



Mineure CalHau2

CUBLAS library

Stéphane Vialle



Stephane.Vialle@centralesupelec.fr
<http://www.metz.supelec.fr/~vialle>

1

CUBLAS library

- 1 – Les bibliothèques BLAS
- 2 – CUBLAS vs BLAS
- 3 – La fonction *cublasDgemm*
- 4 – Transposition de matrice
- 5 – Espace de stockage pour *cublasDgemm*
- 6 – CUBLAS avec TensorCores
- 7 – Adresse mémoire d'un *symbol*

2

Les bibliothèques « BLAS »

BLAS : Basic Linear Algebra Subprograms

- Ensemble de fonctions d'algèbre linéaire
- Prototypes publiés en 1979
https://fr.wikipedia.org/wiki/Basic_Linear_Algebra_Subprograms
- 3 niveaux de BLAS :
 - niveau 1 : opérations sur les vecteurs
 - niveau 2 : opérations de type matrice – vecteur
 - niveau 3 : opérations de type matrice – matrice
- **UNE API standardisée et DES implantations**
 - implantations open-sources
ex : OpenBLAS, ATLAS (très efficaces)
 - implantations propriétaires ciblées sur un type de matériel
ex : bibliothèque MKL d'Intel
 - **installer en recompilant sur la machine cible**

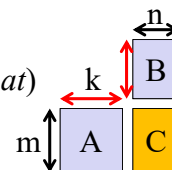
3

Les bibliothèques « BLAS »

La Fonction `cblas_dgemm` :

- Fonction de produit de matrices denses
- Travaille sur des *double* (`cblas_sgemm` pour les *float*)

$$C = \alpha \cdot op(A) \times op(B) + \beta \cdot C$$



```
void cblas_dgemm (
  const CBLAS_LAYOUT layout,
  const CBLAS_TRANSPOSE transa,
  const CBLAS_TRANSPOSE transb,
  const int m, const int n, const int k,
  const double alpha,
  const double *a, const int lda,
  const double *b, const int ldb,
  const double beta,
  double *c, const int ldc)
```

Stockage en
row major ou
column major

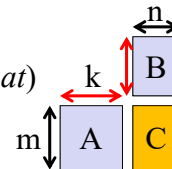
4

Les bibliothèques « BLAS »

La Fonction `cblas_dgemm` :

- Fonction de produit de matrices denses
- Travaille sur des *double* (`cblas_sgemm` pour les *float*)

$$C = \alpha.op(A) \times op(B) + \beta.C$$



```
void cblas_dgemm (
    const CBLAS_LAYOUT Layout,
    const CBLAS_TRANSPOSE transa,
    const CBLAS_TRANSPOSE transb,
    const int m, const int n, const int k,
    const double alpha,
    const double *a, const int lda,
    const double *b, const int ldb,
    const double beta,
    double *c, const int ldc)
```

Transposition
« au vol » (ou
pas) de A et B

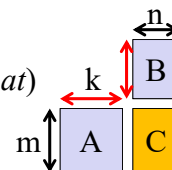
5

Les bibliothèques « BLAS »

La Fonction `cblas_dgemm` :

- Fonction de produit de matrices denses
- Travaille sur des *double* (`cblas_sgemm` pour les *float*)

$$C = \alpha.op(A) \times op(B) + \beta.C$$



```
void cblas_dgemm (
    const CBLAS_LAYOUT Layout,
    const CBLAS_TRANSPOSE transa,
    const CBLAS_TRANSPOSE transb,
    const int m, const int n, const int k,
    const double alpha,
    const double *a, const int lda,
    const double *b, const int ldb,
    const double beta,
    double *c, const int ldc)
```

Tailles des
matrices

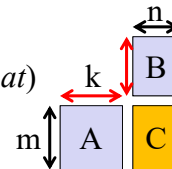
6

Les bibliothèques « BLAS »

La Fonction `cblas_dgemm` :

- Fonction de produit de matrices denses
- Travaille sur des *double* (`cblas_sgemm` pour les *float*)

$$C = \alpha.op(A) \times op(B) + \beta.C$$



```
void cblas_dgemm (
    const CBLAS_LAYOUT Layout,
    const CBLAS_TRANSPOSE transa,
    const CBLAS_TRANSPOSE transb,
    const int m, const int n, const int k,
    const double alpha,
    const double *a, const int lda,
    const double *b, const int ldb,
    const double beta,
    double *c, const int ldc)
```

lda, ldb, ldc : tailles
des zones de
stockage
(voir plus loin)

7

CUBLAS library

- 1 – Les bibliothèques BLAS
- 2 – **CUBLAS vs BLAS**
- 3 – La fonction `cublasDgemm`
- 4 – Transposition de matrice
- 5 – Espace de stockage pour `cublasDgemm`
- 6 – CUBLAS avec TensorCores
- 7 – Adresse mémoire d'un *symbol*

8

Bibliothèques BLAS et CUBLAS

2 – CUBLAS vs BLAS

- Mêmes fonctionnalités d'algèbre linéaire que les BLAS
- Mais quelques différences :
 - **Besoin d'initialiser l'usage de la bibliothèque**
 - Récupération d'un « *handle* » sur la bibliothèque
 - Passage de ce *handle* en paramètre de toutes les fonctions CUBLAS
 - **Le format « *column major* » (style FORTRAN) est imposé**
 - Possibilité de convertir les données d'entrée au vol
 - Besoin de convertir les données de sortie
 - **La bibliothèque ne se charge pas des transferts CPU/GPU**
 - les transferts restent à la charge du développeur
 - **Quelques nouvelles fonctions disponibles**
 - des « extensions des BLAS » : non standard mais pratiques !

9

Bibliothèques BLAS et CUBLAS

2 – CUBLAS vs BLAS

Utilisation des CUBLAS

1. Ajout de `#include <cublas_v2.h>` au début du fichier src Cuda
2. Ajout de `-lcublas` à l'édition de lien
3. Initialisation des CUBLAS dans le code Cuda

```
cublasHandle_t handle;
cublasCreate(&handle); // Return a cudaStatus_t
                        // CUBLAS_STATUS_SUCCESS ?
cublasXxxx(handle,...); // Cublas usage
cublasDestroy(handle); // End of cublas usage
```

Rmq : L'initialisation (`cublasCreate`) peut prendre un peu de temps!
Ne la faire qu'une seule fois au début du pgm.

10

CUBLAS library

- 1 – Les bibliothèques BLAS
- 2 – CUBLAS vs BLAS
- 3 – La fonction *cublasDgemm***
- 4 – Transposition de matrice
- 5 – Espace de stockage pour *cublasDgemm*
- 6 – CUBLAS avec TensorCores
- 7 – Adresse mémoire d'un *symbol*

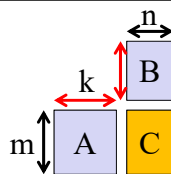
11

3 – La fonction *cublasDgemm*

API :

```
cublasStatus_t cublasDgemm(cublasHandle_t handle,
cublasOperation_t transa,
cublasOperation_t transb,
int m, int n, int k,
const double *alpha,
const double *A, int lda,
const double *B, int ldb,
const double *beta,
double *C, int ldc)
```

$$C = \alpha \cdot op(A) \times op(B) + \beta \cdot C$$



Comparé aux BLAS :

- On passe le « *handle* » des cublas (1^{er} paramètre)
- Les valeurs « *alpha* » et « *beta* » ne sont pas des constantes mais des adresse de variables (constantes)
- On ne précise pas le format des données :
→ le stockage « *column major* » est imposé

12

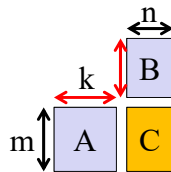
3 – La fonction *cublasSgemm*

API :

```

cublasStatus_t cublasDgemm(cublasHandle_t handle,
cublasOperation_t transa,
cublasOperation_t transb,
int m, int n, int k,
const float *alpha,
const float *A, int lda,
const float *B, int ldb,
const float *beta,
float *C, int ldc)
    
```

$$C = \alpha \cdot op(A) \times op(B) + \beta \cdot C$$



Comparé aux BLAS :

- On passe le « *handle* » des cublas (1^{er} paramètre)
- Les valeurs « *alpha* » et « *beta* » ne sont pas des constantes mais des adresse de variables (constantes)
- On ne précise pas le format des données :
→ le stockage « *column major* » est imposé

3 – La fonction *cublasDgemm*

Format des données (matrices) :

```

cublasDgemm(
cublasHandle_t handle,
cublasOperation_t transa,
cublasOperation_t transb,
int m, int n, int k,.....)
    
```

$$C = \alpha \cdot op(A) \times op(B) + \beta \cdot C$$

A est une matrice :

- mathématiquement de *m* lignes × *k* colonnes,
- considérée stockée au format *column major* (imposé),
- que l'on peut transposer « au vol » :

$$op(A) = \begin{cases} A & \text{if transa == CUBLAS_OP_N} \\ A^T & \text{if transa == CUBLAS_OP_T} \\ A^H & \text{if transa == CUBLAS_OP_C} \end{cases} \rightarrow \text{matrice conjuguée}$$

Idem pour B : matrice de *k* lignes × *n* colonnes

3 – La fonction *cublasDgemm*

Format des données (matrices) :

$$C = \alpha \cdot op(A) \times op(B) + \beta \cdot C$$

```
cublasDgemm(
    cublasHandle_t handle,
    cublasOperation_t transa,
    cublasOperation_t transb,
    int m, int n, int k,.....)
```

A est une matrice :

- mathématiquement de m lignes \times k colonnes,
- considérée stockée au format *column major* (imposé),
- que l'on peut transposer « au vol » :

En langage C/C++ (comme en CUDA) un tableau 2D est stocké en *row major*...

...en demandant la transposition au vol d'une matrice (avec `transa = CUBLAS_OP_T`) on l'obtient en *column major* !

15

3 – La fonction *cublasDgemm*

Format des données (matrices) :

$$C = \alpha \cdot op(A) \times op(B) + \beta \cdot C$$

```
cublasDgemm(
    cublasHandle_t handle,
    cublasOperation_t transa,
    cublasOperation_t transb,
    int m, int n, int k,.....)
```

Mais la matrice résultat (C) :

- est générée au format *column major* (imposé)
- donc on obtient C^T au format naturel du langage C/C++/CUDA

Pour obtenir C au format du C/C++/CUDA on peut :

Sol 1 : Transposer C avec un kernel écrit pour l'occasion

Sol 2 : Transposer C avec la fonction CUBLAS `cublasDgeam` (qui n'est pas dans les BLAS mais dans CUBLAS)

Sol 3 : Organiser les calculs matriciels pour calculer C^T et donc obtenir C dans le format du C/C++/CUDA

16

CUBLAS library

- 1 – Les bibliothèques BLAS
- 2 – CUBLAS vs BLAS
- 3 – La fonction *cublasDgemm*
- 4 – **Transposition de matrice**
- 5 – Espace de stockage pour *cublasDgemm*
- 6 – CUBLAS avec TensorCores
- 7 – Adresse mémoire d'un *symbol*

17

4 – Transposition de matrice

Sol 1 : kernel de transposition

```
__global__ void TransposeKernel_v0(float *MT, float *M,
                                   int mLig, int nCol)
{
    int lig = threadIdx.y + blockIdx.y*BSIZE_XY_KT0;
    int col = threadIdx.x + blockIdx.x*BSIZE_XY_KT0;
    if (lig < mLig && col < nCol)
        MT[col*mLig + lig] = M[lig*nCol + col];
}
```

Accès NON coalescent

Accès coalescent

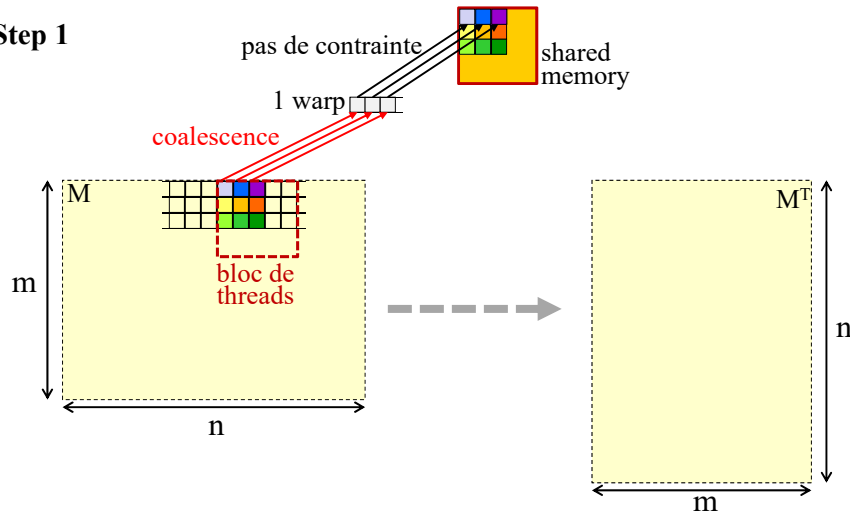
→ Utiliser la *shared memory* pour être coalescent à la lecture ET à l'écriture...

18

4 – Transposition de matrice

Sol 1 : kernel de transposition

Step 1

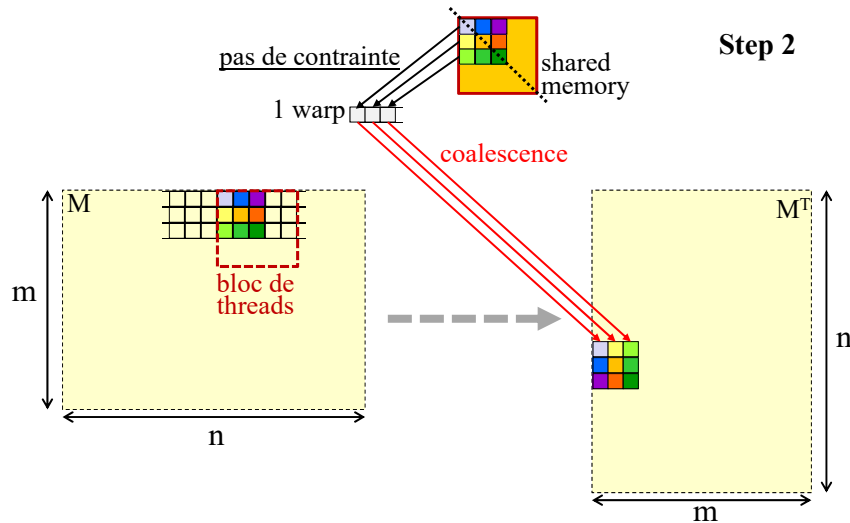


19

4 – Transposition de matrice

Sol 1 : kernel de transposition

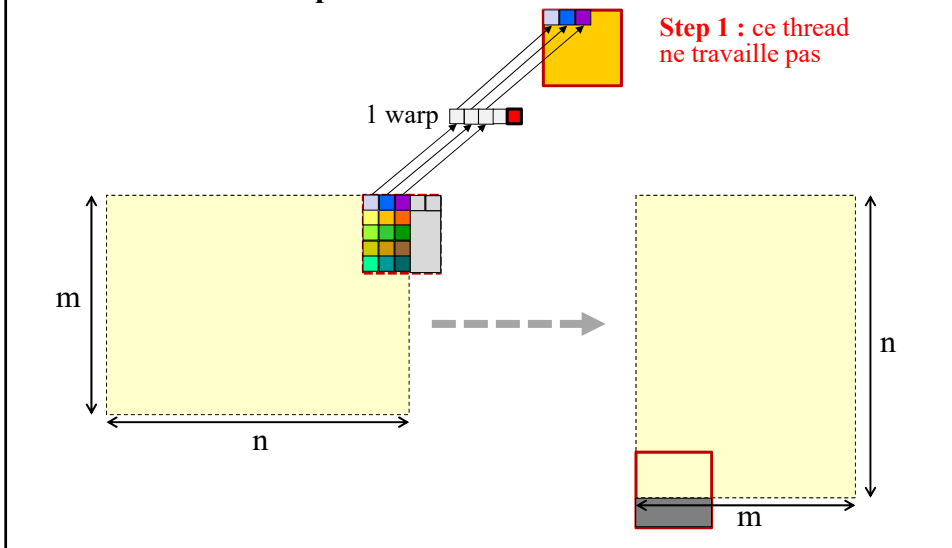
Step 2



20

4 – Transposition de matrice

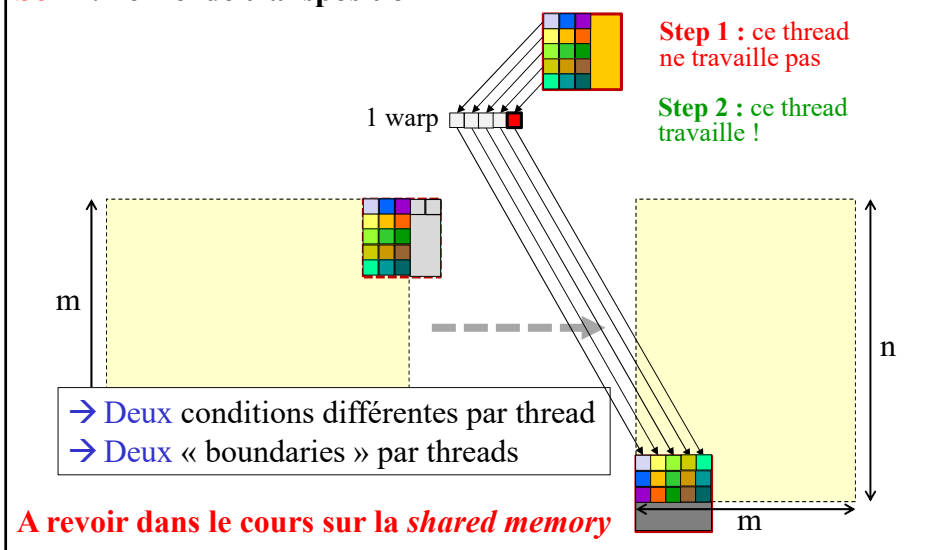
Sol 1 : kernel de transposition



21

4 – Transposition de matrice

Sol 1 : kernel de transposition



22

4 – Transposition de matrice

Sol 1 : kernel de transposition

```

__global__ void TransposeKernel_v1(float *MT, float *M,
                                   int mLig, int nCol)
{
    int firstLibBlock = blockIdx.y*BSIZE_XY_KT1;
    int firstColBlock = blockIdx.x*BSIZE_XY_KT1;
    int lig = firstLibBlock + threadIdx.y;
    int col = firstColBlock + threadIdx.x;
    int ligT = firstColBlock + threadIdx.y;
    int colT = firstLibBlock + threadIdx.x;
    __shared__ float shM[BSIZE_XY_KT1][BSIZE_XY_KT1];
    if (lig < mLig && col < nCol) // Condition 1
        shM[threadIdx.y][threadIdx.x] = M[lig*nCol + col];
    __syncthreads();
    if (ligT < nCol && colT < mLig) // Condition 2
        MT[ligT*mLig + colT] = shM[threadIdx.x][threadIdx.y];
}

```

23

4 – Transposition de matrice

Sol 2 : utilisation de cublasDgeam :

Réalise le calcul de : $C = \alpha.op(A) + \beta.op(B)$

```

cublasStatus_t cublasDgeam(
    cublasHandle_t handle,
    cublasOperation_t transa,
    cublasOperation_t transb,
    int m, int n,
    const double *alpha,
    const double *A, int lda,
    const double *beta,
    const double *B, int ldb,
    double *C, int ldc)

```

Voir aussi
cublasSgeam(...)

→ Permet le calcul (très rapide) d'une transposée de matrice

Rmq : on peut passer un ptr NULL si on ne sert pas d'une matrice et qu'on ne fait pas d'opération dessus

→ TD/TP 2

24

4 – Transposition de matrice

Sol 3 : calcul de C^T en stockage *column major* :

A partir de A et B, calculer C^T au lieu de C ($=A \times B$)

... grâce aux propriétés de l'algèbre linéaire et des CUBLAS...

→ Donc obtenir C^T stockée en *column major*

→ Donc obtenir C dans un tableau C/C++/CUDA en *row major*



CUBLAS library

- 1 – Les bibliothèques BLAS
- 2 – CUBLAS vs BLAS
- 3 – La fonction *cublasDgemm*
- 4 – Transposition de matrice
- 5 – Espace de stockage pour *cublasDgemm***
- 6 – CUBLAS avec TensorCores
- 7 – Adresse mémoire d'un *symbol*

Bibliothèques BLAS et CUBLAS

5 – Espace de stockage pour *cublasDgemv*

Autres paramètres (doc NVIDIA)

Les tableaux de stockages de A, B et C, peuvent être plus grands que les matrices

On doit préciser leur dimension principale...

Param.	Memory	In/out	Meaning
handle		input	handle to the CUBLAS library context.
transa		input	operation op(A) that is non- or (conj.) transpose.
transb		input	operation op(B) that is non- or (conj.) transpose.
m		input	number of rows of matrix op(A) and c.
n		input	number of columns of matrix op(B) and c.
k		input	number of columns of op(A) and rows of op(B).
alpha	host or device	input	<type> scalar used for multiplication.
A	device	input	<type> array of dimensions $lda \times k$ with $lda \geq \max(1, m)$ if $transa == CUBLAS_OP_N$ and $lda \times m$ with $lda \geq \max(1, k)$ otherwise.
lda		input	leading dimension of two-dimensional array used to store the matrix A.
B	device	input	<type> array of dimension $ldb \times n$ with $ldb \geq \max(1, k)$ if $transb == CUBLAS_OP_N$ and $ldb \times k$ with $ldb \geq \max(1, n)$ otherwise.
ldb		input	leading dimension of two-dimensional array used to store matrix B.
beta	host or device	input	<type> scalar used for multiplication. If $beta=0$, c does not have to be a valid input.
C	device	in/out	<type> array of dimensions $ldc \times n$ with $ldc \geq \max(1, m)$.
ldc		input	leading dimension of a two-dimensional array used to store the matrix c.

27

Bibliothèques BLAS et CUBLAS

5 – Espace de stockage pour *cublasDgemv*

Les espaces de stockage peuvent être plus grand que les matrices :

- Réutilisation d'un espace alloué précédemment
- Espace de stockage dimensionné au maximum
- Calcul sur des sous-matrices
- ...

La fonction `cb1as_dgemv` doit connaître :

- le nombre de colonnes de la matrice
- le nombre de colonnes de l'espace de stockage

→ **Pour savoir combien d'espace sauter entre deux lignes**

Ex : en *row major* sans transposer A et B :

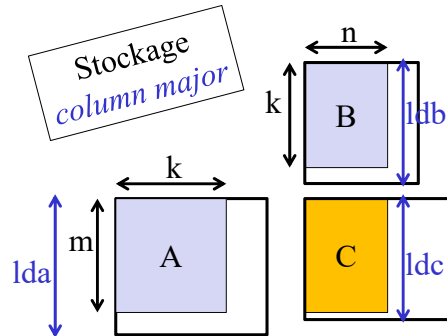
il faut sauter $lda - k$, avec : $lda \geq k$, $ldb \geq n$, $ldc \geq n$

28

5 – Espace de stockage pour *cublasDgemv*

Les espaces de stockage peuvent être plus grand que les matrices :

- Réutilisation d'un espace alloué précédemment
- Espace de stockage dimensionné au maximum
- Calcul sur des sous-matrices
- ...



La fonction `cublasDgemv` impose un stockage en *column major* :

- Sans transposer A et B il faut : $lda \geq m$, $ldb \geq k$, $ldc \geq m$
- En transposant A il faut : $lda \geq k$
- En transposant B il faut : $ldb \geq n$

29

5 – Espace de stockage pour *cublasDgemv*

Spécification de `lda` et `ldb`

A	device	input	<type> array of dimensions $lda \times k$ with $lda \geq \max(1, m)$ if <code>transa == CUBLAS_OP_N</code> and $lda \times m$ with $lda \geq \max(1, k)$ otherwise.
lda		input	leading dimension of two-dimensional array used to store the matrix A.
B	device	input	<type> array of dimension $ldb \times n$ with $ldb \geq \max(1, k)$ if <code>transa == CUBLAS_OP_N</code> and $ldb \times k$ with $ldb \geq \max(1, n)$ otherwise.
ldb		input	leading dimension of two-dimensional array used to store matrix B.

- Un tableau A d'un espace total de $m \times k$ éléments suffira
- Si on n'a pas transposé A on indiquera $lda = m$ (ou plus), Sinon on indiquera $lda = k$ (ou plus)
- Un tableau B d'un espace total de $k \times n$ éléments suffira
- Si on n'a pas transposé B on indiquera $ldb = k$ (ou plus), Sinon on indiquera $lda = n$ (ou plus)

30

5 – Espace de stockage pour *cublasDgemm*

Spécification de *ldc*

C	device	in/out	<type> array of dimensions <i>ldc</i> × <i>n</i> with <i>ldc</i> ≥ max(1, <i>m</i>).
<i>ldc</i>		input	leading dimension of a two-dimensional array used to store the matrix <i>c</i> .

- Un tableau C d'un espace total de $m \times n$ double suffira
- C sera (forcément) en *column major*
- On indiquera *ldc* = *m* (ou plus)

31

CUBLAS library

- 1 – Les bibliothèques BLAS
- 2 – CUBLAS vs BLAS
- 3 – La fonction *cublasDgemm*
- 4 – Transposition de matrice
- 5 – Espace de stockage pour *cublasDgemm*
- 6 – CUBLAS avec TensorCores**
- 7 – Adresse mémoire d'un *symbol*

32

6 – CUBLAS avec TensorCores

L'appel aux TensorCores nécessite plus d'informations

- On passe par une **nouvelle fonction** CUBLAS (*cublasGemmEx()*)
- On précise les **types** des opérandes, du résultats, et des calculs internes
- On précise le **type d'algorithme** à utiliser

$$C = \alpha.op(A) \times op(B) + \beta.C$$

```
cublasStatus_t cublasGemmEx(
    cublasHandle_t handle,
    cublasOperation_t transa, cublasOperation_t transb,
    int m, int n, int k,
    const void *alpha,
    const void *A, cudaDataType_t Atype, int lda,
    const void *B, cudaDataType_t Btype, int ldb,
    const void *beta,
    void *C, cudaDataType_t Ctype, int ldc,
    cudaDataType_t computeType,
    cublasGemmAlgo_t algo)
```

6 – CUBLAS avec TensorCores

L'appel aux TensorCores nécessite plus d'informations

On peut fixer la précision
des calculs : 16/32/64 bits

On peut utiliser des opérandes
de précisions différentes

	computeType	Atype/Btype	Ctype
Real	CUDA_R_16F	CUDA_R_16F	CUDA_R_16F
	CUDA_R_32I	CUDA_R_8I	CUDA_R_32I
	CUDA_R_32F	CUDA_R_16F	CUDA_R_16F
		CUDA_R_8I	CUDA_R_32F
		CUDA_R_16F	CUDA_R_32F
	CUDA_R_32F	CUDA_R_32F	CUDA_R_32F
CUDA_R_64F	CUDA_R_64F	CUDA_R_64F	
Complex	CUDA_C_32F	CUDA_C_8I	CUDA_C_32F
		CUDA_C_32F	CUDA_C_32F
	CUDA_C_64F	CUDA_C_64F	CUDA_C_64F

6 – CUBLAS avec TensorCores

L'appel aux TensorCores nécessite plus d'informations

- On peut utiliser ou pas les TensorCores
- On peut **fixer l'algorithme** de multiplication à utiliser ou **laisser une heuristique le choisir** (fonction des données)

CublasGemmAlgo_t	Meaning
CUBLAS_GEMM_DEFAULT	Apply Heuristics to select the GEMM algorithm
CUBLAS_GEMM_ALGO0 to CUBLAS_GEMM_ALGO23	Explicitly choose an algorithm
CUBLAS_GEMM_DEFAULT_TENSOR_OP	Apply Heuristics to select the GEMM algorithm while allowing the use of Tensor Core operations if possible
CUBLAS_GEMM_ALGO0_TENSOR_OP to CUBLAS_GEMM_ALGO15_TENSOR_OP	Explicitly choose a GEMM algorithm allowing it to use Tensor Core operations if possible, otherwise falls back to cublas<t>gemmBatched based on computeType

35

CUBLAS library

- 1 – Les bibliothèques BLAS
- 2 – CUBLAS vs BLAS
- 3 – La fonction *cublasDgemm*
- 4 – Transposition de matrice
- 5 – Espace de stockage pour *cublasDgemm*
- 6 – CUBLAS avec TensorCores
- 7 – Adresse mémoire d'un *symbol*

36

7 – Adresse mémoire d'un *symbol*

Extraction de l'adresse d'un symbole

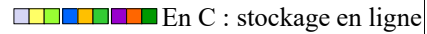
```

__device__ float GPU_A[N][N];
float *ptGPU_A = NULL;
cudaError_t res;

res = cudaGetSymbolAddress((void **) &ptGPU_A, GPU_A);
if (res != cudaSuccess) {.....}
    
```



Perception d'une table 2D



Ensuite : le symbole peut être manipulé comme une variable GPU

```

cudaMemcpy(ptGPU_A, ptCPU_A, sizeof(float)*m*k,
           cudaMemcpyHostToDevice);

cublasSgemm(cublasHandle,
            CUBLAS_OP_T, CUBLAS_OP_T
            m, n, k,
            adrAlpha, ptGPU_A, lda, ptGPU_B, ldb,
            adrBeta, ptGPU_C, ldc);
    
```

37

CUBLAS library



38