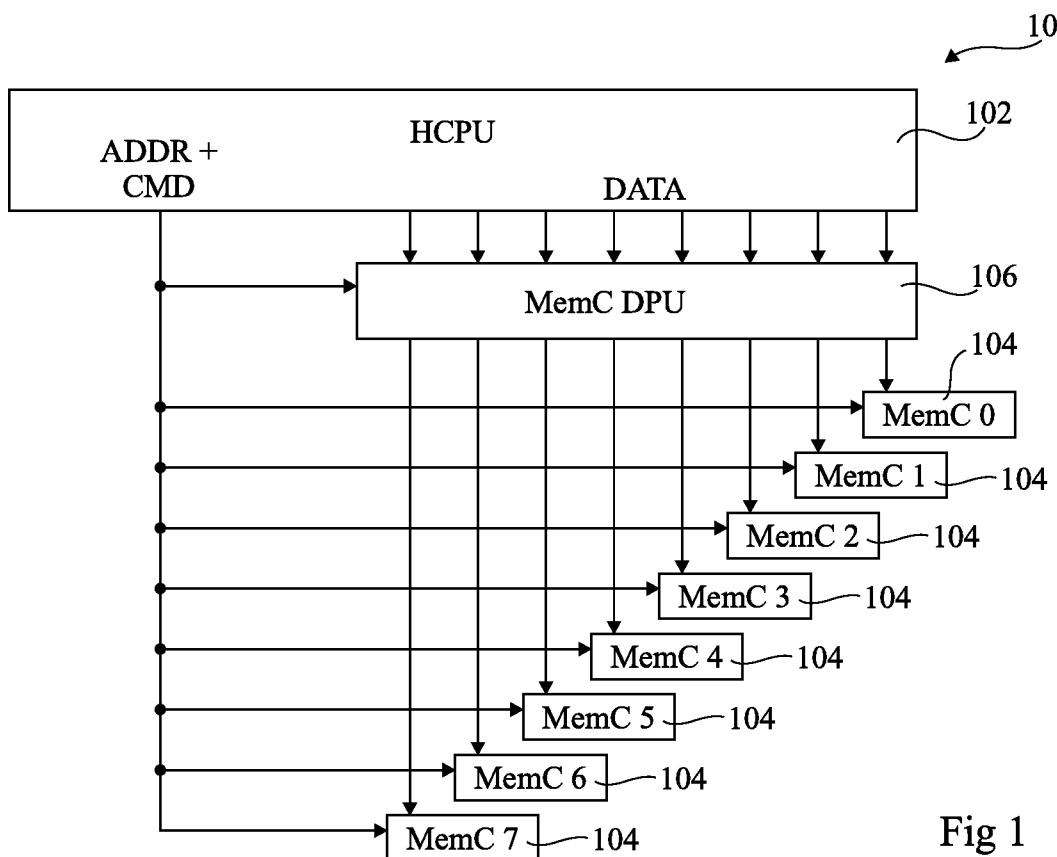


Fig 1

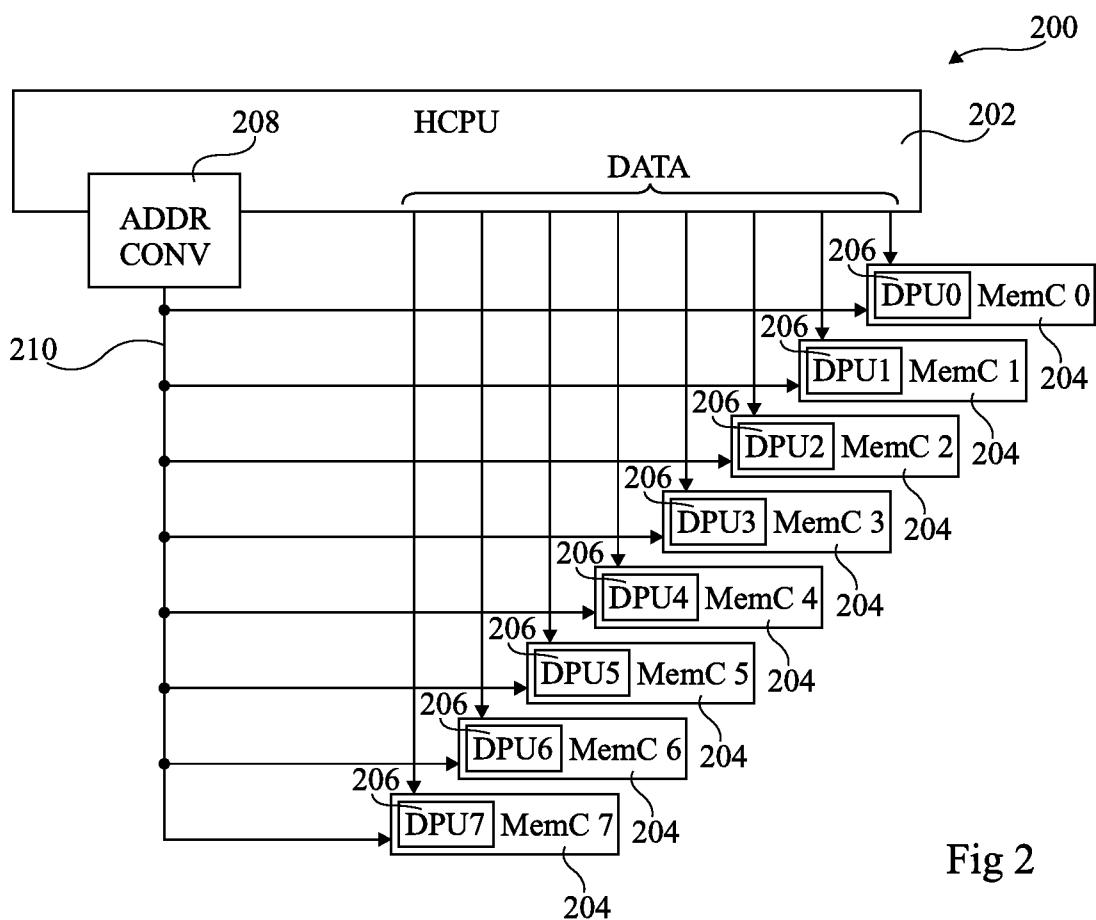


Fig 2

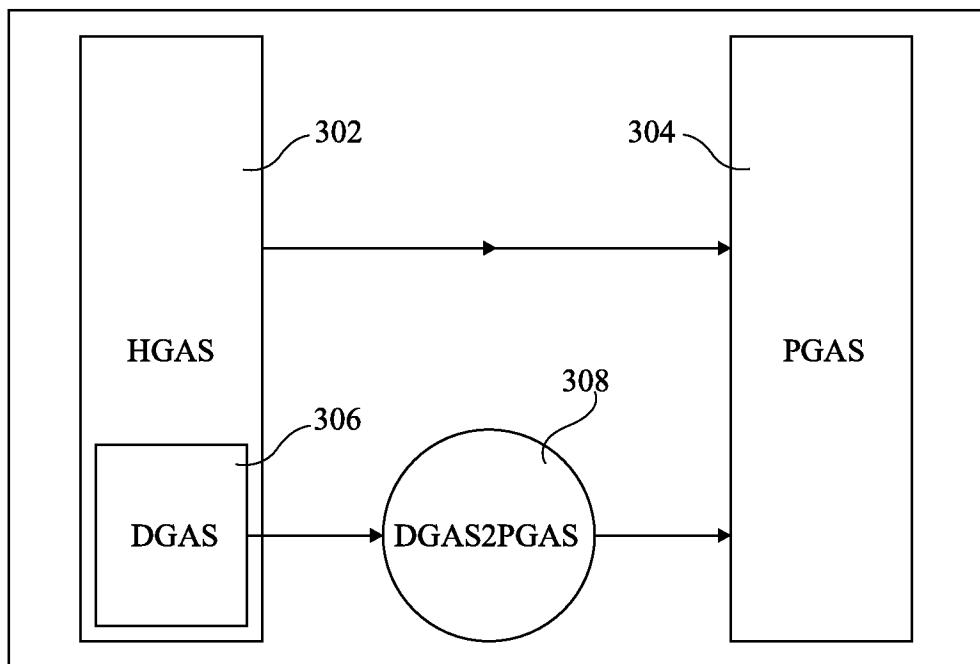


Fig 3

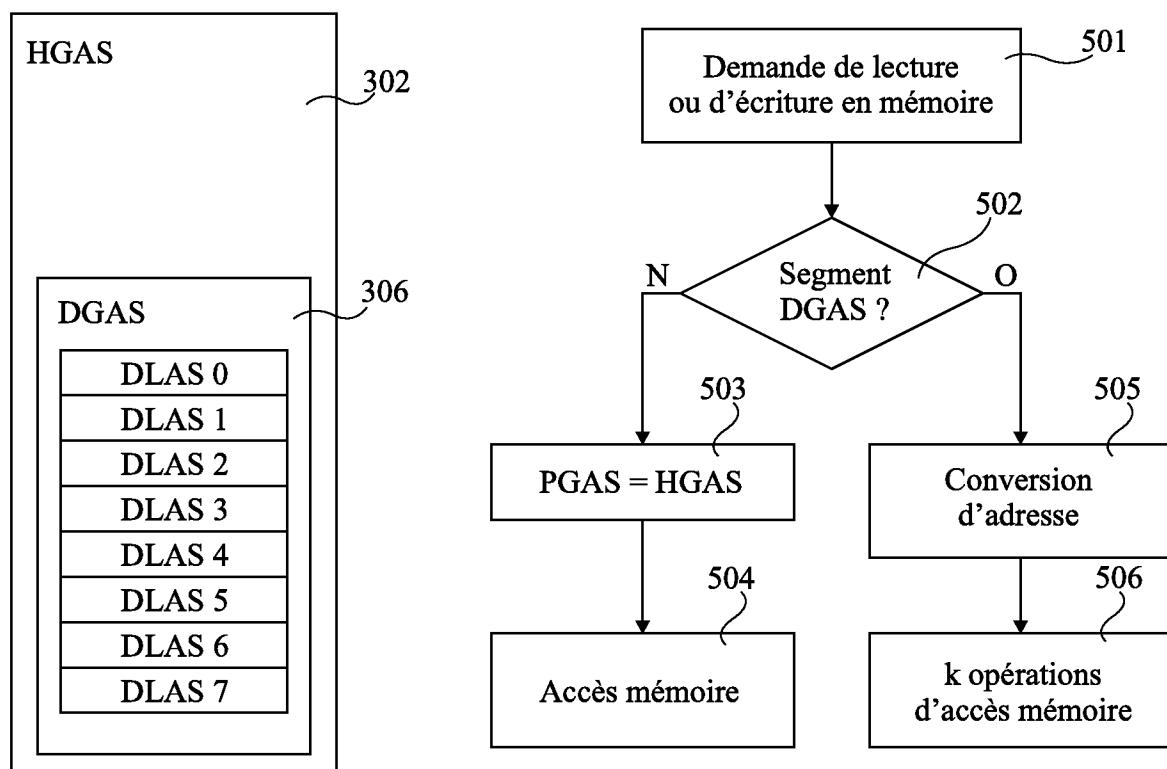


Fig 4

Fig 5

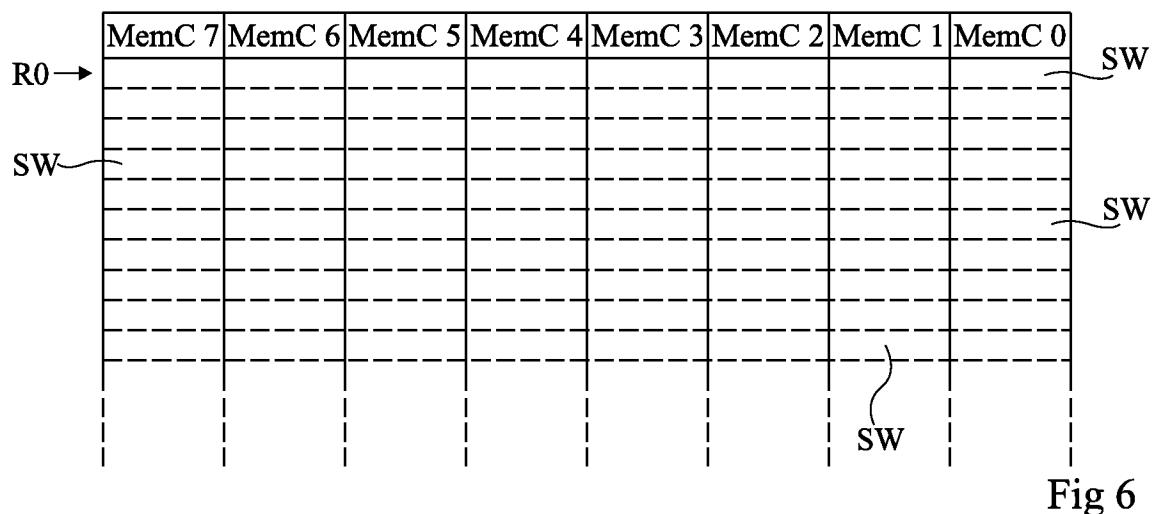


Fig 6

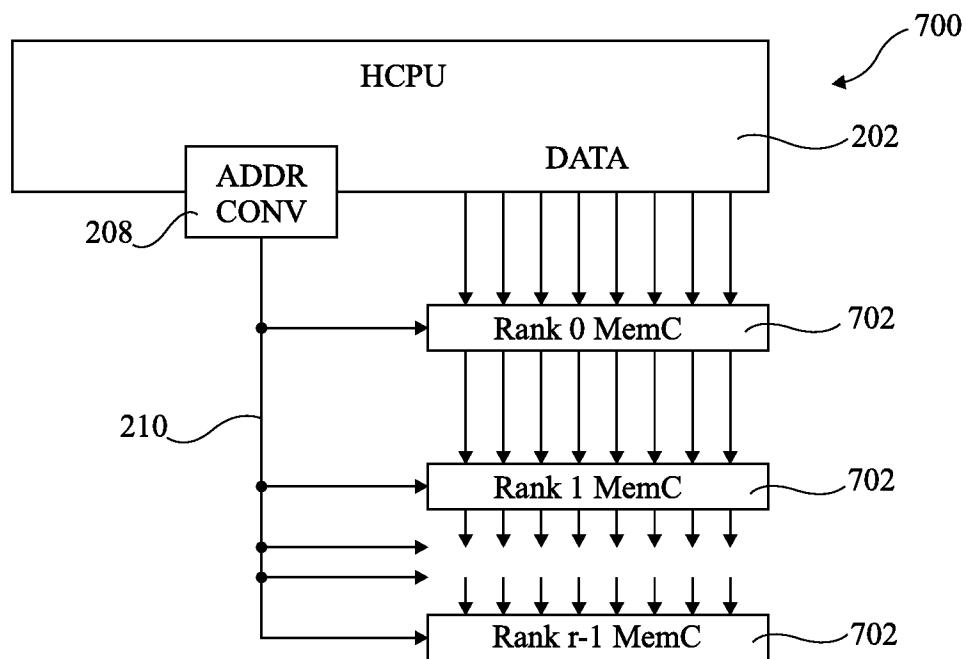


Fig 7

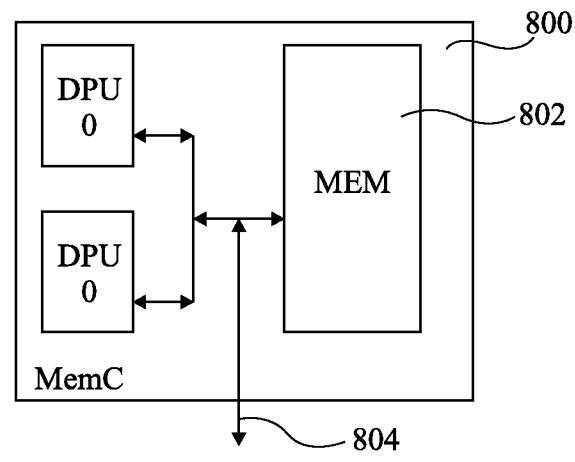


Fig 8

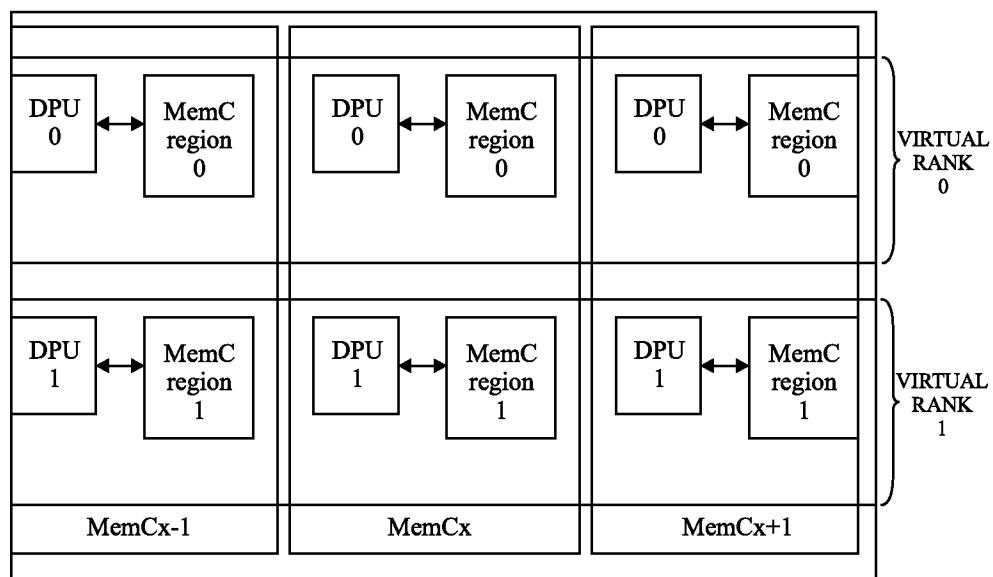


Fig 9

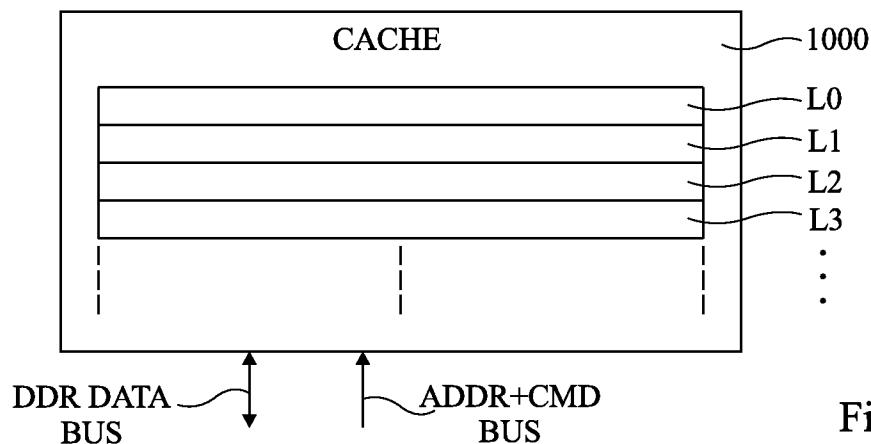


Fig 10A

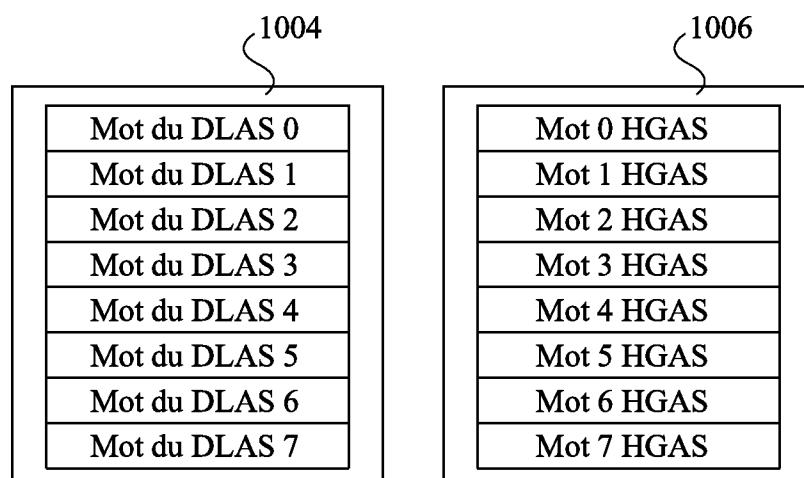
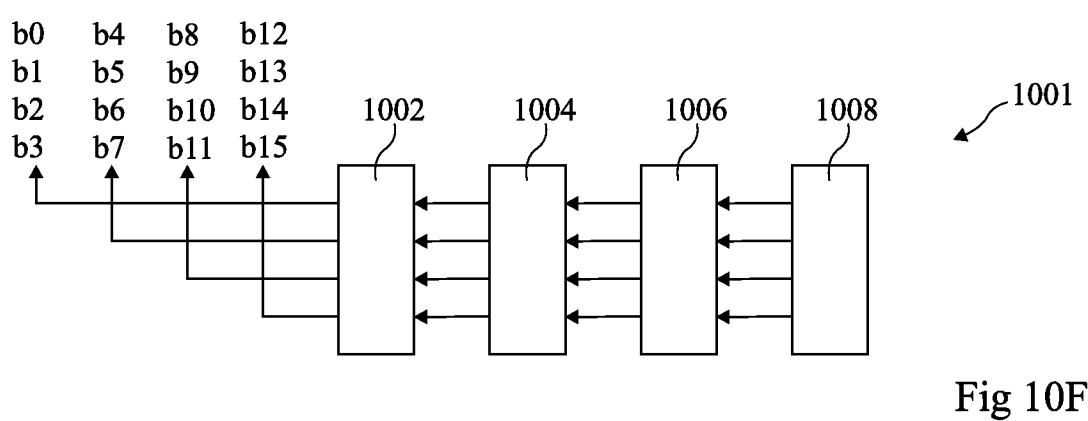
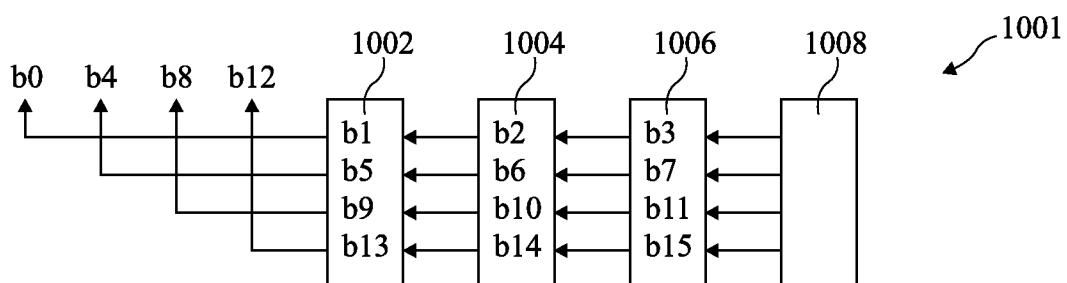
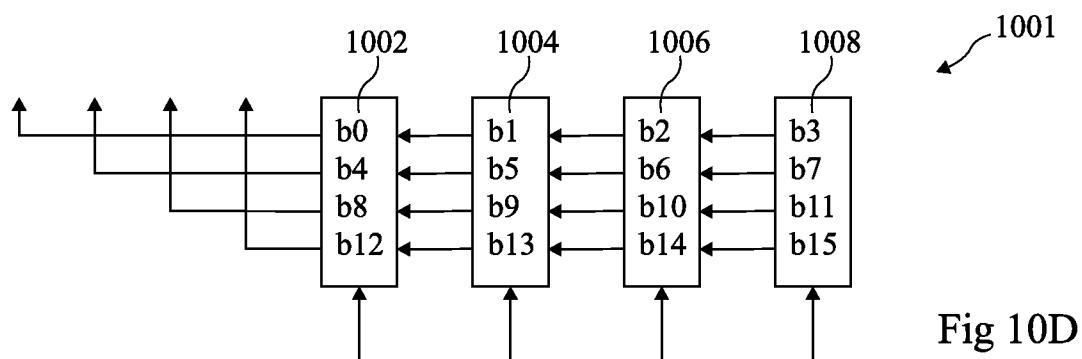
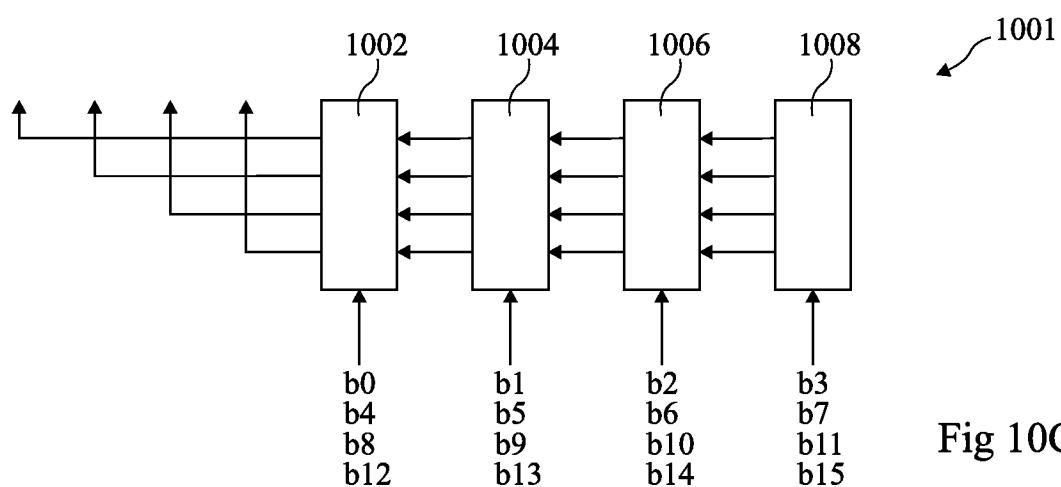


Fig 10B



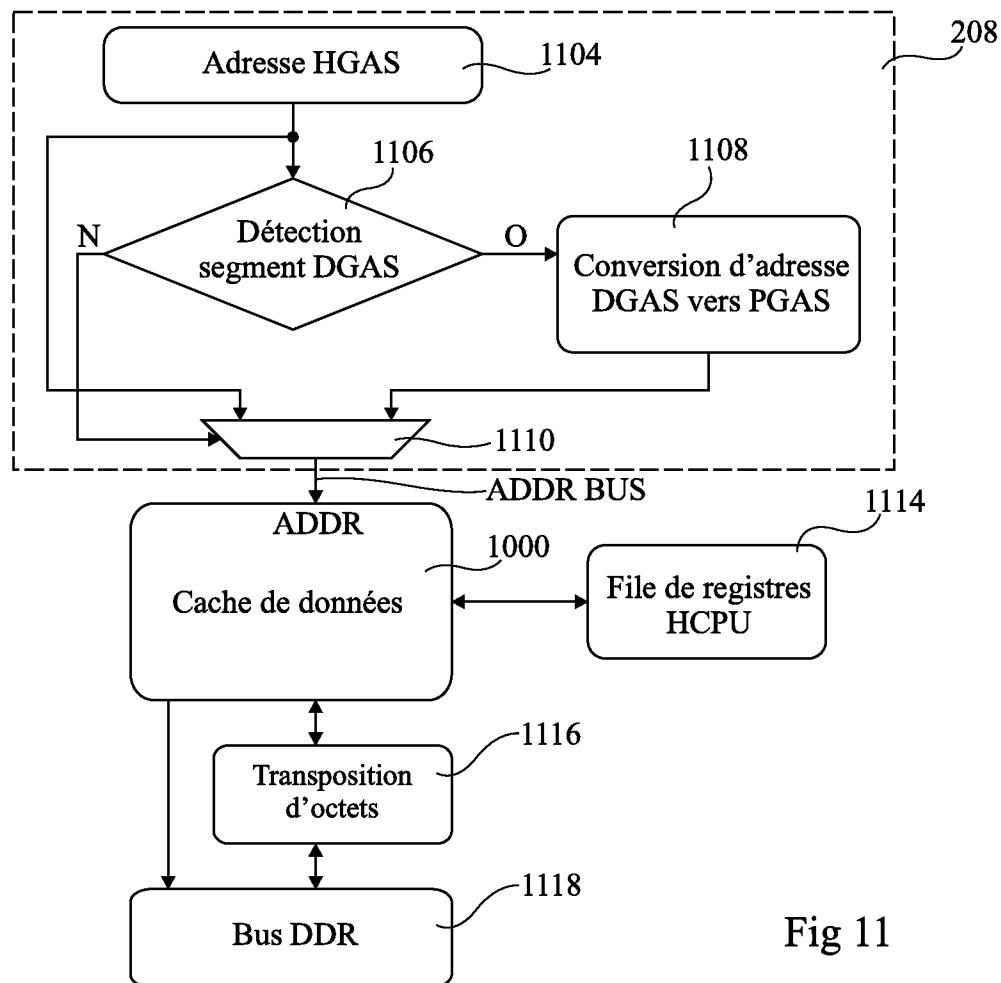


Fig 11

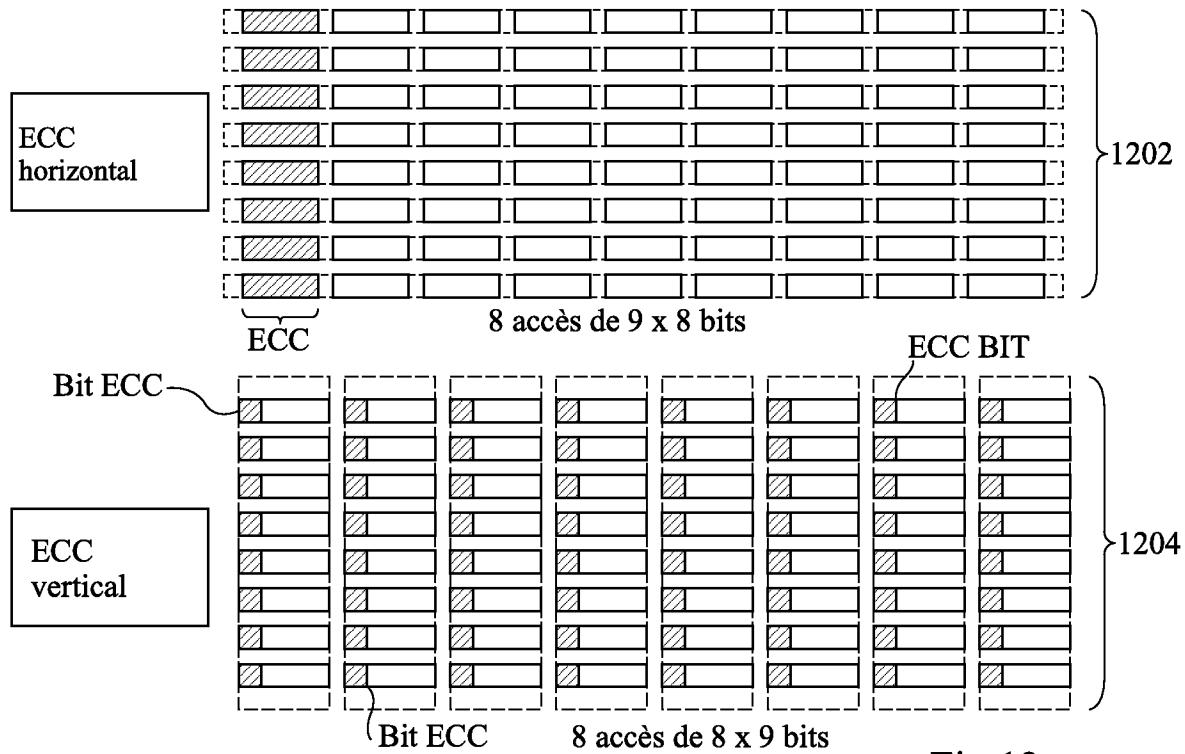


Fig 12

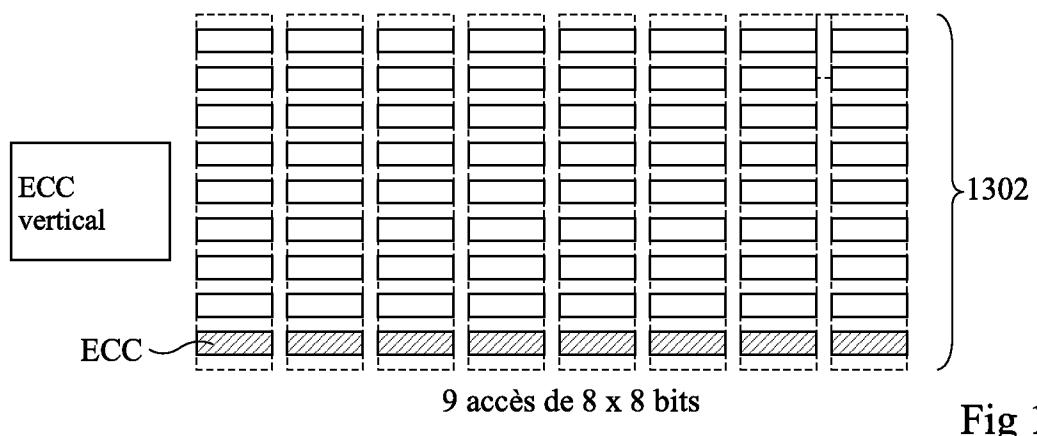


Fig 13

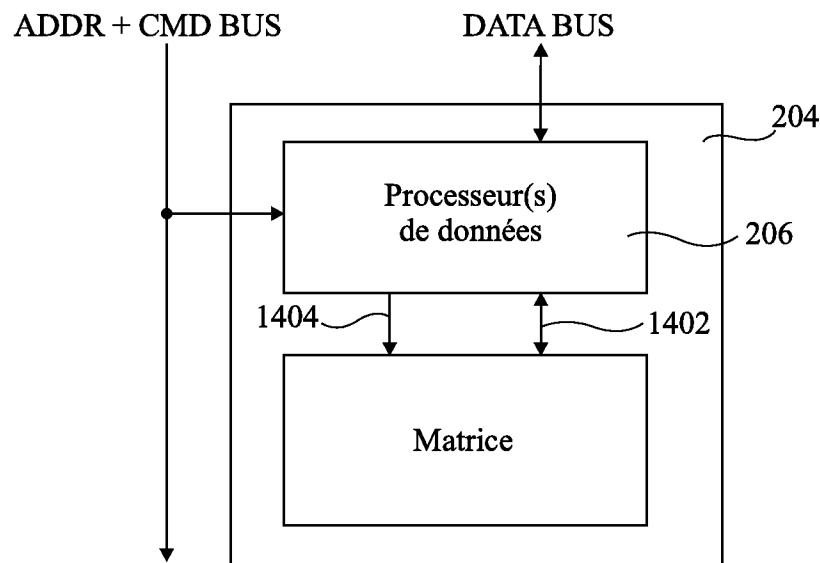


Fig 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2016/052450

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G06F13/12 G06F13/40
 ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 976 054 A1 (ADVANCED MICRO DEVICES INC [US]) 2 February 2000 (2000-02-02) paragraphs [0010] - [0016], [0032], [0034], [0042], [0045]; figures 2,3,5-7 -----	1-18
X	US 5 745 791 A (PEEK GREG A [US] ET AL) 28 April 1998 (1998-04-28) column 2, line 47 - column 4, line 59; claim 1; figures 2,3 -----	1-18
A	US 5 758 108 A (NAKAMURA AKIYOSHI [JP]) 26 May 1998 (1998-05-26) column 7, line 55 - column 8, line 59; claim 1; figure 8 ----- -/-	1-18

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 2 January 2017	Date of mailing of the international search report 12/01/2017
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Jardon, Stéphan

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/FR2016/052450

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 96/35176 A1 (APPLE COMPUTER [US]) 7 November 1996 (1996-11-07) page 6, line 8 - page 8, line 5; claim 1; figures 3,4 ----- US 2003/222283 A1 (TAKAZAWA YOSHIO [JP] ET AL) 4 December 2003 (2003-12-04) paragraphs [0004], [0005], [0043], [0052]; claims 1-3; figure 1 -----	1-18
A		1-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/FR2016/052450

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
EP 0976054	A1	02-02-2000	DE DE EP JP JP KR TW US WO	69706443 D1 69706443 T2 0976054 A1 3803722 B2 2000511726 A 20000011052 A 313732 B 5818844 A 9746944 A1	04-10-2001 13-06-2002 02-02-2000 02-08-2006 05-09-2000 25-02-2000 21-08-1997 06-10-1998 11-12-1997
US 5745791	A	28-04-1998	NONE		
US 5758108	A	26-05-1998	JP US	H08147076 A 5758108 A	07-06-1996 26-05-1998
WO 9635176	A1	07-11-1996	AU US WO	5533496 A 5634013 A 9635176 A1	21-11-1996 27-05-1997 07-11-1996
US 2003222283	A1	04-12-2003	JP KR TW US US	2003346500 A 20030093104 A 200400514 A 2003222283 A1 2007198880 A1	05-12-2003 06-12-2003 01-01-2004 04-12-2003 23-08-2007

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2016/052450

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
 INV. G06F13/12 G06F13/40
 ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
G06F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 976 054 A1 (ADVANCED MICRO DEVICES INC [US]) 2 février 2000 (2000-02-02) alinéas [0010] - [0016], [0032], [0034], [0042], [0045]; figures 2,3,5-7 -----	1-18
X	US 5 745 791 A (PEEK GREG A [US] ET AL) 28 avril 1998 (1998-04-28) colonne 2, ligne 47 - colonne 4, ligne 59; revendication 1; figures 2,3 -----	1-18
A	US 5 758 108 A (NAKAMURA AKIYOSHI [JP]) 26 mai 1998 (1998-05-26) colonne 7, ligne 55 - colonne 8, ligne 59; revendication 1; figure 8 ----- -/-	1-18

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
2 janvier 2017	12/01/2017
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé Jardon, Stéphan

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2016/052450

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 96/35176 A1 (APPLE COMPUTER [US]) 7 novembre 1996 (1996-11-07) page 6, ligne 8 - page 8, ligne 5; revendication 1; figures 3,4 -----	1-18
A	US 2003/222283 A1 (TAKAZAWA YOSHIO [JP] ET AL) 4 décembre 2003 (2003-12-04) alinéas [0004], [0005], [0043], [0052]; revendications 1-3; figure 1 -----	1-18
1		

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2016/052450

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)			Date de publication
EP 0976054	A1 02-02-2000	DE 69706443 D1			04-10-2001
		DE 69706443 T2			13-06-2002
		EP 0976054 A1			02-02-2000
		JP 3803722 B2			02-08-2006
		JP 2000511726 A			05-09-2000
		KR 20000011052 A			25-02-2000
		TW 313732 B			21-08-1997
		US 5818844 A			06-10-1998
		WO 9746944 A1			11-12-1997
<hr/>					
US 5745791	A 28-04-1998	AUCUN			
<hr/>					
US 5758108	A 26-05-1998	JP H08147076 A			07-06-1996
		US 5758108 A			26-05-1998
<hr/>					
WO 9635176	A1 07-11-1996	AU 5533496 A			21-11-1996
		US 5634013 A			27-05-1997
		WO 9635176 A1			07-11-1996
<hr/>					
US 2003222283	A1 04-12-2003	JP 2003346500 A			05-12-2003
		KR 20030093104 A			06-12-2003
		TW 200400514 A			01-01-2004
		US 2003222283 A1			04-12-2003
		US 2007198880 A1			23-08-2007
<hr/>					