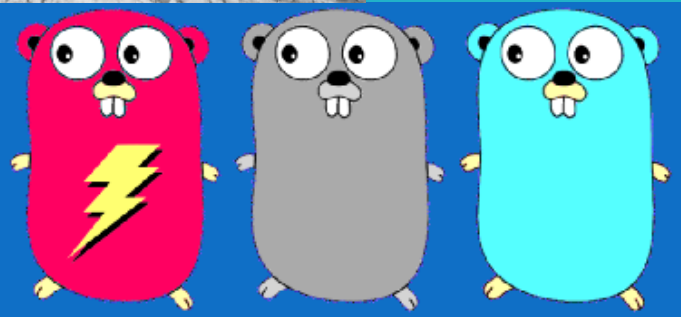
UNIVERSITÉ DE VERSAILLES ST-QUENTIN-EN-YVELINES

université PARIS-SACLAY



#4

12/12/2025

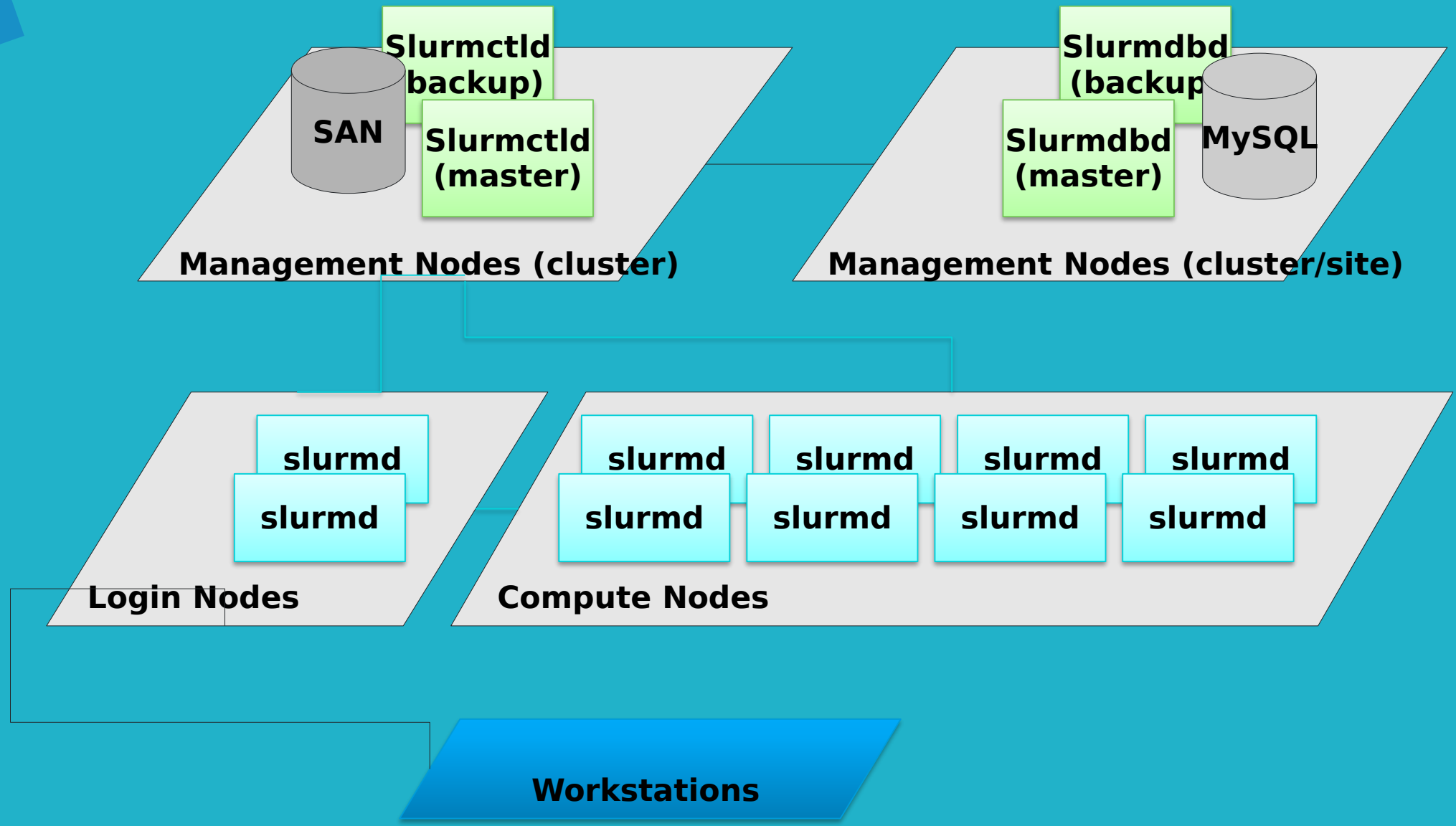
jean-michel.batto@cea.fr

cea

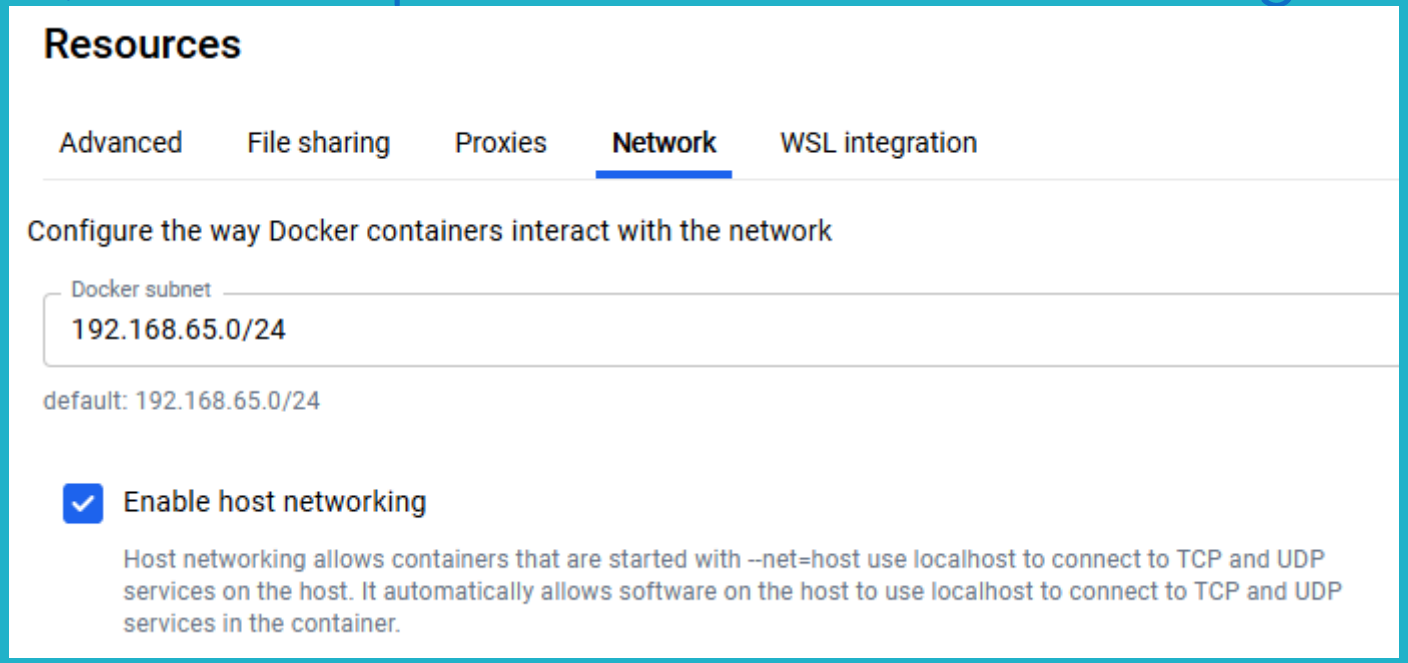
https://gogs.eldarsoft.com/M2_IHPS

Organisation physique

RECAP



- Sous Windows, activer l'option Enable host networking



INTERACTIF

Problème de Docker SWARM ➔ bridget et non overlay

- Faites : docker network ls

```
NETWORK ID     NAME              DRIVER    SCOPE
1fd28b9e7e85   bridge            bridge    local
b427088ec3d3   docker_gwbridge   bridge    local
a394d9d8be8d   host              host      local
yai4wmqyb2x2   ingress           overlay   swarm
09a46692cef5   none              null      local
7no4upxag9v3   yml_mpinet        overlay   swarm
```

Si yml_mpinet est « overlay » il faut le changer en « bridge »

docker network rm ylm_mpinet

//il faut le recréer sans « overlay » l'intérêt d'overlay est le multi-hôte avec SWARM

docker network create --attachable yml_mpinet

```
NETWORK ID     NAME              DRIVER    SCOPE
1fd28b9e7e85   bridge            bridge    local
b427088ec3d3   docker_gwbridge   bridge    local
a394d9d8be8d   host              host      local
m1gljp8vv77t   ingress           overlay   swarm
09a46692cef5   none              null      local
895bb87477c1   yml_mpinet        bridge    local
```

Prise en main de SLURM / TD d'exploration

INTERACTIF

- Swarm init ➔ déjà fait dans les TD précédents
- ➔Docker créé un contexte préfixé par le nom du répertoire…
- avec le docker-compose.yml, installation de
  - 1 db mysql pour le nœud slurmdbd,
  - 1 noeud slurmdbd,
  - 1 noeud de contrôle,
  - 2 nœuds de calcul, le tout sous MPI
- **`docker compose up -d`**
- Ouvrir 2 shells (un pour le nœud de contrôle, un pour le nœud C1)

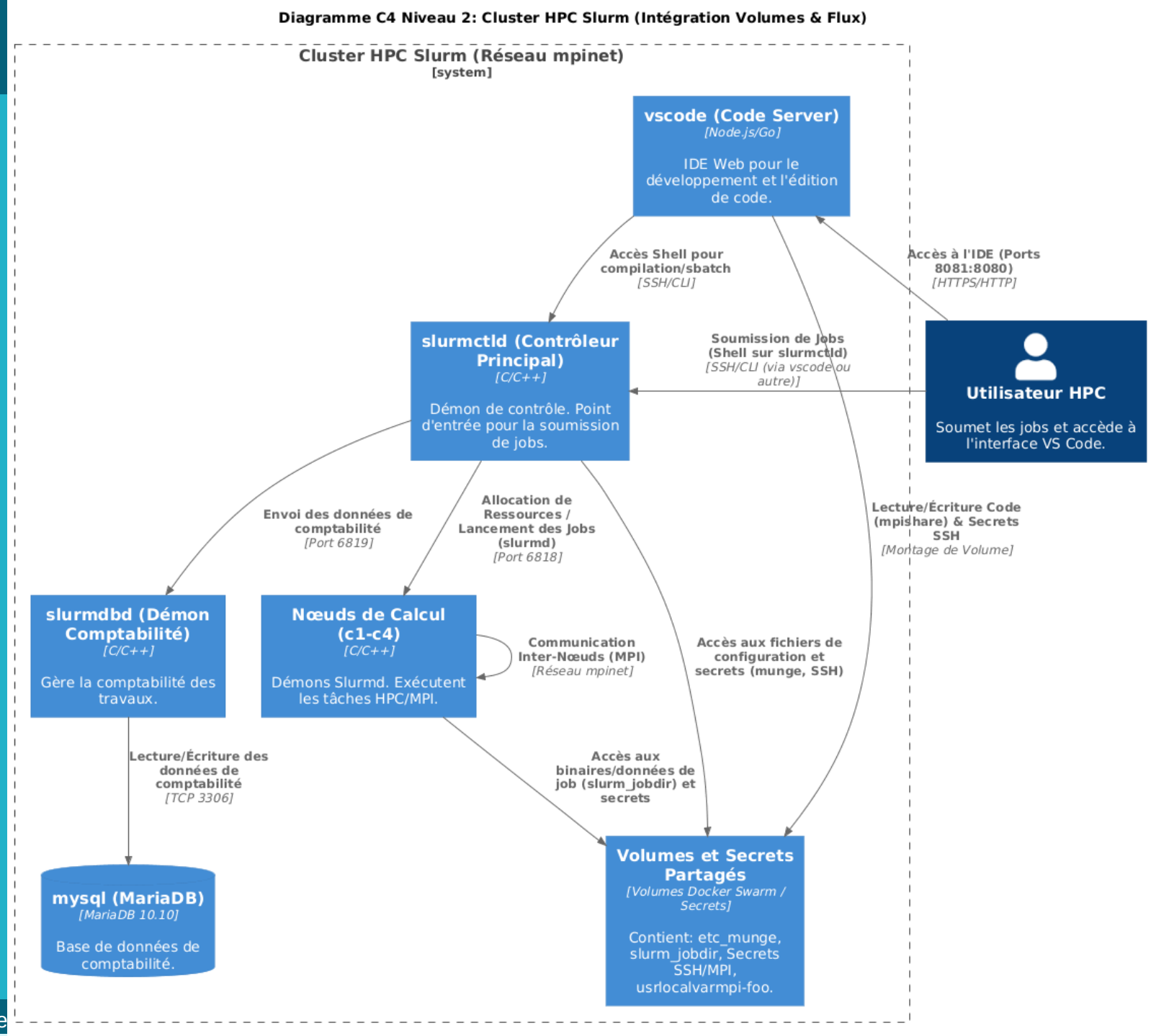
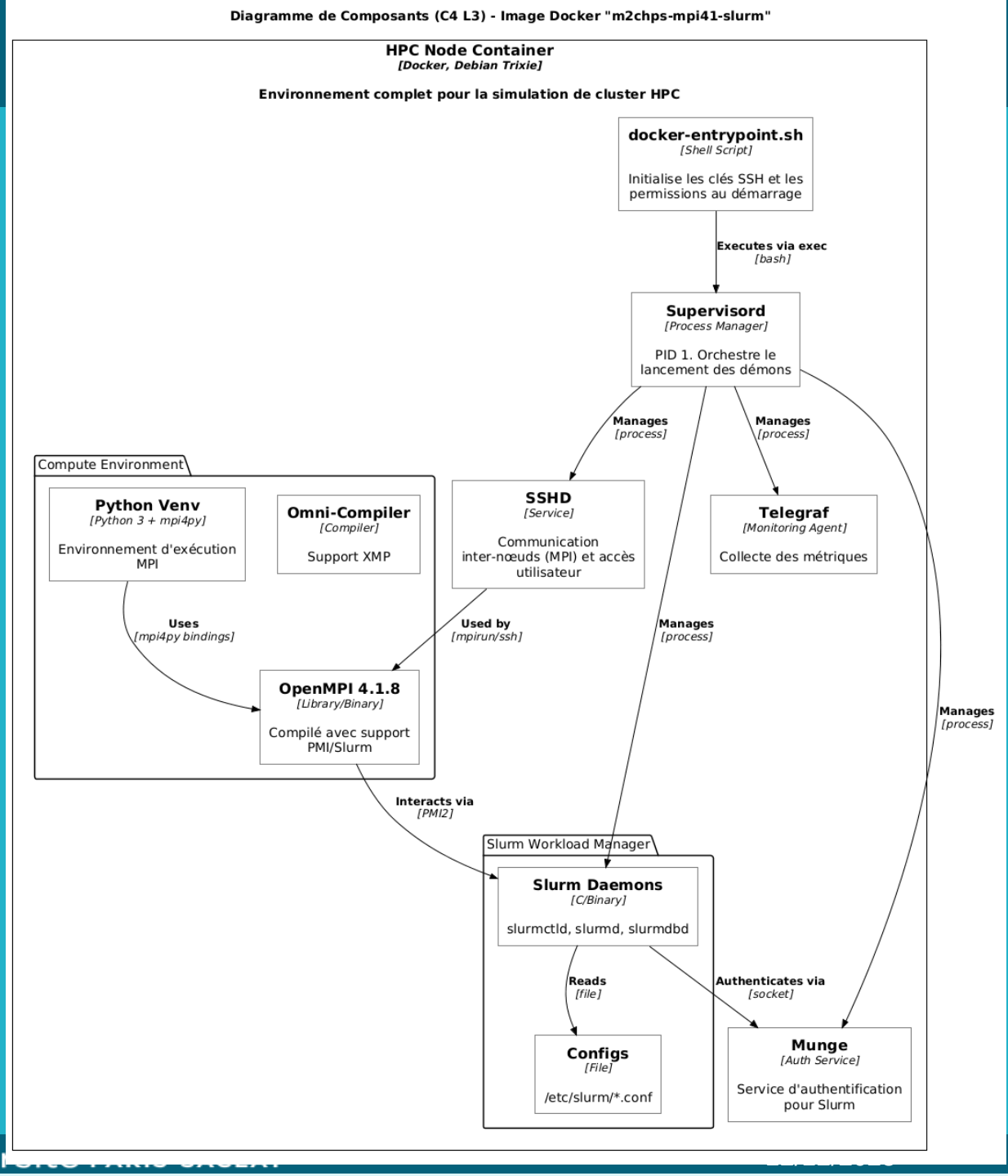


Diagramme C4 Niveau 2: Cluster HPC Slurm (Intégration Volumes & Flux)
Cluster HPC Slurm (Réseau mpinet)
[system]
vscode (Code Server)
[Node.js/Go]
IDE Web pour le développement et l'édition de code.
Accès Shell pour compilation/sbatch
[SSH/CLI]
Accès à l'IDE (Ports 8081:8080)
[HTTPS/HTTP]
slurmctld (Contrôleur Principal)
[C/C++]
Démon de contrôle. Point d'entrée pour la soumission de jobs.
Soumission de Jobs (Shell sur slurmctld)
[SSH/CLI (via vscode ou autre)]
Utilisateur HPC
Soumet les jobs et accède à l'interface VS Code.
Envoi des données de comptabilité
[Port 6819]
Allocation de Ressources / Lancement des Jobs (slurmd)
[Port 6818]
Lecture/Écriture Code (mpishare) & Secrets SSH
[Montage de Volume]
slurmdbd (Démon Comptabilité)
[C/C++]
Gère la comptabilité des travaux.
Nœuds de Calcul (c1-c4)
[C/C++]
Démons Slurmd. Exécutent les tâches HPC/MPI.
Communication Inter-Nœuds (MPI)
[Réseau mpinet]
Accès aux fichiers de configuration et secrets (munge, SSH)
Lecture/Écriture des données de comptabilité
[TCP 3306]
Accès aux binaires/données de job (slurm_jobdir) et secrets
mysql (MariaDB)
[MariaDB 10.10]
Base de données de comptabilité.
Volumes et Secrets Partagés
[Volumes Docker Swarm / Secrets]
Contient: etc_munge, slurm_jobdir, Secrets SSH/MPI, usrlocalvarmpi-foo.

Ce que contient l'image jmbatto/m2chps-mpi41-slurm

Slurm (3 instances possibles du nœuds)
Démarrées avec Supervisord (et non avec tini)
➔plusieurs daemon sont démarrés

- sshd
- telegraf
- slurm (avec un choix selon le paramétrage docker-compose)
- munge



TD élémentaire

Etapes (step0/1/2) de découvertes par rapport aux contraintes

On travaille dans le conteneur slurmctld

- on vérifie s'il y a une partition pour root

```
sacctmgr show association -p user=root
```

`scontrol show partition`

`scontrol show nodes`

`sinfo -Nel`

- Sinon

```
sacctmgr --immediate add cluster name=linux
```

  - Puis un restart des images

- Dans le répertoire /usr/local/var/mpishare faire
- git clone http://gogs.eldarsoft.com/M2_IHPS/glcs_slurm.git

Dans les répertoires test1/test2

```
mpicc -g3 -o elementary elementary.c
```

TD d'exploration

INTERACTIF

- Etapes du TD
  - Explorer les répertoires step0, step1, step2

    `salloc -n 2 mpirun ./elementary` ➔ attention il faut que le binaire soit visible des nœuds (pb de partage du binaire – modifier les scripts…)

    `sbatch script0.sh`

    `sacct -j %jobid obtenu au moment du sbatch%`
  - Dans le répertoire step0, modifier le script pour avoir un code retour différent de 0
  - Vérifier le résultat du batch

    `sbatch -n 2 xxx.sh` //(selon le répertoire)

    `squeue -s -j %jobid%`

    `sacct -j%jobid%`

    `squeue -s -i 30 -j %jobid%`

    `sacct -j %jobid%`

Test de sbatch

INTERACTIF RECAP

- sbatch
  - -N, --nodes=‹minnodes›[-maxnodes]|‹size_string›
  - Request that a minimum of minnodes nodes be allocated to this job.
  - -n, --ntasks=‹number›
  - sbatch does not launch tasks, it requests an allocation of resources and submits a batch script. This option advises the Slurm controller that job steps run within the allocation will launch a maximum of number tasks and to provide for sufficient resources. The default is one task per node, but note that the --cpus-per-task option will change this default.

```
sbatch -n2 -N2 -exclusive xxx.sh
squeue -O jobid,state,qos,timeused
```

Idée du TD – le problème du temps partagé

INTERACTIF

- SLURM « envoie » un signal SIGTERM avant la limite du temps du batch
- On veut observer la fin du batch ➔ raison du répertoire step2

```
sacctmgr modify qos normal set MaxWall=00:00:02
```

Retour à SLURM

passer impiuser sur le noeud slurmctld (mais ça fonctionne aussi pour root)

INTERACTIF

```
//vérifie l'état de la queue
squeue
//puis allocation de 2 nœuds (il s'agit de c1 et c2)
salloc --time=05:00 -N 2
//vérification des noeuds
srun hosname
de la queue
squeue
//permet d'avoir les informations sur les jobs
sacct --format=JobID,elapsed,ncpus,ntasks,state,node
```

Sur le nœud de control

INTERACTIF

- scontrol show node
- Ou alors
- sinfo -Nel

Pour voir l'historique de la conso

- sacct

scontrol show node

Champ	Valeur Obtenue	Signification et Contexte
NodeName	c2	Le **nom du nœud** tel qu'il est défini dans la configuration Slurm (slurm.conf). C'est l'identifiant unique du nœud.
Arch	x86_64	L'**architecture du processeur** du nœud. Important pour la compatibilité des travaux.
CoresPerSocket	1	Le nombre de **cœurs par socket** du processeur.
ThreadsPerCore	1	Le nombre de **threads par cœur** (indique si l'hyperthreading est activé ou non). Ici, il est désactivé ou non visible.
CPUTot	1	Le **nombre total de CPU** (cœurs logiques) disponibles sur ce nœud pour les travaux Slurm.
CPUAlloc	0	Le nombre de **CPU actuellement alloués** (utilisés) pour l'exécution des travaux.
CPUEfctv	1	Le nombre de **CPU effectifs** disponibles pour les travaux. Peut être inférieur à CPUTot si des ressources sont réservées à l'OS ou à l'administration.
CPULoad	0.05	La **charge moyenne actuelle du CPU** (au moment de l'exécution de la commande). Une valeur faible indique que le nœud est peu sollicité.
RealMemory	1000	La **mémoire physique totale** disponible sur le nœud, en **Mo** (MegaBytes).
AllocMem	0	La **mémoire totale actuellement allouée** pour l'exécution des travaux (en Mo).
FreeMem	2799	La **mémoire libre** vue par Slurm (en Mo). *Note : La valeur peut être supérieure à RealMemory si le nœud n'est pas configuré pour limiter l'utilisation de la mémoire.*
TmpDisk	0	L'espace disque temporaire disponible pour les travaux Slurm (en Mo).
Partitions	docker	Les **partitions de calcul** auxquelles ce nœud est affecté. Les utilisateurs soumettent des travaux à ces partitions.
State	IDLE	L'**état actuel du nœud**. IDLE signifie que le nœud est libre et prêt à accepter de nouveaux travaux. (Autres états courants : ALLOCATED, DRAIN, DOWN).
Version	23.02.6	La **version du démon Slurmd** qui tourne sur ce nœud.
OS	Linux 5.15...WSL2	Le **système d'exploitation** et la version du noyau. L'indication WSL2 confirme que ce nœud est virtualisé dans un environnement Windows Subsystem for Linux 2.
BootTime	2025-12-10T12:51:03	L'**heure de démarrage** du nœud (système d'exploitation).
SlurmdStartTime	2025-12-10T15:15:26	L'**heure de démarrage** du démon Slurmd (le service Slurm sur ce nœud).
CfgTRES	cpu=1,mem=1000M,billing=1	Les **ressources agrégées (TRES)** configurées pour ce nœud. Indique la capacité maximale (1 CPU, 1000 Mo de mémoire).
AllocTRES	(vide)	Les **ressources agrégées (TRES)** actuellement allouées (vide car CPUAlloc=0).
AvailableFeatures	(null)	Fonctionnalités spécifiques que le nœud pourrait offrir (GPU, haute-vitesse Interconnect, etc.) pour le ciblage des travaux.

Idée de la séquence

- 1/ tester en mode multi-nœud MPI un code XMP
  - https://omni-compiler.org/

XcalableMP, XMP for short, is a directive-based language extension which allows users to develop parallel programs for distributed memory systems easily and to tune the performance by having minimal and simple notations.

Support typical parallelization under "global-view model"

XMP enables parallelizing the original sequential code using minimal modification with simple directives.

Support coarray to use one-sided communication easily under "local-view model"

Programmer can use coarray syntax in both XMP/Fortran and XMP/C. In particular, XMP/Fortran is designed to be compatible with Coarray Fortran.

Combination of MPI and OpenMP

In order to call an MPI program from an XMP program, XMP provides the MPI programming interface. Moreover, OpenMP directives can be combined into XMP as a hybrid programming.

Idée de la séquence : code YMLEnvironment/test-spawn-xmp

- 2/test d'un code XMP, lancement du code
- 3/adaptation du code pour afficher le nom du noeud

```
mpiuser@62e939a516f3:~/YMLEnvironment/test-spawn-xmp$ cd /usr/local/var/mpishare/
mpiuser@62e939a516f3:/usr/local/var/mpishare$ mpirun --mca orte_base_help_aggregate 0 --mca btl_tcp_if_inclu
de 10.0.1.0/24 -n 4 -host 10.0.1.7,10.0.1.4,10.0.1.5,10.0.1.6 worker_program
rank = 0 ; Processeur 0 - Nom : 62e939a516f3 (Longueur du nom : 12)

(0, 0, 0) Processeur 2 - Nom : 21cdccdc88b1 (Longueur du nom : 12)
rank = 2 ;
(2, 2, 0)
(2, 2, 1)
(2, 3, 0)
(2, 3, 1) rank = 3 ; Processeur 1 - Nom : f387910ddb9b (Longueur du nom : 12)
Processeur 3 - Nom : 3fca871ee6fd (Longueur du nom : 12)

(3, 2, 2)
(3, 2, 3)
(3, 3, 2)
(3, 3, 3)
(0, 0, 1)
(0, 1, 0)
(0, 1, 1) rank = 1 ;
(1, 0, 2)
(1, 0, 3)
(1, 1, 2)
(1, 1, 3) mpiuser@62e939a516f3:/usr/local/var/mpishare$
```

Test du code XMP

INTERACTIF

- Dans /YMLEnvironment/test-spawn-xmp → faire un make
- ~~sudo curl --unix-socket /var/run/docker.sock http://localhost/containers/json | jq -r 'map(.NetworkSettings[]."yml_mpinet"."IPAMConfig"."IPv4Address") []'~~
- ~~→pb dans la liste obtenue, il y a l'ip de l'image influxdb → faire un ifconfig -a sur l'image pour récuper l'ip~~

```
mpirun --mca orte_base_help_aggregate 0 --mca btl_tcp_if_include
  10.0.1.0/24 -n 4 -host c1,c2,c3,c4 worker_program
```

Init.c ➔ explication

```
#include <stdio.h>
#include "Matrix.xmptype.h"
#pragma xmp nodes p(2,2)
#pragma xmp template t(0:3,0:3)
#pragma xmp distribute t(block,block) onto p
XMP_Matrix A[4][4];
#pragma xmp align A[i][j] with t(j,i)
XMP_Matrix B[4][4];
#pragma xmp align B[i][j] with t(j,i)
XMP_Matrix C[4][4];
#pragma xmp align C[i][j] with t(j,i)
int main(int argc, char ** argv){
  int rank;
  MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD,&rank);
  int i,j,n;
  n=4;
  fprintf(stderr,"rank = %d ; ",rank);

  #pragma xmp loop (i,j) on t(j,i)
  for (i=0;i<n;i++){
    for(j=0;j<n;j++){
      fprintf(stderr,"\n(%d, %d, %d) ",rank,i,j);
      C[i][j] = 0;
      A[i][j] = 1;
      B[i][j] = i*n+j+1;
    }
  }
  MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD);
}
```

Modification du code init.c

INTERACTIF

```
// Allouer de la mémoire (dans cet exemple, pour une chaîne de caractères)
    char* processor_name = malloc(256 * sizeof(char)); // Alloue de l'espace
pour le nom du processeur
    int name_len;
    MPI_Get_processor_name(processor_name, &name_len);

    // Afficher le résultat
    printf("Processeur %d - Nom : %s (Longueur du nom : %d)\n", rank,
processor_name, name_len);

    // Libérer la mémoire allouée
    free(processor_name);
```

Le code modifié

INTERACTIF

mpiuser@62e939a516f3: ~/YMLEnvironment/test-spawn-xmp

```
#pragma xmp nodes p(2,2)
#pragma xmp template t(0:3,0:3)
#pragma xmp distribute t(block,block) onto p

XMP_Matrix A[4][4];
#pragma xmp align A[i][j] with t(j,i)

XMP_Matrix B[4][4];
#pragma xmp align B[i][j] with t(j,i)

XMP_Matrix C[4][4];
#pragma xmp align C[i][j] with t(j,i)

int main(int argc, char ** argv){
  int rank;
  MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD,&rank);
  int i,j,n;
  n=4;
  fprintf(stderr,"rank = %d ; ",rank);
// Allouer de la mémoire (dans cet exemple, pour une chaîne de caractères)
    char* processor_name = malloc(256 * sizeof(char)); // Alloue de l'espace pour le nom du processeur
    int name_len;
    MPI_Get_processor_name(processor_name, &name_len);

    // Afficher le résultat
    printf("Processeur %d - Nom : %s (Longueur du nom : %d)\n", rank, processor_name, name_len);

    // Libérer la mémoire allouée
    free(processor_name);
  #pragma xmp loop (i,j) on t(j,i)
  for (i=0;i<n;i++){
    for(j=0;j<n;j++){
      fprintf(stderr,"\n(%d, %d, %d) ",rank,i,j);
      C[i][j] = 0;
      A[i][j] = 1;
      B[i][j] = i*n+j+1;
    }
  }
  MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD);
}


mpiuser@62e939a516f3:~/YMLEnvironment/test-spawn-xmp$
```

Test du code XMP

INTERACTIF

- Dans /YMLEnvironment/test-spawn-xmp → faire un make
- sudo curl --unix-socket /var/run/docker.sock http://localhost/containers/json | jq -r 'map(.NetworkSettings[]."yml_mpinet"."IPAMConfig"."IPv4Address") []`
- →pb dans la liste obtenue, il y a l'ip de l'image influxdb → faire un ifconfig -a sur l'image pour récuper l'ip

En rouge ce qui doit être adapté

```
mpirun --mca orte_base_help_aggregate 0 --mca btl_tcp_if_include
  10.0.1.0/24 -n 4 -host 10.0.1.7,10.0.1.4,10.0.1.5,10.0.1.6
  worker_program
```

vscode

INTERACTIF

- Vous devez adapter le script docker-compose.yml

```
environment:
  - PASSWORD=1234
  - DOCKER_USER=mpiuser
  - CODER_ACCESS_URL="http://localhost:8081"
user: "1001:1001"
```

➔pour vous permettre de vous connecter à l'image

Installation du plugin SSH FS

INTERACTIF

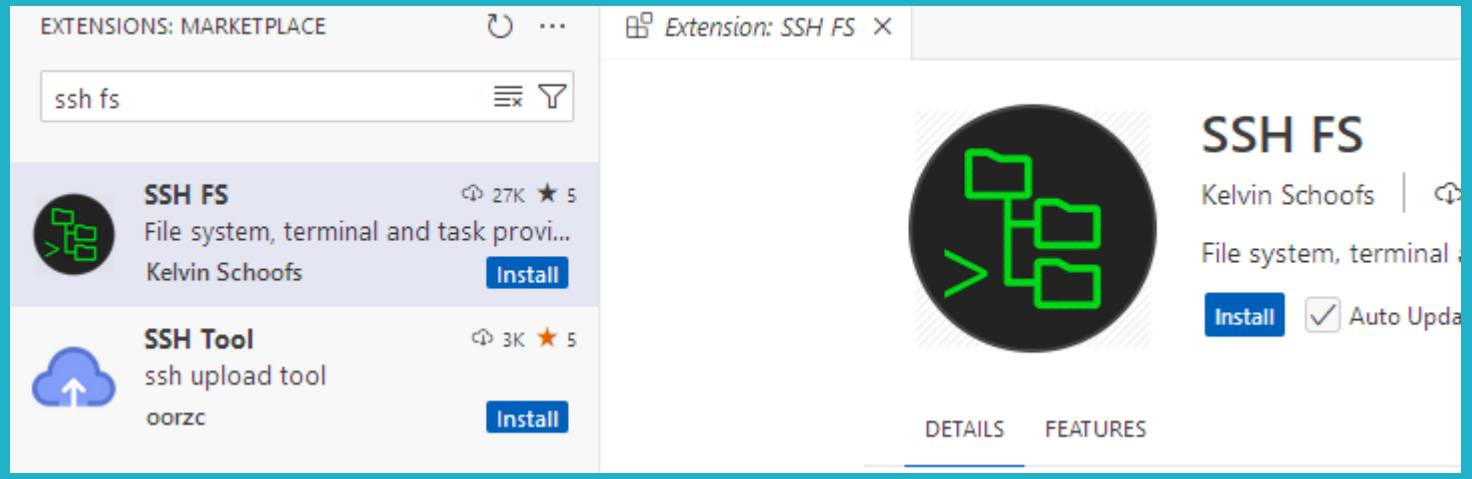
- Dans code-server on veut pouvoir se connecter à un nœud
  - Avant : mettre à jour les certificats dans l'image vscode ➔
    - Ouvrir un terminal, aller dans le dossier .ssh-source, faire un

```
>sh certif.sh
```

Cela va déployer les certificats dans le dossier «utilisateur docker» .ssh

On vérifie en faisant un `ssh mpiuser@mpihead`

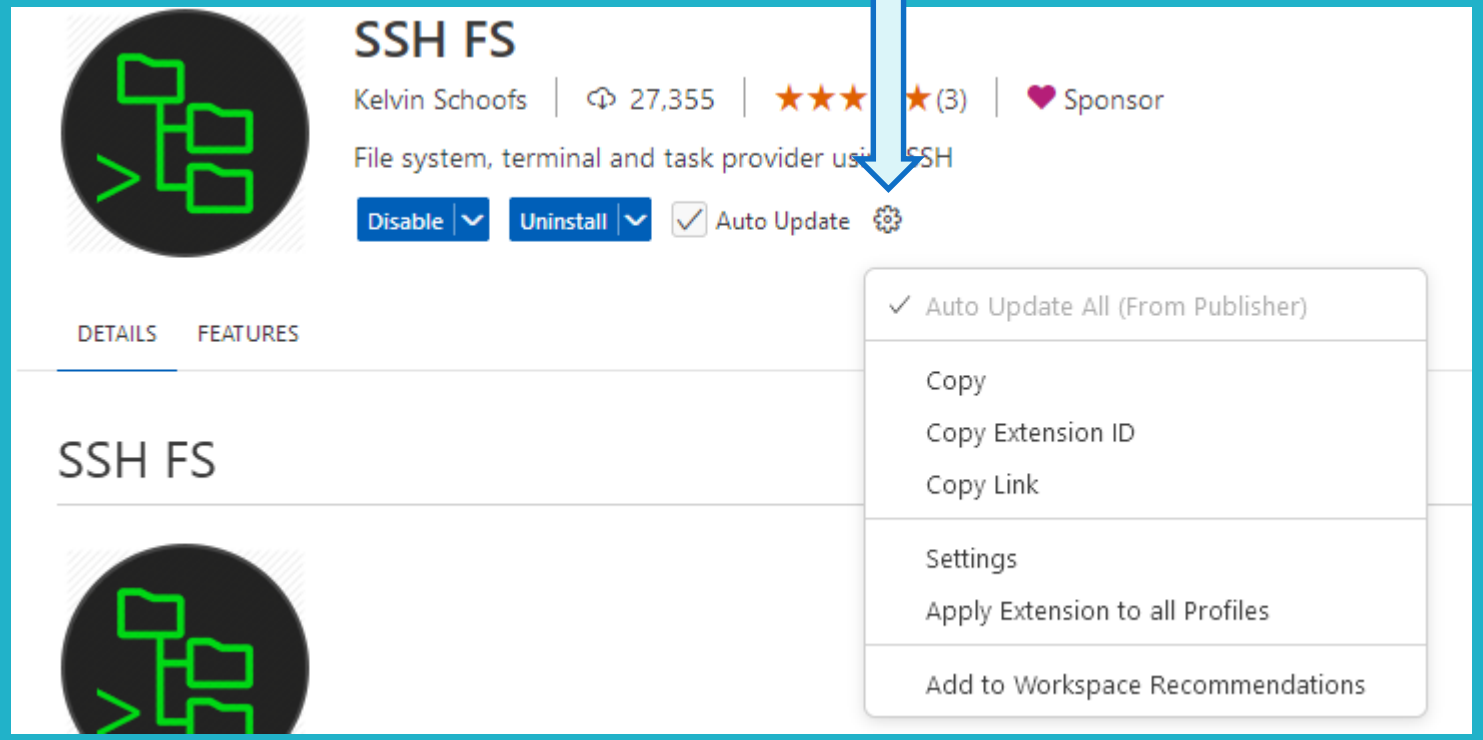
```
//mpiuser : compte non-root associé au login des nœuds et head
```



Installation du plugin SSH FS

INTERACTIF

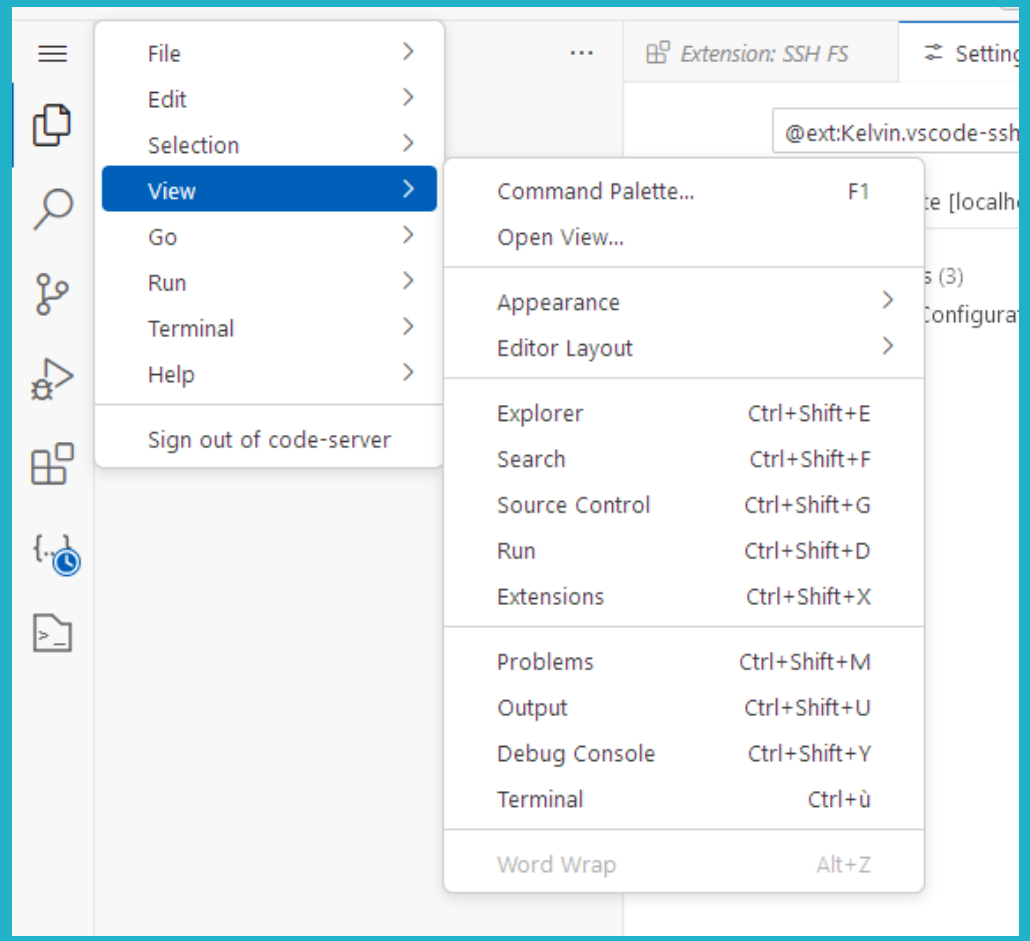
- L'extension a son paramétrage



Installation du plugin SSH FS

INTERACTIF

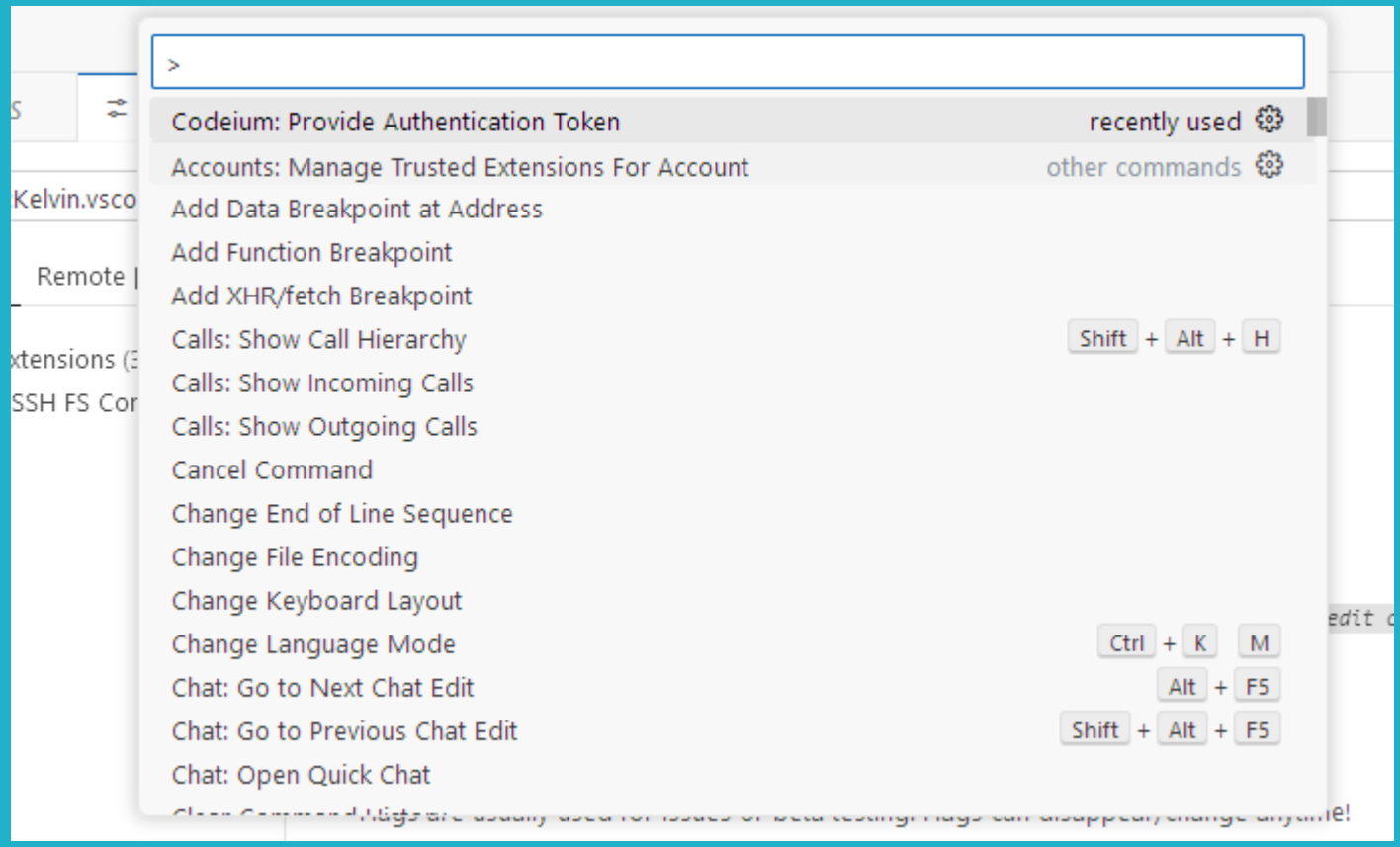
- On peut atteindre le paramétrage via la « Command Palette »



Installation du plugin SSH FS

INTERACTIF

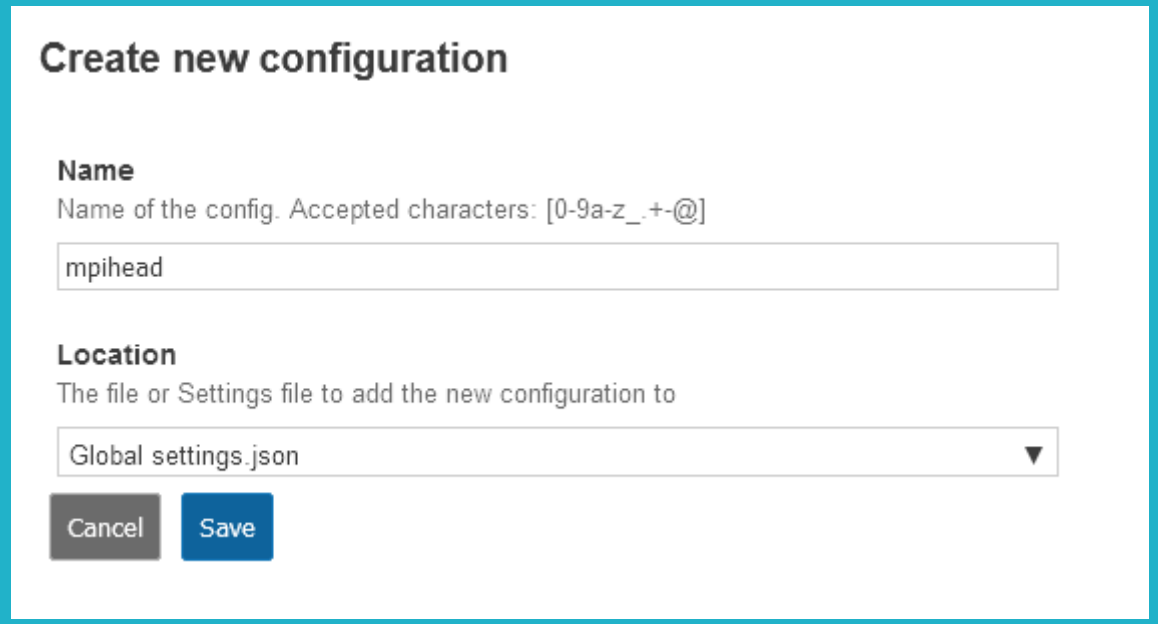
- Command palette



Installation du plugin SSH FS

INTERACTIF

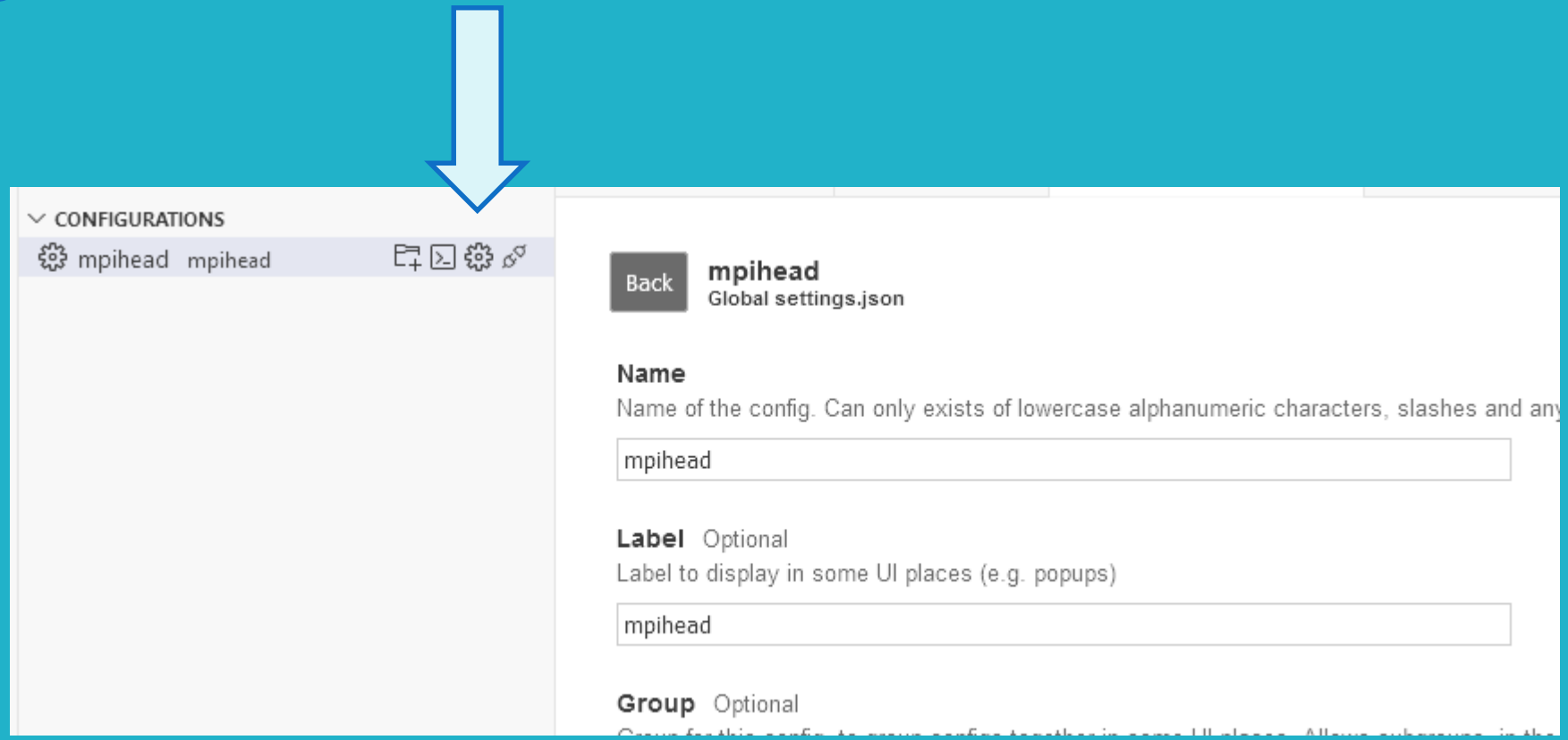
- La configuration
  - Name : mpihead



Installation du plugin SSH FS

INTERACTIF

- Configuration de ssh fs



Installation du plugin SSH FS

- Host : slurmctld
- Root : /usr/local/var/mpishare
- Username : mpiuser
- Private key : /home/coder/.ssh/id_rsa

Host Optional
Hostname or IP address of the server. Supports environment variables, e.g. $HOST

mpihead

Port Optional
Port number of the server. Supports environment variables, e.g. $PORT

22

Root Optional
Path on the remote server that should be opened by default when creating a terminal or using th
command/button. Defaults to `/`

/usr/local/var/mpishare

Agent Optional
Path to ssh-agent's UNIX socket for ssh-agent-based user authentication. Supports 'pageant' for
variables, e.g. $SSH_AUTH_SOCK

Username Optional
Username for authentication. Supports environment variables, e.g. $USERNAME

mpiuser

Username Optional
Username for authentication. Supports environment variables, e.g. $USERNAME

mpiuser

Password Optional
Password for password-based user authentication. Supports env variables. This gets saved in plaintext! Using pr
is recommended!

Private key Optional
A path to a private key. Supports environment variables, e.g. `$USERPROFILE/.ssh/myKey.ppk` or `$HOME/.ssh/myKey`

/home/coder/.ssh/id_rsa Prompt

Installation du plugin clang-format

INTERACTIF

- Installation de clang-format

  Dans le dossier .ssh-source

  sh install_clang_format_go.sh

  ➔ Installation du package et en plus il y a le compilateur go

- Installation de l'extension depuis vscode

Les 7 propositions

RECAP

- Executions parallèles de commandes avec démarrage synchrone et arrêt synchrone (au dernier élément)
- Echanges entre processus avec des E/S élémentaires via des **channels** bloquants
- Ceux-ci ont des actions déterminées en E/S sur l'état du processus
- Le concept de barrière non-déterministe
- Commande d'E/S avec barrière
- Commande d'E/S dans les boucles
- Capacité à choisir l'action en fonction du message

Les tests en langage Go

- Quels sont les avantages de prendre en charge les tests?
  - Les fichiers _test.go exposent les tests !
  - On conserve l'historique des tests (ça n'est plus dans le main)
  - Apporte de la documentation
  - Permet de faire de la non-régression
  - Permet de faire de la validation fonctionnelle (ie. driver)
  - ➔fait parti des LOC (lines of code)

Les tests

- Quels sont les tests ?
- Dans le langage Go, les tests sont pris en charge par le compilateur

- Pour tester un package (dans l'exemple c'est le package main):
  - Importer le package testing
  - Donner un nom de ficher en **_test.go**
  - Mettre des fonctions de signature Test[Majuscule](t* testing)
    - Par exemple : **func TestInsertHisto(t *testing.T) {**
- https://play.golang.org/p/oSDZYo0p0YC

Les tests

- Que décrit la variable t* testing ?

```
func TestMemoCds(t *testing.T) {
  var s memoCds
  s.lenCds = 1
  s.rawCds = "something"
  s.reset()
  fmt.Printf("s %+v\n", s)
  s.appendR('A')
  fmt.Printf("s %+v\n", s)
}
```

https://play.golang.org/p/2RbN69wBMmS

Les tests

- Objet t: 2 méthodes – Log,Error
- Un test est pensé pour une utilisation « automatique » ➔ l'idée d'un PASS/FAIL

```
func TestMemoCdsReset(t *testing.T) {
    var s memoCds
    s.lenCds = 1
    s.rawCds = "something"
    //s.reset()
    if (s != memoCds{}) {
        t.Error("s.reset doesn't work!")
    } else {
        t.Log("s.reset works")
    }
}
```

Les modules

RECAP

- Présentation de go.mod = gestion des modules
- go mod init, go mod tidy

```
module ExtractCDS

go 1.16

require (
   configExtract v0.0.0-00010101000000-000000000000
   gonum.org/v1/plot v0.10.0
)

replace configExtract => ./configExtract
```

VERSION

Les workers

- Les workers pour faire du HPC
- Le calcul HPC repose sur la parallélisation des traitements

Un exemple de traitement : la somme de 2 matrices

Une matrice = un tableau 1 dimension qui est adressable

```go
//Seq function for addition of two matrix
func addMat(mat1, mat2 []float64) {
  n := len(mat1)
  for i := 0; i < n; i++ {
     mat1[i] = mat1[i] + mat2[i]
  }
}
```

https://play.golang.org/p/7RWoK-gPjsT

Une version parallèle serait…

```
func addMatWorker(mat1, mat2 []float64) {
   var wg sync.WaitGroup
   n := len(mat1)
   for i := 0; i < Workers; i++ {
        wg.Add(1)
        go func() {
                defer wg.Done()
                for i := 0; i < n; i++ {
                        mat1[i] = mat1[i] + mat2[i]
                }
        }()
   }
   wg.Wait()
}
```

https://play.golang.org/p/ZT7Ilhfxkqa

le worker – basé sur Waitgroup

```go
func worker(id int, wg *sync.WaitGroup) {
    defer wg.Done()
    fmt.Printf("Worker %d starting\n", id)
    time.Sleep(time.Second)
    fmt.Printf("Worker %d done\n", id)
}

func main() {
    var wg sync.WaitGroup
    for i := 1; i <= 5; i++ {
        wg.Add(1)
        go worker(i, &wg)
    }
    //wg.Add(5)
    wg.Wait()
}
```

https://play.golang.org/p/pdvJt72GkG2

Worker pool

On définit un pool de worker → pour paralléliser le traitement

```
func worker(id int, wg *sync.WaitGroup, jobChannel <-chan Job,
   resultChannel chan JobResult) {
   defer wg.Done()
   for job := range jobChannel {
       resultChannel <- DistanceFasta36(job.idi, job.idj, job.b1, job.b2,
   job.o)
   }
}
```

Les structures pour les workers

```
type Job struct {
    b1  string
    b2  string
    idi int
    idj int
}
type JobResult struct {
    d   float64
    idi int
    idj int
}
func DistanceFasta36(i int, j int) (res JobResult) {
    res.idi = i
    res.idj = j
    res.d = float64(i) + float64(j)
    return
}
func worker(id int, wg *sync.WaitGroup, jobChannel <-chan Job,
    resultChannel chan JobResult) {
    defer wg.Done()
    for job := range jobChannel {
          resultChannel <- DistanceFasta36(job.idi, job.idj)
    }
}
```

Version avec worker 1/2

```
var countIteration int
func CalculateDistances(bacterias []string) [][]float64 {
    n := len(bacterias)
    var matrix = make([][]float64, n)
    for rowid := range matrix {
        matrix[rowid] = make([]float64, n)
    }
    var wg sync.WaitGroup
    totalJobChannel := 0
    for idi := range bacterias {
        for idj := 0; idj <= idi; idj++ {
            totalJobChannel++
        }
    }
    jobChannel := make(chan Job)
    jobResultChannel := make(chan JobResult, totalJobChannel)
    const NumberOfWorkers = 8
    wg.Add(NumberOfWorkers)
    for i := 0; i < NumberOfWorkers; i++ {
        go worker(i, &wg, jobChannel, jobResultChannel)
    }
```

Version avec worker 2/2

```
        for idi := range bacterias {
                for idj := 0; idj <= idi; idj++ { //=
                        jobChannel <- Job{bacterias[idj], bacterias[idi],
        idi, idj}
                        countIteration++
                }
        }
        close(jobChannel)
        wg.Wait()
        close(jobResultChannel)
        // Receive job results from workers
        for result := range jobResultChannel {
                fmt.Printf("idi %d, idj %d, d %f\n", result.idi,
        result.idj, result.d)
                matrix[result.idi][result.idj] = result.d
                matrix[result.idj][result.idi] = result.d
        }
        return matrix
}
```

https://play.golang.org/p/2AtBnDQVhIF

- On doit partitionner le travail
  - ➔chaque Worker doit connaitre sa partition //begin,end

```
func addMatWorker(mat1, mat2 []float64) {
    var wg sync.WaitGroup
    n := len(mat1)
    for i := 0; i < Workers; i++ {
        wg.Add(1)
        go func() {
            defer wg.Done()
            for i := 0; i < n; i++ {
                mat1[i] = mat1[i] + mat2[i]
            }
        }()
    }
    wg.Wait()
}
```

https://play.golang.org/p/txazepceYys

```
// compute indices (start, end) for threads
func GetInfoThread(startTotal, endTotal int, workers,
  i int) (begin int, end int) {
  workTotal := endTotal - startTotal
  work := workTotal / workers
  res := workTotal % workers
  if i < res {
      begin = ((work + 1) * i) + startTotal
      end = begin + (work + 1)
  } else {
      begin = ((work+1)*res + (work)*(i-res)) +
  startTotal
      end = begin + (work)
  }
  return
}
```

https://play.golang.org/p/dXHSFrQIb0O

- Benchmark
  - Le compilateur réalise les benchmarks dans une approche inversée (fenêtre de temps)
  - L'objectif du benchmark – avoir le moins d'artefact dans la mesure
  - Dans le fichier _test.go, signature BenchmarkXxx(b *testing.B)

```
func BenchmarkAddMat100(b *testing.B) {
    for i := 0; i < b.N; i++ {
        b.StopTimer()
        rand.Seed(time.Now().UnixNano())
        mat1 := createMat(100, rand.Float64())
        mat2 := createMat(100, rand.Float64())
        b.StartTimer()
        addMat(mat1, mat2)
```

❖ Résultat du benchmark

```
goos: windows
goarch: amd64
pkg: coursM2/cm6worker
BenchmarkAddMat100-8 5806759 202 ns/op
```

➔ le traitement considéré dure 202ns

➔ il a été testé environ 6 millions de fois (en 2 sec – attention au stopTimer)

- On peut faire des benchmarks paramétrables :

```
func benchmarkAddWorker(dim int, b *testing.B) {
    for i := 0; i < b.N; i++ {
        b.StopTimer()
        rand.Seed(time.Now().UnixNano())
        mat1 := createMat(dim, rand.Float64())
        mat2 := createMat(dim, rand.Float64())
        b.StartTimer()
        addMatWorker(mat1, mat2)
    }
}
```

Résultats des benchmarks

```
BenchmarkAddMat100-8 5806759 202 ns/op
BenchmarkAddMatWorker100-8 359226 3806 ns/op
BenchmarkAdd1000-8 1528250 738 ns/op
BenchmarkAddWorker1000-8 231120 5096 ns/op
BenchmarkAdd10000-8 139465 8696 ns/op
BenchmarkAddWorker10000-8 87777 13494 ns/op
BenchmarkAdd20000-8 78723 16471 ns/op
BenchmarkAddWorker20000-8 48614 26756 ns/op
BenchmarkAdd50000-8 25012 45813 ns/op
BenchmarkAddWorker50000-8 31179 39287 ns/op
BenchmarkAdd100000-8 10100 113439 ns/op
BenchmarkAddWorker100000-8 16635 71449 ns/op
```

➔conclusions?

- Benchmark
  - Le compilateur réalise les benchmarks dans une approche inversée (fenêtre de temps)
  - L'objectif du benchmark – avoir le moins d'artefact dans la mesure
  - Dans le fichier _test.go, signature BenchmarkXxx(b *testing.B)

```
func BenchmarkAddMat100(b *testing.B) {
   for i := 0; i < b.N; i++ {
       b.StopTimer()
       rand.Seed(time.Now().UnixNano())
       mat1 := createMat(100, rand.Float64())
       mat2 := createMat(100, rand.Float64())
       b.StartTimer()
       addMat(mat1, mat2)
   }
}
```

❖ Résultat du benchmark

```
goos: windows
goarch: amd64
pkg: coursM2/cm6worker
BenchmarkAddMat100-8 5806759 202 ns/op
```

➔ le traitement considéré dure 202ns

➔ il a été testé environ 6 millions de fois (en 2 sec – attention au stopTimer)

- On peut faire des benchmarks paramétrables :

```
func benchmarkAddWorker(dim int, b *testing.B) {
    for i := 0; i < b.N; i++ {
        b.StopTimer()
        rand.Seed(time.Now().UnixNano())
        mat1 := createMat(dim, rand.Float64())
        mat2 := createMat(dim, rand.Float64())
        b.StartTimer()
        addMatWorker(mat1, mat2)
    }
}
```

Résultats des benchmarks

```
BenchmarkAddMat100-8 5806759 202 ns/op
BenchmarkAddMatWorker100-8 359226 3806 ns/op
BenchmarkAdd1000-8 1528250 738 ns/op
BenchmarkAddWorker1000-8 231120 5096 ns/op
BenchmarkAdd10000-8 139465 8696 ns/op
BenchmarkAddWorker10000-8 87777 13494 ns/op
BenchmarkAdd20000-8 78723 16471 ns/op
BenchmarkAddWorker20000-8 48614 26756 ns/op
BenchmarkAdd50000-8 25012 45813 ns/op
BenchmarkAddWorker50000-8 31179 39287 ns/op
BenchmarkAdd100000-8 10100 113439 ns/op
BenchmarkAddWorker100000-8 16635 71449 ns/op
```

➔conclusions?

Pourquoi Go est-il efficace?

- Une utilisation efficace des inline (vectorisation)
- Une représentation des variables concise et vectorisée dès que possible

```
type Location struct {
X,Y,Z float64
}
```

8*3 = 24 octets

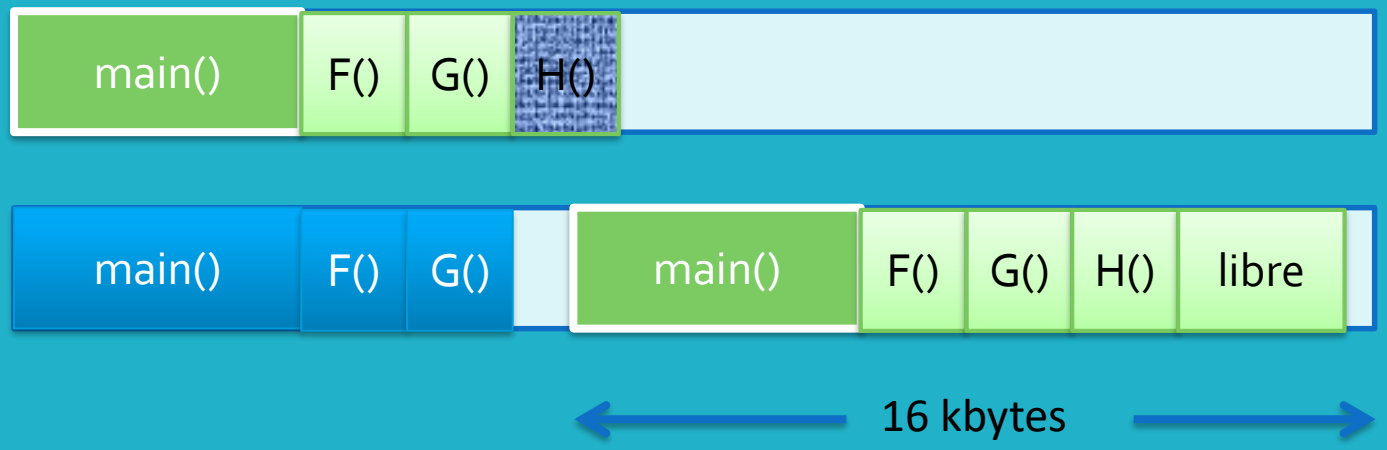
```
var Locations [1000]Location
```

→stockage séquentiel du tableau

Pourquoi Go est-il efficace?

- Pthread :
  - pas d'interaction avec un ramasse-miette
  - pas d'interaction avec le compilateur (pas de vérification statique, pas d'optimisation sur les registres)
- Goroutines
  - Sont ordonnancées de manière coopérative
  - Les points de commutation sont pré-choisis (sur les syscall bloquants, channel, ramasse-miette)
  - Le compilateurs connait les registres utilisés et sait les sauvegarder à moindre cout

La pile qui se recopie



- Une optimisation possible par la gestion des goroutines via le loader : la recopie de la pile en cas d'espace insuffisant pour une nouvelle goroutine (H)

Pourquoi Go est-il efficace?

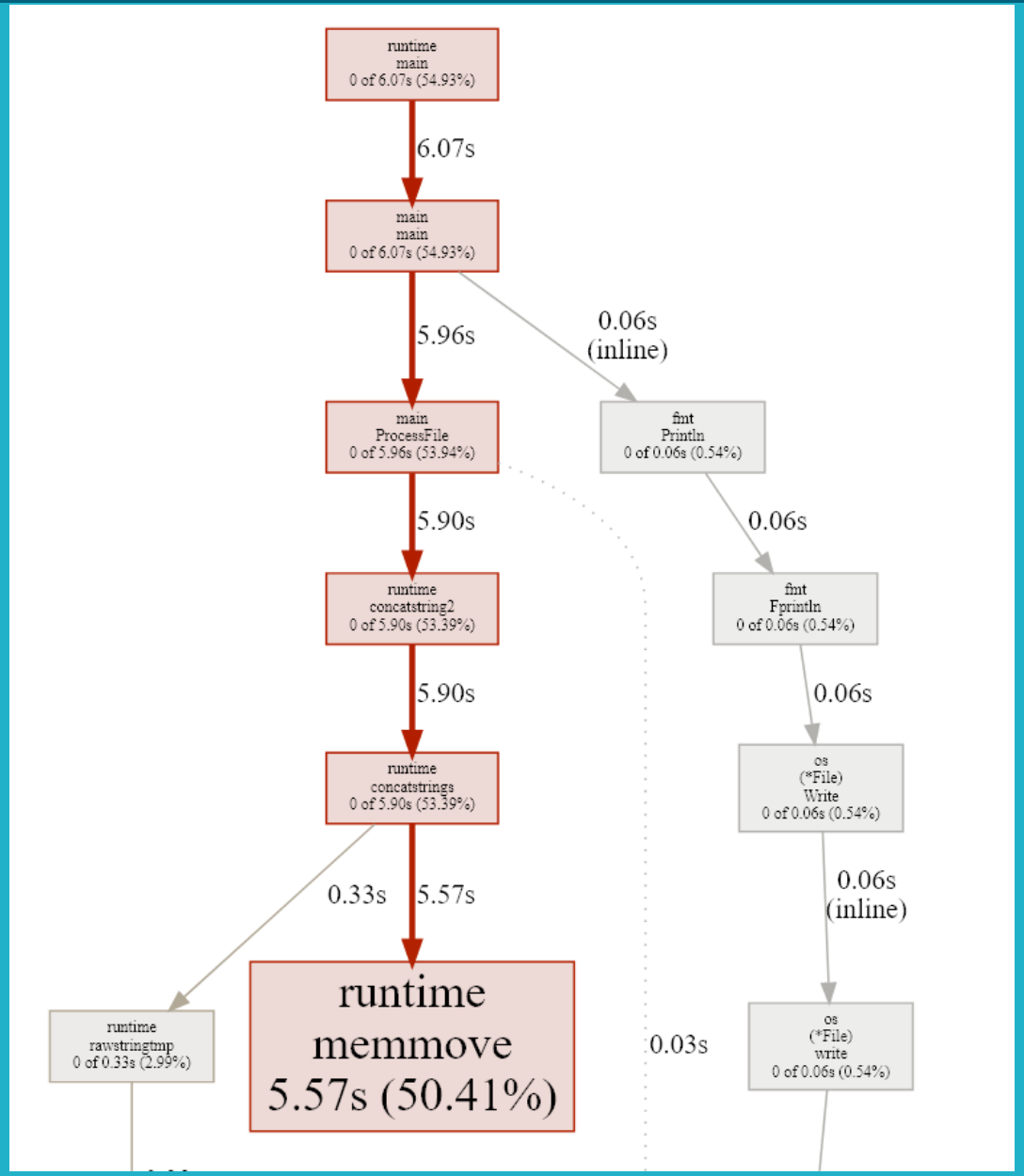
- Escape analysis // analyse d'échappement
  - →analyse statique qui vise à allouer les variables sur la pile (=économie en cas de changement de contexte, pas de gestion de la désallocation)
    - Contrairement à C qui force à choisir entre le Tas (malloc) et la pile (déclaration statique) et qui laisse le codeur faire son optimisation
      - → Go fait de l'analyse d'échappement

profiler

Version non optimisée

12,8 secondes

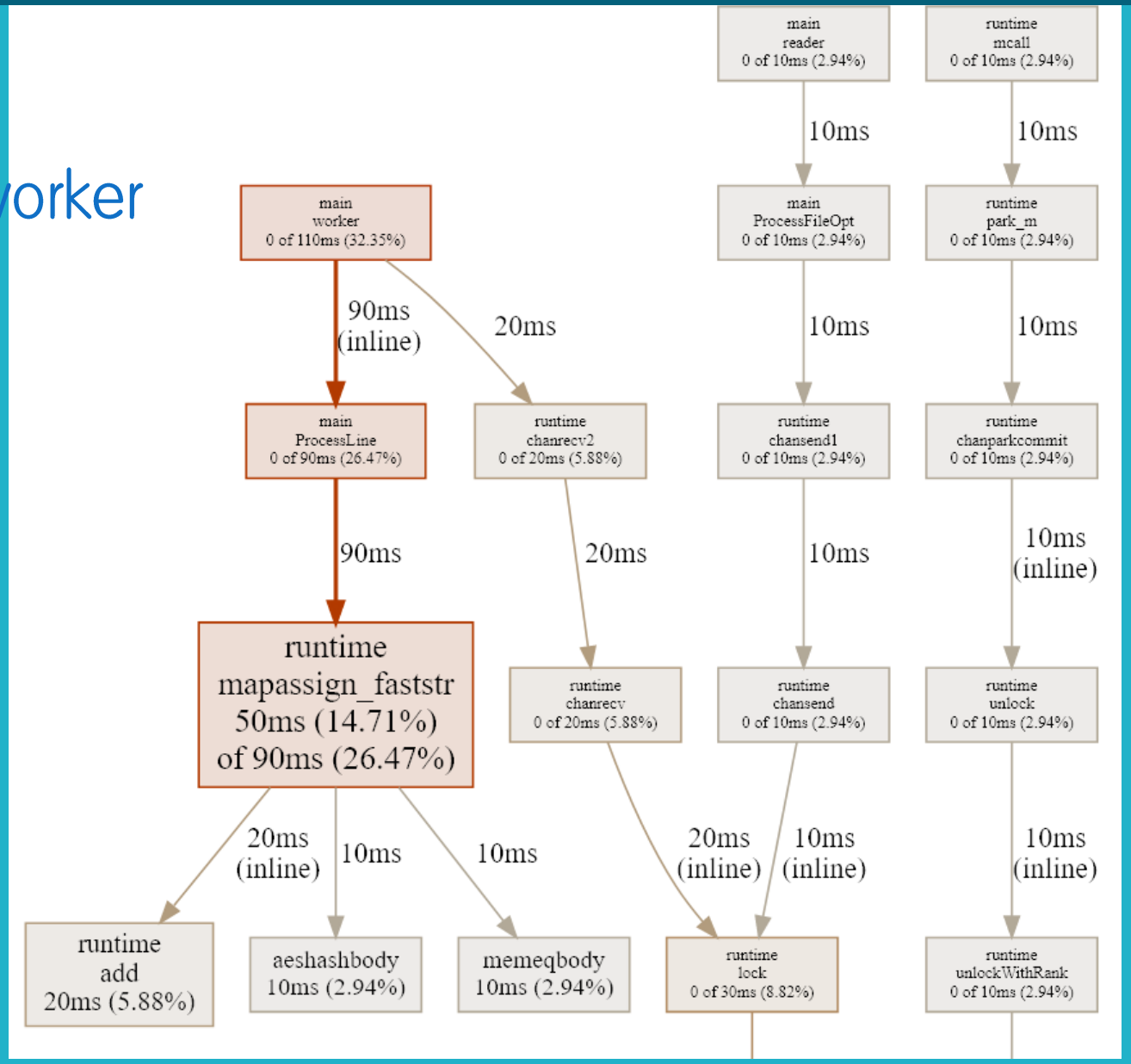
Le point chaud est la lecture du fichier



profiler

- Version optimisée avec worker
- ➔la cible

292 millisecondes



Go et la POO

- L'héritage nous habitue à un formalisme
- Que souhaite-t-on?

```
type packet struct {
  targetData []byte
  loaderData func(icount int) error
}
```

- ➔avoir un objet et sa méthode de remplissage des données

https://play.golang.org/p/BTrrZGypnD1

Une classe

```
type packet struct {
   targetData []byte
   loaderData func(icount int) error
}
func NewPacket() (obj *packet) {
   obj = &packet{}
   obj.loaderData = func(icount int) (err
   error) {
      obj.targetData, err =
   compute_arraybyte(int64(icount))
      return
   }
   return
}
```

Spécialisation de la classe

- Pour spécialiser notre classe :

```
func NewPacketRandom() (obj *packet) {
   obj = &packet{}
   obj.loaderData = func(icount int) (err error) {
       r := rand.New(rand.NewSource(99))
       obj.targetData = make([]byte, icount)
       r.Read(obj.targetData)
       return
   }
   return
}
```

Comment faire un objet qui peut être enrichi? (un ersatz d'héritage)

- Il doit suivre un contrat d'interface
  - ➔l'objet enrichi 'se comporte comme'
- Un champ qui contient une méthode modifiable
- Un constructeur qui réalise la modification – et évidemment, valide le contrat d'interface

Notre classe

On veut enrichir ➔type dérivé par composition

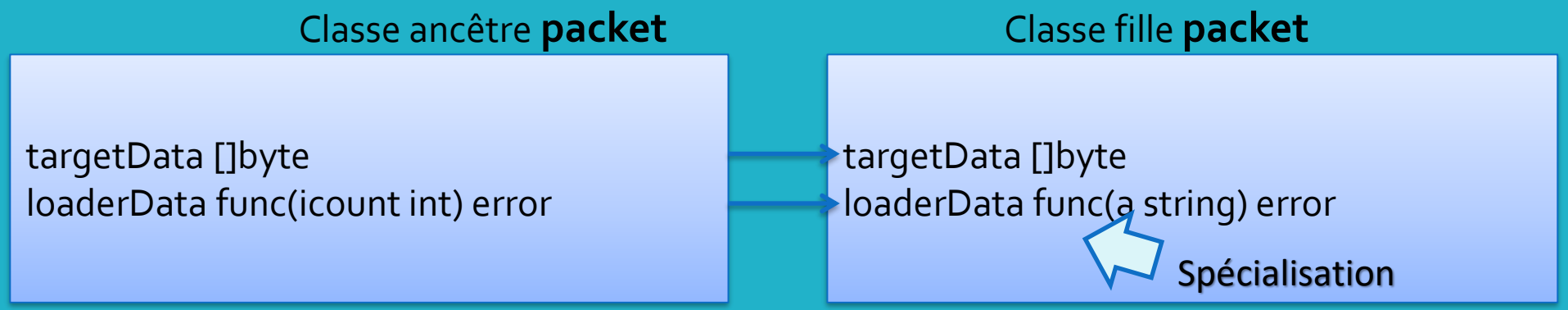
```
type packet struct {
   targetData []byte
   loaderData func(icount int) error
}

func NewPacket() (obj *packet) {
   obj = &packet{}
   obj.loaderData = func(icount int) (err error) {
        obj.targetData, err = compute_arraybyte(int64(icount))
        return
   }
   return
}
```

Méthode commune

```
func (obj *packet) EraseAbove64() {
   for i, a := range obj.targetData {
        if a > 64 {
              obj.targetData[i] = 0
        }
   }
   return
}
```

La méthode EraseAbove64 est commune aux 2 objets



- On veut hériter pour améliorer le type – en ajoutant une nouvelle fonction.

```
type packetBetter struct {
   *packet
   packetLen func() int
}
func NewPacket2() (obj *packetBetter) {
   obj = &packetBetter{packet: NewPacket()}
   //obj.packet = NewPacket()
   obj.packetLen = func() int {
       return len(obj.targetData)
   }
   return
}
```

Encapsulation
*packet

Classe **packetBetter**

targetData []byte
loaderData func(a string) error
packetLen() int

Contrat d'interface

- Go ne propose pas un vrai héritage – par contre, il propose un contrat d'interface

```
type greatPacket interface {
  CreatePacket()
  EraseAbove64()
}
```

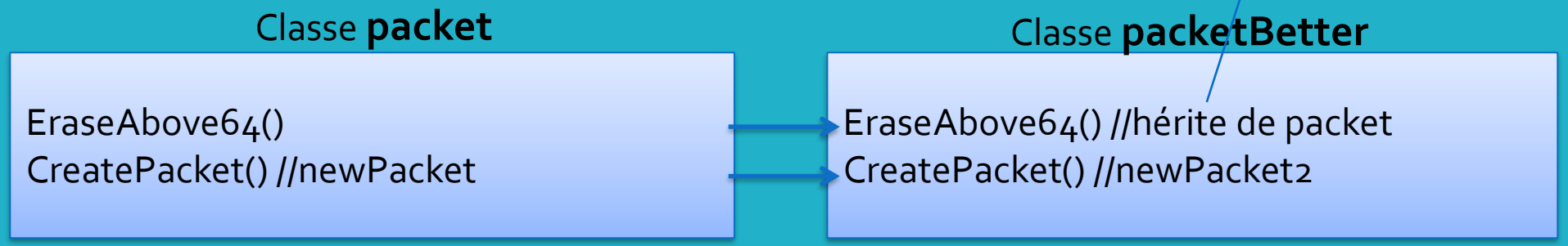
L'idée est que se définissent comme greatPacket, les objets qui respectent ce contrat t'interface.

Constructeurs

```
func (obj *packet) CreatePacket() {
    if obj == nil {
        obj = NewPacket()
    }
}
func (obj *packetBetter) CreatePacket() {
    if obj == nil {
        obj = NewPacket2()
    }
}
```

```
type packetBetter struct {
        *packet
        packetLen func() int
}
```

Doit-on créer une fonction EraseAbove64() ?



Comment fait-on de l'héritage en Go?

Héritage

Champs

Classe ancêtre **packet**

```
targetData []byte
loaderData func(icount int) error
```

Classe fille **packet**

```
targetData []byte
loaderData func(a string) error
```

Spécialisation

Encapsulation
*packet

Classe **packetBetter**

```
targetData []byte
loaderData func(a string) error
packetLen() int
```

Méthodes publiques (par le type greatPacket interface{})

```
EraseAbove64()
CreatePacket() //newPacket
```

Classe **packetBetter**

```
EraseAbove64() //hérite de packet
CreatePacket() //newPacket2
```

Sens de recherche des méthodes

https://play.golang.org/p/QDgpxMTlaWw

- On veut savoir si une classe respecte le contrat d'interface

```
var _ greatPacket = (*packet)(nil)
var _ greatPacket = (*packetBetter)(nil)
```

Langage de classe sans héritage

- Un concept classique : l'usine à composants
  - Une classe virtuelle ancêtre (=usine)
  - Des classes composants qui héritent
- Go implémente un type "interface" qui est un contrat

```
type DNA interface {
    initID()
    DecritFonction() string }

type gene struct {
    typeName string }
//The DNA struct implements the ID() function
func (g *gene) initID() {
    g.typeName = " DNA inconnu " }
//The DNA struct implements the DecritFonction() function
func (sv *gene) DecritFonction() string {
    return "Fonction " + sv.typeName + " : code une protéine " }
```

La classe "usine à composants"

```
type mRNA struct {
    typeName string }
//The DNA struct implements the ID() function
 func (g *mRNA) initID() {
    g.typeName = " Messenger RNA " }
//The DNA struct implements the DecritFonction() function
func (sv *mRNA) DecritFonction() string{
    return "Fonction " + sv.typeName + " : code un ARN messager " }

type CDS struct {
    typeName string }
//The DNA struct implements the ID() function
func (g *CDS) initID() {
    g.typeName = " Coding Data Sequence " }
//The DNA struct implements the DecritFonction() function
func (sv *CDS) DecritFonction() string {
    return "Fonction " + sv.typeName + " : code une region traduite " }
```

La classe "usine à composants"

```
const (
t_gene = iota
t_mRNA
t_CDS )
func InstancieDNA(t int) (DNA, error) {
switch t {
case t_gene:        return new(gene), nil
case t_mRNA:        return new(mRNA), nil
case t_CDS:         return new(CDS),nil
default:            return nil, errors.New("Invalid DNA Type")
}
}
```

La classe "usine à composants"

```
dna,_ := InstancieDNA(t_gene)
dna.initID()
fmt.Printf("%s\n",dna.DecritFonction())
```

Résultat :

›Fonction : code une protéine

- Le principe de Go : **interface{}** = se comporte comme

https://play.golang.org/p/kWrnpnTa2nL

Faire des interfaces publiques

- Comment occulter une interface?

→il suffit d'avoir un comportement de type façade

```
type Facade interface {
Public() interface{}
}
func Public(o interface{}) interface{} {
  if p, ok := o.(Facade); ok {
  return p.Public()
  }
  return o
}
```

← L'objet possède une méthode "façade"

Utiliser le compilateur

- Vérifier qu'une classe est complète

```
var gene1 DNA = (*s_gene)(nil)
```

```
.\main.go:110: cannot use (*s_gene)(nil) (type *s_gene)
    as type DNA in assignment:
*s_gene does not implement DNA (missing
    DecritFonction method)
```

Ce truc ne coute rien et permet de vérifier la validité des classes

GO ASM

- Le langage Go permet de faire des appels ASM sans utiliser un outil spécifique.
- Le «problème» - l'assembleur du langage Go est celui de Plan9 (…68020…) - différent de l'assembleur Intel/ATT
- Plusieurs tactiques pour obtenir un code assembleur.

Les appels assembleurs en Golang

- L'assembleur est installé avec le compilateur Golang, compatible avec de nombreux processeurs

- Règle du suffix pour code assembleur : nom_amd64.s ➔ version amd64
  nom_arm64.s ➔ version arm, 64bits
- Exemple : https://go.dev/src/runtime/

https://go.dev/src/runtime/

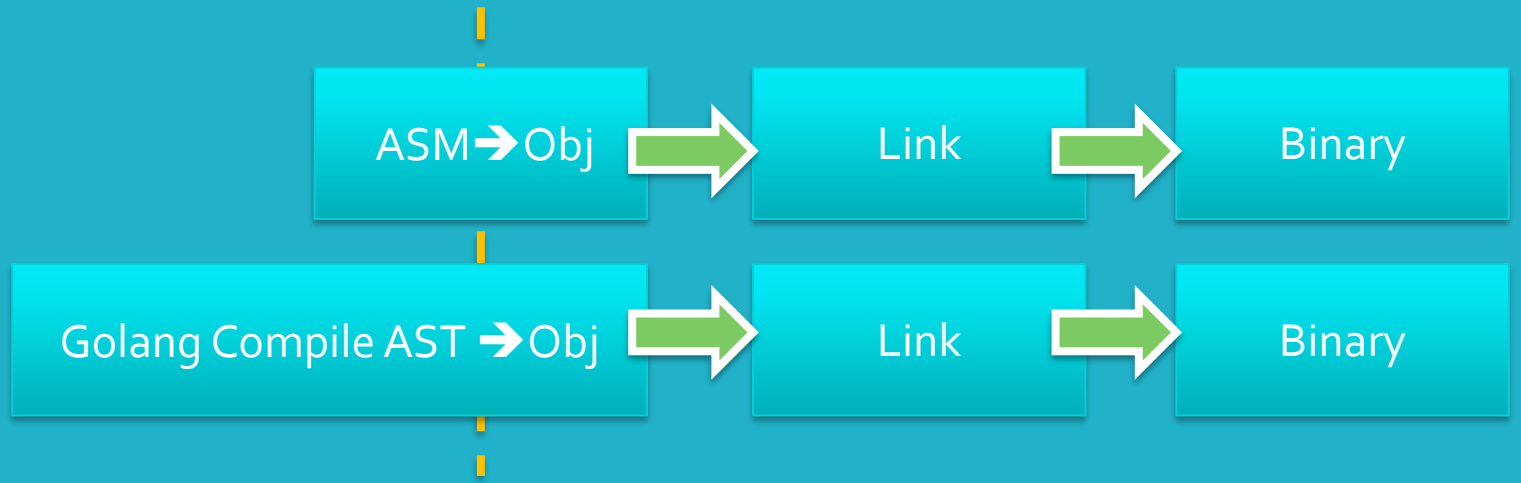
- asm_386.s
- asm_amd64.s
- asm_arm.s
- asm_arm64.s
- asm_mips64x.s
- asm_mipsx.s
- asm_ppc64x.h
- asm_ppc64x.s
- asm_riscv64.s
- asm_s390x.s
- asm_wasm.s
- atomic_arm64.s
- atomic_mips64x.s
- atomic_mipsx.s
- atomic_pointer.go
- atomic_ppc64x.s
- atomic_riscv64.s

xt file src/runtime/asm_amd64.s

```
1  // Copyright 2009 The Go Authors. All rights reserved.
2  // Use of this source code is governed by a BSD-style
3  // license that can be found in the LICENSE file.
4
5  #include "go_asm.h"
6  #include "go_tls.h"
7  #include "funcdata.h"
8  #include "textflag.h"
9  #include "cgo/abi_amd64.h"
10
11 // _rt0_amd64 is common startup code for most amd64 systems when using
12 // internal linking. This is the entry point for the program from the
13 // kernel for an ordinary -buildmode=exe program. The stack holds the
14 // number of arguments and the C-style argv.
15 TEXT _rt0_amd64(SB),NOSPLIT,$-8
16         MOVQ    0(SP), DI       // argc
17         LEAQ    8(SP), SI       // argv
18         JMP     runtime·rt0_go(SB)
```

L'assembleur du langage Go

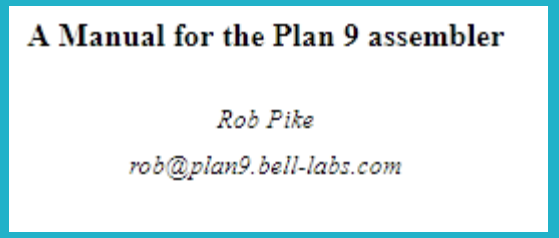
- Le système Plan9 améliore l'étape de compilation.



Évolution du loader de Plan9 qui sait optimiser les accès

- Le format Obj est plus «évolué» que ELF/COFF

ASM du langage Go


A Manual for the Plan 9 assembler

Rob Pike

rob@plan9.bell-labs.com

- 1986: Rob Pike écrit un assembleur pour Plan9
- https://9p.io/sys/doc/asm.html
- Le flot de donnée est de gauche à droite
- L'instruction connait la largeur du mot (Q, L)
- L'objectif de cet assembleur est la portabilité !
- https://talks.golang.org/2016/asm.slide#1
- Aperçu de l'assembleur :
- https://godbolt.org/z/W1znE6TPf
  - FP: Frame pointer: arguments and locals.
  - PC: Program counter: jumps and branches.
  - SB: Static base pointer: global symbols.
  - SP: Stack pointer: top of stack.

Un exemple simple : la somme

```
func Sum(a []uint64) uint64 {
    var sum uint64
    for i := 0; i < len(a); i++ {
        sum += a[i]
    }
    return sum
}
```

https://godbolt.org/z/YKsW9P61T : le code avec utilisation

Traduction du code Go en ASM Go

amd64 gc 1.16 | Compiler options...

A | Output... | Filter... | Libraries | + Add new... | Add

```
1   TEXT    "".Sum(SB), NOSPLIT|ABIInternal, $0-32
2   FUNCDATA        $0, gclocals·1a65e721a2ccc325b
3   FUNCDATA        $1, gclocals·69c1753bd5f81501d
4   MOVQ    "".a+16(SP), AX
5   MOVQ    "".a+8(SP), CX
6   XORL    DX, DX
7   XORL    BX, BX
8   JMP     Sum_pc32
9   Sum_pc16:
10  LEAQ    1(DX), SI
11  MOVQ    (CX)(DX*8), DI
12  ADDQ    DI, BX
13  MOVQ    SI, DX
14  NOP
15  Sum_pc32:
16  CMPQ    DX, AX
17  JLT     Sum_pc16
18  MOVQ    BX, "".~r1+32(SP)
19  RET
```

NOSPLIT= 4
SP = pseudo SP, Plang
symbol+offset(SP)

SP+16 → AX ➔ longueur
SP+8 → CX ➔ pointeur sur contenu
DX : contient l'avancement
BX : la somme // le résultat

LEA adresse DX+1 dans SI ➔ taille inc
CX+[DX*8] ➔ pointeur sur contenu avec incrément
Addition contenu vers BX
Déplacement mémoire

Positionnement résultat sur la pile

Le produit scalaire – entier32, sans dépassement

➔en Golang

```
func DotProduct(a []int32, b []int32, N int32) (sum int32) {
   //N := len(a)
   for i := int32(0); i < N; i++ {
       sum += a[i] * b[i]
   }
   return
}
```

➔en C

```
#include <stdint.h>
void dp_int32(int32_t *a, int32_t *b, int32_t *len,int32_t *res)
   {
     int32_t N = *len;
     int32_t reslocal = 0;
     for(int32_t i = 0; i < N; i++) {
         reslocal = reslocal + a[i]*b[i];}
     *res = reslocal; return ; }.
```

Traduction du code en ASM avec Clang

- https://godbolt.org/z/K7747xGEc
- -Os -mno-red-zone -mstackrealign -mllvm -inline-threshold=1000 -fno-asynchronous-unwind-tables -fno-exceptions -fno-rtti
- -Os ➔ code compact

- ➔il existe une possibilité de génération de code ASM automatique vers Golang avec :

Résultat de Clang

C source #1

```c
// Type your code here, or load an example.
#include <stdint.h>

void dp_int32(int32_t *a, int32_t *b, int32_t *len, int3
    int32_t N = *len;
    int32_t reslocal = 0;

    for(int32_t i = 0; i < N; i++) {
        reslocal = reslocal + a[i]*b[i];
    }
    *res = reslocal;
    return ;
}
```

x86-64 clang 13.0.0 (C, Editor #1, Compiler #1)

x86-64 clang 13.0.0 -Os -mno-red-zc

```
dp_int32:                               # @d
        push    rbp
        mov     rbp, rsp
        and     rsp, -8
        mov     r8d, dword ptr [rdx]
        test    r8d, r8d
        jle     .LBB0_1
        xor     eax, eax
        xor     r9d, r9d
.LBB0_4:                                # =>
        mov     edx, dword ptr [rsi + 4*rax]
        imul    edx, dword ptr [rdi + 4*rax]
        add     r9d, edx
        inc     rax
        cmp     r8, rax
        jne     .LBB0_4
        jmp     .LBB0_2
.LBB0_1:
        xor     r9d, r9d
.LBB0_2:
        mov     dword ptr [rcx], r9d
        mov     rsp, rbp
        pop     rbp
        ret
```

Output (0/0) x86-64 clang 13.0.0 - 405ms (18868B) ~393 lines

- Générer un code ASM avec Clang – qui sait faire de l'autovectorisation

- Convertir le code de l'ASM Gnu vers l'ASM Go ➔ outil c2goasm
  - git clone https://github.com/minio/asm2plan9s
  - git clone https://github.com/klauspost/asmfmt
  - git clone https://github.com/minio/c2goasm
  - Mettre les go.mod, mettre les binaires dans le path

  - $ c2goasm -a –f …

- Utilisation de c2goasm
  - 1/obtenir un code C qui compile avec Clang
  - clang -S -mavx2 -masm=intel -mllvm -force-vector-width=4 -fno-asynchronous-unwind-tables -fno-exceptions -fno-omit-frame-pointer -fno-rtti -c -O3 dotproduct.c
  - 2/fabriquer un code en Go pour avoir le header
  - `_dp_int32(int32_t *a, int32_t *b, int32_t *len,int32_t *res)`

```
#include <stdint.h>
void dp_int32(int32_t *a, int32_t *b, int32_t
  *len,int32_t *res) {
    int32_t N = *len;
    int32_t reslocal = 0;
    for(int32_t i = 0; i < N; i++) {
        reslocal = reslocal + a[i]*b[i];}
    *res = reslocal; return ; }
```

```
>dotproduct_amd64.go
package Dotproduct
import ( "unsafe")
//go:noescape
func _dp_int32(a, b, N, res unsafe.Pointer)
func DotProduct(a []int32, b []int32, N int32) int32 {
   var res int32
  _dp_int32(unsafe.Pointer(&a[0]),unsafe.Pointer(&b[0]),
  unsafe.Pointer(&N),unsafe.Pointer(&res))
   return res
}
```

- ➔ Ajout du '_' en préfix
- ➔ Utilisation de unsafe
- ➔ go:noescape ➔ pas d'analyse d'échappement

Compilation avec Clang

- clang -S -mavx2 -masm=intel -mllvm -force-vector-width=4 -fno-asynchronous-unwind-tables -fno-exceptions -fno-omit-frame-pointer -fno-rtti -c -O3 dotproduct.c
- -O3 -mavx512f -mavx512dq -mavx512bw -mavx512vbmi -mavx512vbmi2 -mavx512vl
- Clang a 2 optimiseurs pour l'autovectorisation – on peut agir sur la taille de la vectorisation
- ➔génère une version assembleur
- ./c2go -a -f dotproduct.s dotproduct_amd64.s
- Il s'agit de positionner le fichier dotproduct_amd64.go

Génération automatique

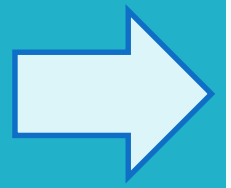
- Problème : le code généré ne fonctionne pas sous windows.
  - ➔il y a du code «en binaire»
  - …

```
LONG $0x646ffac5; WORD $0x1086// vmovdqu xmm4, oword [rsi + 4*rax]
LONG $0x6c6ffac5; WORD $0x2086// vmovdqu xmm5, oword [rsi + 4*rax + 16]
LONG $0x746ffac5; WORD $0x3086 // vmovdqu xmm6, oword [rsi + 4*rax + 32]
LONG $0x7c6ffac5; WORD $0x4086// vmovdqu xmm7, oword [rsi + 4*rax + 48]
```

- La voie du méta assembleur:
  - PeachPy https://github.com/Maratyszcza/PeachPy - 1815 étoiles
    - ➔assembleur codé en Python avec un métalangage
  - Avo https://github.com/mmcloughlin/avo - 2465 étoiles
    - ➔assembleur codé en Go avec un métalangage

Exemple de meta assembleur (PeachPy)

Meta ASM



```
from peachpy.x86_64 import *

# Lets write a function float DotProduct(const float* x, const float* y)

# If you want maximum cross-platform compatibility, arguments must have names
x = Argument(ptr(const_float_), name="x")
# If name is not specified, it is auto-detected
y = Argument(ptr(const_float_))

# Everything inside the `with` statement is function body
with Function("DotProduct", (x, y), float_,
  # Enable instructions up to SSE4.2
  # PeachPy will report error if you accidentally use a newer instruction
  target=uarch.default + isa.sse4_2):

  # Request two 64-bit general-purpose registers. No need to specify exact names.
  reg_x, reg_y = GeneralPurposeRegister64(), GeneralPurposeRegister64()

  # This is a cross-platform way to load arguments. PeachPy will map it to something proper later.
  LOAD.ARGUMENT(reg_x, x)
  LOAD.ARGUMENT(reg_y, y)

  # Also request a virtual 128-bit SIMD register...
  xmm_x = XMMRegister()
  # ...and fill it with data
  MOVAPS(xmm_x, [reg_x])
  # It is fine to mix virtual and physical (xmm0-xmm15) registers in the same code
  MOVAPS(xmm2, [reg_y])

  # Execute dot product instruction, put result into xmm_x
  DPPS(xmm_x, xmm2, 0xF1)

  # This is a cross-platform way to return results. PeachPy will take care of ABI specifics.
  RETURN(xmm_x)
```

Exemple de meta assembleur (AVO)

```go
package main

import . "github.com/mmcloughlin/avo/build"

func main() {
        TEXT("Add", NOSPLIT, "func(x, y uint64) uint64")
        Doc("Add adds x and y.")
        x := Load(Param("x"), GP64())
        y := Load(Param("y"), GP64())
        ADDQ(x, y)
        Store(y, ReturnIndex(0))
        RET()
        Generate()
}
```

go:generate go run asm.go -out add.s -stubs stub.go

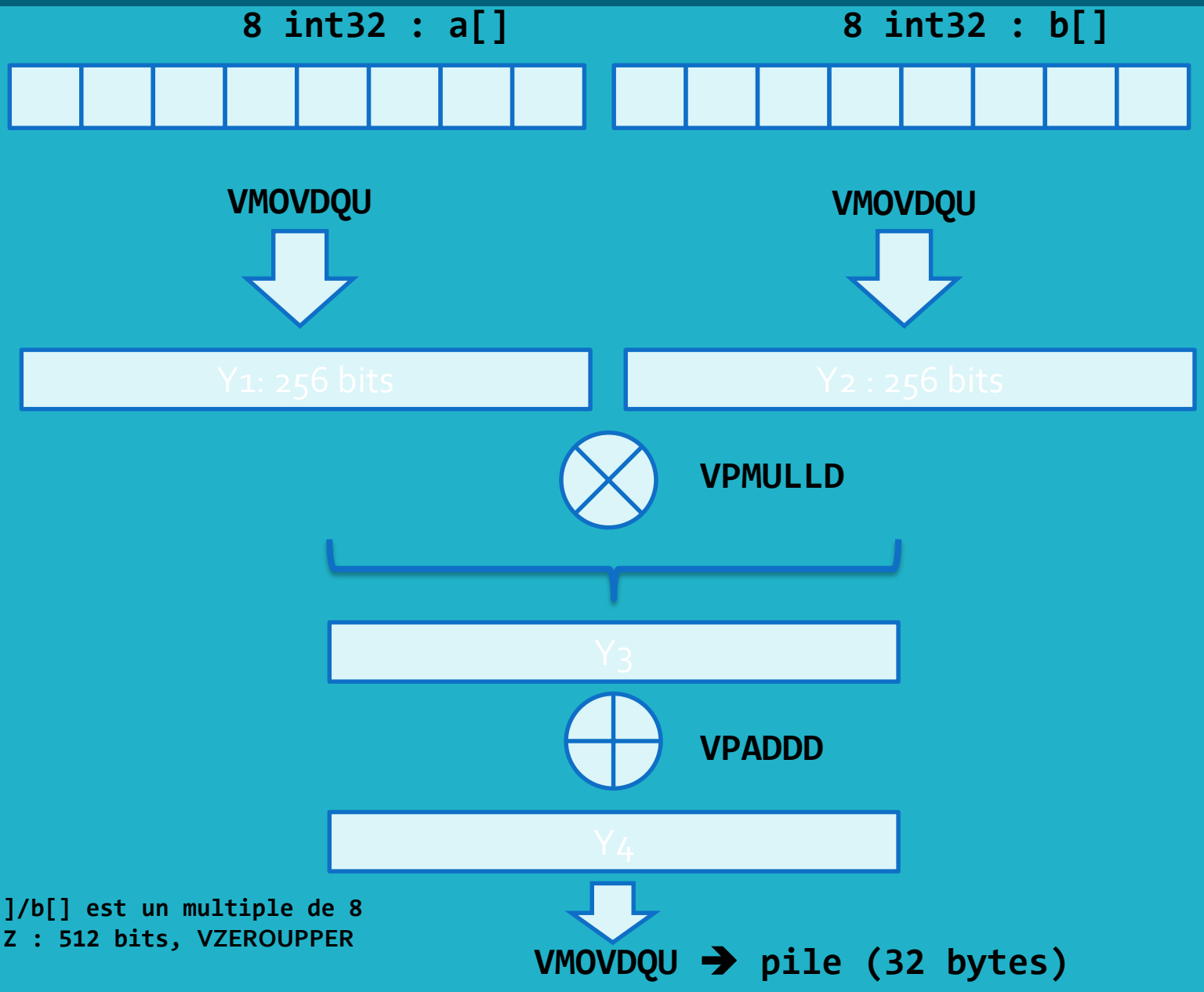
```
#include "textflag.h"

// func Add(x uint64, y uint64) uint64
TEXT ·Add(SB), NOSPLIT, $0-24
        MOVQ x+0(FP), AX
        MOVQ y+8(FP), CX
        ADDQ AX, CX
        MOVQ CX, ret+16(FP)
        RET
```

Alternative : fabrication du code ‘à la main’

```
//func _dp_int32(a *int32, b *int32, gN *int32, res *int32)
TEXT    ·_dp_int32(SB),4,  $0-32
        MOVQ a+0(FP), DI
        MOVQ b+8(FP), SI
        MOVQ gN+16(FP), DX
        MOVQ res+24(FP), CX
        MOVQ (DX),R8                // mov    r8d, dword [rdx]
        CMPQ R8,$0                  // test    r8d, r8d
        JLE  LBB0_1
        XORQ AX, AX                 // xor    eax, eax
        XORQ R9, R9                 // xor    r9d, r9d
LBB0_4:
        MOVQ (SI)(AX*4),DX          // mov    edx, dword [rsi + 4*rax]
        IMULQ (DI)(AX*4),DX         // imul    edx, dword [rdi + 4*rax]
        ADDQ DX,R9                  // add    r9d, edx
        INCQ AX                     // inc    rax
        CMPQ AX, R8                 // cmp    r8, rax
        JNE  LBB0_4
        JMP  LBB0_2
LBB0_1:
        XORQ R9, R9                 // xor    r9d, r9d
LBB0_2:
        MOVQ R9,(CX)                // mov    dword [rcx], r9d
        RET
```

Vectorisation AVX du produit scalaire



Vxxx : Vectorisé

AVX : 2011
Attention : la taille a[]/b[] est un multiple de 8
Avec AVX512 – registres Z : 512 bits, VZEROUPPER

Le code vectorisé

```
TEXT ·_dpavx_int32(SB),4, $32-32
  MOVQ a+0(FP), DI
  MOVQ b+8(FP), SI
  MOVQ gN+16(FP), CX
  MOVQ res+24(FP), DX
  MOVQ (CX),R8 // value of gN
  MOVQ DX,R9 // return address
  VPXOR Y4, Y4, Y4
  XORQ AX,AX
start:
  VMOVDQU (SI), Y1
  VMOVDQU (DI), Y2
  VPMULLD Y1, Y2, Y3
  VPADDD Y3, Y4, Y4
  ADDQ $32, SI
  ADDQ $32, DI
  ADDQ $8, AX
  CMPL AX, R8
  JNE start
  VMOVDQU Y4, d0-32(SP) // vector result to stack
  LEAQ d0-32(SP), BX
  MOVQ $8, CX    // array length 8 int32
  XORQ SI, SI    // clean SI
redux:  //8 bytes => 8 int32 reduction to 1 int32
  ADDL (BX), SI
  ADDQ $4,  BX  // handle 4 int32
  DECQ CX
  JNZ  redux
  MOVL SI,(R9)
  RET
```

_dpavx_int32(a *int32, b *int32, gN *int32, res *int32)

Attention : la taille a[]/b[] est un multiple de 8

Autre approche : les intrinsics

- Cible gcc/clang, SSE4.1
- Les intrisincs sont «des ajouts» au compilateur
- https://godbolt.org/z/aW6dhrxqE
- Utilisation du format m128 bits (XMM) // 4 int32
  - _mm_setzero_si128 : mise à zéro
  - _mm_load_si128 : chargement //, hint sur le cache (nocache)
  - _mm_mullo_epi32 : multiplication int32, cast int32
  - _mm_add_epi32 : addition int32
  - _mm_srli_si128 : décalage à droite
  - _mm_cvtsi128_si32 : récupère la partie basse int32

Code avec intrinsics // C++

https://godbolt.org/z/eab6Kzo5s

Attention : la taille a[]/b[] est un multiple de 4

```
#include <smmintrin.h>
// the actual loop body itself is still fine for runtime-variable N
[[gnu::target("sse4.1")]] int32_t dp(int32_t a[], int32_t b[], int32_t N)
{
    int32_t sum = 0;
   __m128i temp_sum = _mm_setzero_si128();
    for(int i=0;i<N;i=i+4){ // 4 int32 processed
    //Load the 4 values from x
    __m128i temp_1 = _mm_load_si128(reinterpret_cast<__m128i*>(&a[i])); // add cast
    //Load the 4 values from y
    __m128i temp_2 = _mm_load_si128(reinterpret_cast<__m128i*>(&b[i])); // add cast
    //Multiply x[0] and y[0], x[1] and y[1] etc
    __m128i temp_products = _mm_mullo_epi32(temp_1, temp_2);
    //Sum temp_sum
    temp_sum = _mm_add_epi32(temp_sum, temp_products);
}
// take horizontal sum of temp_sum - reduction
 temp_sum = _mm_add_epi32(temp_sum, _mm_srli_si128(temp_sum, 8));
 temp_sum= _mm_add_epi32(temp_sum, _mm_srli_si128(temp_sum, 4));
 sum = _mm_cvtsi128_si32(temp_sum); // convert
// assign after the loop so compiler knows it doesn't alias
return sum;
}
```

Point d'optimisations possibles

- GOMAXPROCS = donne la limite du nombre de processus, équivaut au nombre de cœur
- runtime.GOMAXPROCS(n int) int → positionne le nombre de processus.
- GOGC = action du ramasse miette
- GOGC = 100 par défaut, décrit la fraction de mémoire qui est considérée pour déclencher le ramasse miette. 100 = doublement (100%)
- ➔peut être mis à OFF, ou à des valeurs élevées 25000 ➔ rend le ramasse miette agressif
- runtime.GC() : invoque le GC, bloque le programme