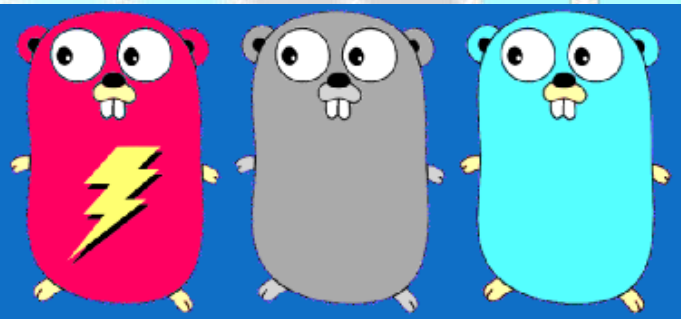
Génie Logiciel pour le Calcul Scientifique

UNIVERSITÉ DE VERSAILLES ST-QUENTIN-EN-YVELINES

université PARIS-SACLAY



#10

06/02/2025

jean-michel.batto@cea.fr

cea

https://gogs.eldarsoft.com/M2_IHPS

ASM du langage Go

- 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... | 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…c2goasm?

Résultat de Clang

C source #1

Save/Load Add new... Vim C

```
1  // Type your code here, or load an example.
2  #include <stdint.h>
3
4  void dp_int32(int32_t *a, int32_t *b, int32_t *len, int3
5      int32_t N = *len;
6      int32_t reslocal = 0;
7
8      for(int32_t i = 0; i < N; i++) {
9          reslocal = reslocal + a[i]*b[i];
10     }
11     *res = reslocal;
12     return ;
13 }
```

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

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

Output... Filter... Libraries Add new...

```
1   dp_int32:                                 # @d
2           push    rbp
3           mov     rbp, rsp
4           and     rsp, -8
5           mov     r8d, dword ptr [rdx]
6           test    r8d, r8d
7           jle     .LBB0_1
8           xor     eax, eax
9           xor     r9d, r9d
10  .LBB0_4:                                  # =>
11          mov     edx, dword ptr [rsi + 4*rax]
12          imul    edx, dword ptr [rdi + 4*rax]
13          add     r9d, edx
14          inc     rax
15          cmp     r8, rax
16          jne     .LBB0_4
17          jmp     .LBB0_2
18  .LBB0_1:
19          xor     r9d, r9d
20  .LBB0_2:
21          mov     dword ptr [rcx], r9d
22          mov     rsp, rbp
23          pop     rbp
24          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»
  - …

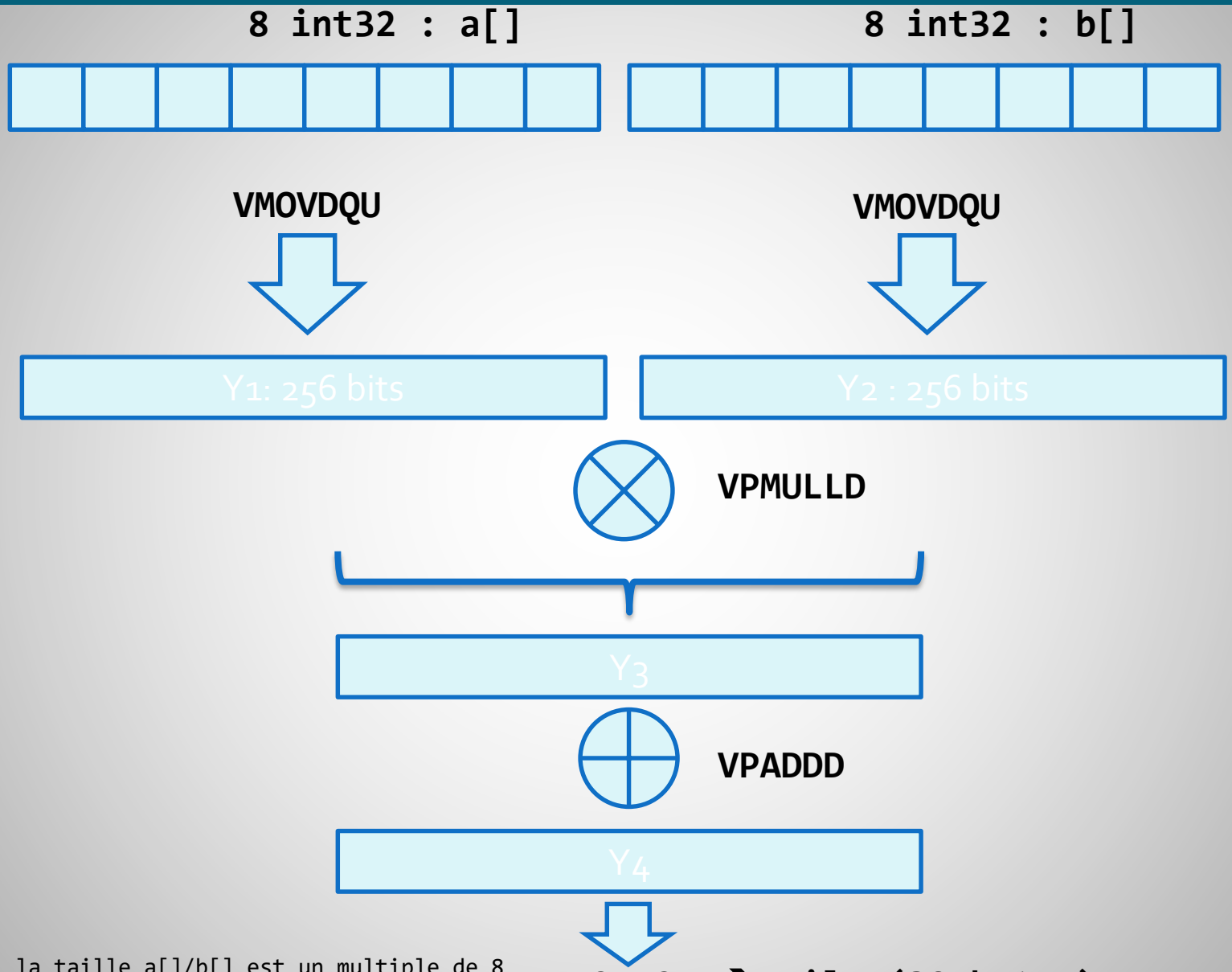
```
LONG $0x646ffac5; WORD $0x1086// vmovdqu xmm4, oword [rsi + 4*rax]
LONG $0x6c6ffac5; WORD $0x2086// vmovdqu xmm5, oword [rsi + 4*rax + 16]
LONG $0x746ffac5; WORD $0x3086 // vmovdqu xmm6, oword [rsi + 4*rax + 32]
LONG $0x7c6ffac5; WORD $0x4086// vmovdqu xmm7, oword [rsi + 4*rax + 48]
```

- Autres voies explorées :
  - PeachPy https://github.com/Maratyszcza/PeachPy - 1596 étoiles
    - ➔assembleur codé en Python avec un métalangage
  - Avo https://github.com/mmcloughlin/avo - 1866 étoiles
    - ➔assembleur codé en Go avec un métalangage

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



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;
}
```

Benchmark

Installation de LiteIDE, Golang

```
go mod init dotproduct
go mod tidy
```

On évalue ➔ DotProductAsmAvx(a []int32, b []int32, N int32) int32

```
>go test -bench=.
```

```
cpu: Intel(R) Core(TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz
BenchmarkSumAsm-8 1870992 629.2 ns/op 1627.51 MB/s
BenchmarkDotProductAsm-8 2468762 484.7 ns/op 2112.83 MB/s
BenchmarkDotProduct-8 2263225 532.1 ns/op 1924.48 MB/s
BenchmarkDotProductAsmAvx-8 10285543 111.9 ns/op 9154.79 MB/s
```

Les 23 patterns en Go

```
// creational package pattern
// 1. Singleton Pattern -- une seule instance et fournir un point d'accès global à cette instance
type singleton struct { data string }
var ( instance *singleton once sync.Once )
func GetInstance() *singleton { once.Do(func() {
        instance = &singleton{data: "I am singleton"}
                                                })
                                        return instance }
// 2. Factory Method Pattern -- interface pour la création d'un objet, mais laisse aux sous-classes le choix des classes concrètes à instancier
type Animal interface { Speak() string }
type Dog struct{}
type Cat struct{}
func (d *Dog) Speak() string { return "Woof!" }
func (c *Cat) Speak() string { return "Meow!" }
func CreateAnimal(animalType string) Animal {
        switch animalType {             case "dog": return &Dog{}
                                        case "cat": return &Cat{}
                                        default: return nil } }
```

Les 23 patterns en Go

```
// creational package pattern

// 3. Abstract Factory Pattern -- définit une famille de classes interchangeables sans spécifier leur classe concrète
type Button interface {
        Paint() }
type WinButton struct{}
type MacButton struct{}
func (w *WinButton) Paint() { fmt.Println("Windows button") }
func (m *MacButton) Paint() { fmt.Println("Mac button") }
type GUIFactory interface {
        CreateButton() Button }
type WinFactory struct{}
type MacFactory struct{}
func (w *WinFactory) CreateButton() Button { return &WinButton{} }
func (m *MacFactory) CreateButton() Button { return &MacButton{} }
```

Les 23 patterns en Go

// creational package pattern

```
// 4. Builder Pattern -- composite avec structure indépendante
type House struct {  windows int
                     doors int
                     roof string }
type HouseBuilder struct { house *House }
func NewHouseBuilder() *HouseBuilder {
        return &HouseBuilder{house: &House{}} }
func (b *HouseBuilder) SetWindows(count int) *HouseBuilder { b.house.windows = count return b }
func (b *HouseBuilder) SetDoors(count int) *HouseBuilder { b.house.doors = count return b }
func (b *HouseBuilder) SetRoof(style string) *HouseBuilder { b.house.roof = style return b }
func (b *HouseBuilder) Build() *House { return b.house }
// 5. Prototype Pattern -- le constructeur de copie fait l'instanciation
type Prototype interface { Clone() Prototype }
type ConcretePrototype struct { name string }
func (p *ConcretePrototype) Clone() Prototype {
        return &ConcretePrototype{name: p.name} }
```

Les 23 patterns en Go

```
// structural package pattern
// 6. Adapter Pattern -- crée une interface pour plusieurs sous-systèmes de manière à ce qu'ils puissent interagir de manière interchangeable
type LegacyPrinter interface { Print(s string) string }
type MyLegacyPrinter struct{}
func (p *MyLegacyPrinter) Print(s string) string { return fmt.Sprintf("Legacy: %s", s) }
type ModernPrinter interface { PrintModern(s string) string }
type PrinterAdapter struct { LegacyPrinter }
func (p *PrinterAdapter) PrintModern(s string) string { return p.Print(s) }
// 7. Bridge Pattern -- découplage
type DrawAPI interface { DrawCircle(x, y, radius int) }
type RedCircle struct{}
type GreenCircle struct{}
func (r *RedCircle) DrawCircle(x, y, radius int) { fmt.Printf("Drawing red circle at (%d,%d)\n", x, y) }
func (g *GreenCircle) DrawCircle(x, y, radius int) { fmt.Printf("Drawing green circle at (%d,%d)\n", x, y) }
type Shape struct { drawAPI DrawAPI }
type Circle struct { Shape x, y, radius int }
// 8. Composite Pattern -- structure arborescente/uniforme
type Component interface { Operation() string }
type Leaf struct { name string }
type Composite struct { children []Component }
func (l *Leaf) Operation() string { return l.name }
func (c *Composite) Operation() string {
        result := "Branch(" for _, child := range c.children { result += child.Operation() + " " } return result + ")" }
```

Les 23 patterns en Go

```
// structural package pattern
// 9. Decorator Pattern -- attache des responsabilités supplémentaires à un objet de manière dynamique
type Coffee interface {          Cost() int
                                 Description() string }
type SimpleCoffee struct{}
func (s *SimpleCoffee) Cost() int { return 5 }
func (s *SimpleCoffee) Description() string { return "Simple coffee" }
type MilkDecorator struct { coffee Coffee }
func (m *MilkDecorator) Cost() int { return m.coffee.Cost() + 2 }
func (m *MilkDecorator) Description() string { return m.coffee.Description() + ", milk" }
// 10. Facade Pattern -- regroupe plusieurs interfaces en une seule interface
type SubsystemA struct{}
type SubsystemB struct{}
type SubsystemC struct{}
func (s *SubsystemA) OperationA() string { return "Subsystem A" }
func (s *SubsystemB) OperationB() string { return "Subsystem B" }
func (s *SubsystemC) OperationC() string { return "Subsystem C" }
type Facade struct { sysA *SubsystemA
                     sysB *SubsystemB
                     sysC *SubsystemC }
func (f *Facade) Operation() string {
        return f.sysA.OperationA() + " " + f.sysB.OperationB() + " " + f.sysC.OperationC() }
```

Les 23 patterns en Go

// structural package pattern

```
// 11. Flyweight Pattern -- partage de l'état
type CharacterFlyweight struct { char rune }
type CharacterFactory struct { chars map[rune]*CharacterFlyweight }
func NewCharacterFactory() *CharacterFactory {
        return &CharacterFactory{chars: make(map[rune]*CharacterFlyweight)} }
func (f *CharacterFactory) GetCharacter(c rune) *CharacterFlyweight {
        if f.chars[c] == nil {
        f.chars[c] = &CharacterFlyweight{char: c} }
        return f.chars[c] }
// 12. Proxy Pattern -- effet miroir
type Subject interface { Request() string }
type RealSubject struct{}
func (s *RealSubject) Request() string { return "RealSubject: Handling request" }
type Proxy struct { realSubject *RealSubject }
func (p *Proxy) Request() string {
        if p.realSubject == nil {
        p.realSubject = &RealSubject{} }
        return "Proxy: " + p.realSubject.Request() }
```

Les 23 patterns en Go

// behavorial `package pattern`

```
// 13. Chain of Responsibility Pattern -- répond à une demande avec découplage
type Handler interface {
        SetNext(handler Handler)
        Handle(request string) string }
type AbstractHandler struct { next Handler }
func (h *AbstractHandler) SetNext(handler Handler) { h.next = handler }
type ConcreteHandler1 struct { AbstractHandler }
func (h *ConcreteHandler1) Handle(request string) string {
        if request == "one" { return "Handler1: handled" }
        if h.next != nil { return h.next.Handle(request) } return "" }
// 14. Command Pattern -- encapsuler une requête sous la forme d'un objet, permettant la paramétrisation des clients avec différentes requêtes
type Command interface { Execute() string }
type Light struct{}
func (l *Light) TurnOn() string { return "Light is on" }
func (l *Light) TurnOff() string { return "Light is off" }
type LightOnCommand struct { light *Light }
func (c *LightOnCommand) Execute() string { return c.light.TurnOn() }
// 15. Interpreter Pattern -- grammaire dans l'objet
type Expression interface { Interpret() bool }
type TerminalExpression struct { data string }
func (t *TerminalExpression) Interpret() bool { return len(t.data) > 0 }
```

Les 23 patterns en Go

```
// behavorial package pattern
// 16. Iterator Pattern -- se déplace sans connaitre le détail de l'implémentation
type Iterator interface {
        HasNext() bool
        Next() interface{} }
type Collection struct {
        items []interface{} }
type CollectionIterator struct { collection *Collection index int }
func (i *CollectionIterator) HasNext() bool {
        return i.index < len(i.collection.items) }
func (i *CollectionIterator) Next() interface{} {
        if i.HasNext() { item := i.collection.items[i.index] i.index++ return item } return nil }
// 17. Mediator Pattern -- spécifie les interactions entre objets sans définir leurs classes concrètes
type Mediator interface { Notify(sender string, event string) }
type ConcreteMediator struct {
                        component1 *Component1
                        component2 *Component2 }
type Component1 struct { mediator Mediator }
type Component2 struct { mediator Mediator }
func (m *ConcreteMediator) Notify(sender string, event string) {
        fmt.Printf("Mediator reacts on %s and triggers event: %s\n", sender, event) }
```

// behavorial package pattern

```
// 18. Memento Pattern -- informations privées pour « backup » de 1 état
type Memento struct { state string }
type Originator struct { state string }
func (o *Originator) CreateMemento() *Memento {
        return &Memento{state: o.state} }
func (o *Originator) RestoreMemento(m *Memento) { o.state = m.state }
// 19. Observer Pattern -- définit une dépendance entre objets afin qu'un changement de l'état d'un objet entraîne une mise à jour automatique
type Observer interface { Update(string) }
type Subject2 struct {
        observers []Observer
        state string }
func (s *Subject2) Attach(o Observer) {
        s.observers = append(s.observers, o) }
func (s *Subject2) Notify() {
        for _, observer := range s.observers { observer.Update(s.state) } }
// 20. State Pattern -- les états sont gérés par un handle
type State interface { Handle() string }
type Context struct { state State }
type ConcreteStateA struct{}
type ConcreteStateB struct{}
func (s *ConcreteStateA) Handle() string { return "State A" }
func (s *ConcreteStateB) Handle() string { return "State B" }
```

Les 23 patterns en Go

```
// behavorial package pattern
// 21. Strategy Pattern -- algorithme
type Strategy interface { Execute() string }
type ConcreteStrategyA struct{}
type ConcreteStrategyB struct{}
func (s *ConcreteStrategyA) Execute() string { return "Strategy A" }
func (s *ConcreteStrategyB) Execute() string { return "Strategy B" }
// 22. Template Method Pattern -- squelette
type AbstractClass interface {
        TemplateMethod() string
        PrimitiveOperation1() string
        PrimitiveOperation2() string }
type ConcreteClass struct { PrimitiveOperation2 func() string }
type ConcreteOperation2 struct { //PrimitiveOperation2 func() string }
func (c *ConcreteClass) TemplateMethod() string {
        return c.PrimitiveOperation1() + " " + c.PrimitiveOperation2() }
func (c *ConcreteClass) PrimitiveOperation1() string {
        return "Step 1" }
func (c *ConcreteOperation2) PrimitiveOperation2() string {
        return "Step 2" }
```

Les 23 patterns en Go

// behavorial `package` pattern

```
// 23. Visitor Pattern -- pas de modification de la classe
type Visitor interface {        VisitConcreteElementA(*ConcreteElementA)
                                VisitConcreteElementB(*ConcreteElementB) }
type Element interface { Accept(Visitor) }
type ConcreteElementA struct{}
type ConcreteElementB struct{}
func (e *ConcreteElementA) Accept(v Visitor) { v.VisitConcreteElementA(e) }
func (e *ConcreteElementB) Accept(v Visitor) { v.VisitConcreteElementB(e) }
type ConcreteVisitor struct{}
func (v *ConcreteVisitor) VisitConcreteElementA(e *ConcreteElementA) { fmt.Println("Visited ConcreteElementA") }
func (v *ConcreteVisitor) VisitConcreteElementB(e *ConcreteElementB) { fmt.Println("Visited ConcreteElementB") }
```

Contrôle de connaissances : QCM