Slide 1

Présentation du langage HPF

High Performance Fortran

Fabien COELHO

—

Centre de Recherche en Informatique

École des mines de Paris

—

Renpar'7, Mons, 30 mai 1995

Slide 2

CRI, ENSMP

Centre de Recherche en Informatique
École des mines de Paris

Compilation pour machines parallèles

- parallélisation automatique (projet PIPS)
- analyse statique de programme
  (complexité, effets, dépendances...)
- génération de transferts de données
- compilation de HPF

Slide 3

PIPS

Paralléliseur Interprocédural de Programmes Scientifiques

- paralléliseur expérimental
- source à source Fortran
- financé par la DRET (DGA) depuis 1988
- utilisation d'informations interprocédurales
- gros programme modulaire (100 000 lignes de C)

mémoire partagée → mémoire répartie

Slide 4

Plan

Enjeux
HPF
- historique
- placement des données
- parallélisme
- reste
Compilation
- problèmes
- prototypes
Conclusion

Slide 5

le calcul scientifique aujourd'hui

- baisse des coûts des supercalculateurs
- augmentation des puissances maximales proposées
- adaptation des métiers à ces outils

$\Rightarrow$ **expansion**

du club de golf aux prévisions météorologiques. . .

Slide 6

Teraflop/s ?

conditions d'accès aux **Grand Challenges**

- objectifs du High Performance Computing and Communitions Program du National Science Fundation (NSF)
- programme de recherche US pour le développement technologique US

mais

marché ouvert pour stations performantes (RISC 6000)

Slide 7

Grand Challenges

- climatologie, circulations océaniques, pollution
- turbulences, systèmes de combustion
- génome humain
- chromodynamique quantique
- étude des semiconducteurs et des supraconducteurs
- vision et cognition

Slide 8

not so Grand Challenges

utilisation industrielle des supercalculateurs :

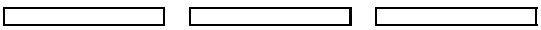
- analyse structurelle d'un embout de club de golf en Titane.
- simulation de l'écoulement dans une cuvette de toilettes pour diminuer consommation d'eau et bruit.
- étude de l'écoulement de savon liquide pour le remplissage de bouteilles.

Slide 9

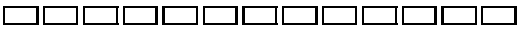
Évolution des matériels

séquentiel

les instructions se suivent. . .



de plus en plus vite. . .

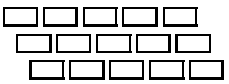


mais les limites approchent. . .

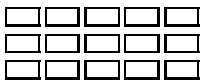
→ parallélisme

Slide 10

Parallélisme monoprocesseur



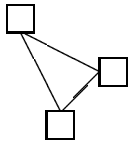
pipeline



superscalaire, VLIW

Parallélisme multiprocesseur

réseau de processeurs



Slide 11

Architectures multiprocesseurs

contrôle :

- SIMD : flot unique (CM2, *Thinking Machine*)
- MIMD : flots multiples (CS, *Meiko*)

mémoire

- SM : partagée (Sparc Server 1000, *Sun*)
- DM : répartie (CM5, *Thinking Machine*)

Slide 12

MIMD-DM

principe **extensible** *(scalable)*

programmation par échange de messages

- programmation complexe
- productivité faible
- portabilité réduite

$\Rightarrow$ coût important

Slide 13

Solutions

- **SVM** *(Shared Virtual Memory)* : *hard, OS*
  - KSR-1, *Kendall Square Research*
  - KOAN, *IRISA, Intel iPSC/2*
- **langages** parallèles : compilateur, *soft*
  - Vienna Fortran, Fortran D, CM-Fortran...
  - Pandore, Kali, *Id Nouveau*, *Crystal*...

portabilité : directives de compilation, standards

Slide 14

l'héritage Fortran

- dusty deck
- habitudes des scientifiques
- standards :

  Fortran 77

  Fortran 90 (structuré, data-parallèle)

  Parallel Computing Fortran (mémoire partagée)

cependant il existe d'autres approches : **Sisal**

Slide 15

Nouvelles Extensions

- basées sur Fortran
- parallélisme de données
- directives de compilation

Standardisation *de facto*

- portabilité pour les utilisateurs
- argument de vente pour les constructeurs

HPF !

Slide 16

High Performance Fortran Forum

- initiative de DEC fin 91
- constructeurs, universitaires, utilisateurs
- pour définir un standard *de facto*
- réunions pleinières sur 92-début 93
- reprise des discussions en janvier 94

→ *High Performance Fortran*

Slide 17

Qui ?

- **Construteurs** : IBM, TMC, Cray, Fujitsu, DEC, Archipel, Convex, Maspar, Meiko, nCube, Sun, HP. . .
- **Universités** : Rice, Yale, Cornell, Stuttgart, Vienna. . .
- **Laboratoires** : LANL, LLNL, ICASE, RIACS. . .
- **Utilisateurs** : Shell, Schlumberger. . .

Slide 18

Europe

- Hans Zima, Barbara Chapman (Vienna U)
- John Merlin (Southampton U)
- Clemens-August Thole (GMD)
- James Cownie (Meiko), Henk Sips (Delft). . .

France

- Jean-Laurent Philippe (Archipel)
- Jean-Eric Waroquier (ACSET, filiale ACRI)

Slide 19

Objectifs du Forum

- créer un nouveau standard Fortran,
- performant pour les Machines Massivement Parallèles,
- MIMD ou SIMD à mémoire non uniforme (NUMA)
- adaptable à de nombreuses architectures.

Slide 20

Buts du Forum

- proposition finale novembre 92
- proche des autres standards (F77, F90)
- simplicité
- interfaçage et ouvertures
- critères de validation
- compilateurs disponibles à court terme

Slide 21

Organisation

- réunions régulières aux US
- travail en sous groupe
  (data distribution, forall, f90, instrinsics, I/O, . . .)
- courrier électronique permanent
- votes à la majorité des organismes assidus !

Slide 22

Base de départ

- **Standards** : Fortran 77, Fortran 90, PC-Fortran.
- **Constructeurs** : CM-Fortran, MPP-Fortran, . . .
- **Recherche** : Fortran D, Vienna Fortran.

Slide 23

Idées retenues

à partir des exemples existants :

- **directives** de compilation en commentaires (pas de modifications sémantiques. . .)
- programme séquentiel + placement des données
- sections de tableau (F90)
- concepts d'**alignement** et **distribution**
- « sémantiques » de boucles parallèles

Slide 24

Vie du Forum

- grandes batailles (Templates or not)
- projets abandonnés (I/O)
- principes oubliés (simples directives dépassées)
- quelques retards et transformations de dernière minute

Slide 25

High Performance Fortran

spécification finale du 3 mai 1993

- un Fortran pour calculateurs parallèles
- parallélisme de données
- basé sur Fortran 90
- directives de placement de données
- constructions parallèles
- fonctions intrinsèques (réductions. . .)
- sous-ensemble officiel

Slide 26

Modèle HPF

efficace et portable

deux facteurs essentiels interviennent pour produire des codes performants :

- le **parallélisme** des calculs à exploiter
- les **communications** qu'ils nécessitent

HPF permet d'ajuster les programmes :

- avec des constructions parallèles
- des directives de placement de données

Slide 27

Directives

les directives, déclaratives ou exécutables, sont placées en commentaires Fortran :

- `!HPF$` *directive*
- `CHPF$` *directive*
- `*HPF$` *directive*

de plus :

- directives sur plusieurs lignes (`&`)
- les blancs y sont significatifs

Slide 28

Modèle de placement de données

Groupe de Guy L. Steele Jr., TMC.

Objectifs

- spécifier le placement des données sur les différents processeurs d'une machine à mémoire non uniforme.
- **utilisateur** : compréhensible, intuitif
- **compilateur** : optimisable
- **applications** : pertinence des placements proposés

Slide 29

Survol

- modèle HPF
- directives de placement (`ALIGN`, `DISTRIBUTE`)
- quelques remarques
- interfaces pour fonctions et procédures
- conclusion sur le placement

Slide 30

Modèle

3 niveaux entre les tableaux de données et les processeurs physiques :

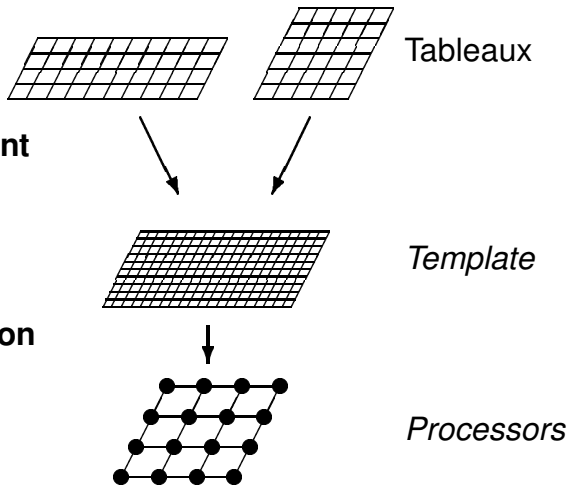
- les *tableaux* sont **alignés** sur des *templates*
- les *templates* sont **distribués** sur des *processors*
- les *processors* sont placés sur les processeurs physiques

seuls les **2** premiers niveaux sont spécifiés

directives : `ALIGN`, `TEMPLATE`, `DISTRIBUTE`, `PROCESSORS`

Slide 31

Modèle de placement HPF



Slide 32

Placement à 2 niveaux

équilibre calculs, communications minimales

Alignement affine (`ALIGN`)

- mise en correspondance des données *(réplication)*
- lié au problème *(localité des données)*

Distribution régulière (`DISTRIBUTE`)

- découpage pour les processeurs `block` `cyclic(n)`
- lié à l'architecture
  (granularité du parallélisme, équilibrage de charge)

Slide 33

Templates

`TEMPLATE` est une directive de déclaration

- les *templates* sont des tableaux de *rien*
- alignement sur un espace plus grand que tous les tableaux du problème
- tableaux utilisés comme templates implicites

```
CHPF$ TEMPLATE T1(100,100), T2(100)
```

Slide 34

Template or not Template

Un long débat a animé le groupe `hpf-distribute` sur l'adoption des templates. Il opposait :

- Hans Zima

  (Vienna Fortran, qui ne comporte pas de *templates*)

- Rice University (Ken Kennedy)

  (Fortran D, donc les *decompositions* sont très proches des *templates*)

L'Amérique a gagnée sur son terrain !

Slide 35

Pour

- plus grand qu'un tableau
- portage plus facile entre machines
- tableaux mieux liés ensemble

Contre

- n'ajoute rien à l'expressivité
- objet de plus à gérer
- désoriente l'utilisateur

Slide 36

Alignement

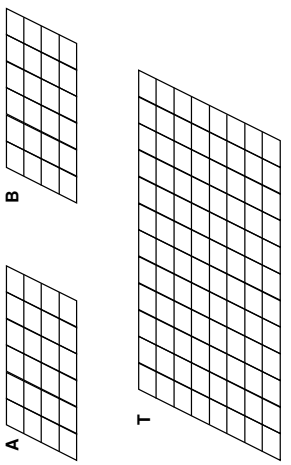
`ALIGN` est une directive statique

- les *tableaux* sont **alignés** sur des *templates* :
- 2 éléments de tableau alignés sur un même élément de template sont supposés se retrouver finalement sur le même processeur.

```
CHPF$ ALIGN A(I...) WITH T(affine(I)...)
```

Slide 37

Objets HPF




```
array A(6,4), B(6,4)
template T(12,8)
processors P(3,2)
```

Slide 38

Contraintes

- fonction affine
  - d'une seule variable muette (`a*I+b`)
  - entière (`a` et `b` entiers)
- une seule utilisation d'une variable muette :
  pas de `ALIGN A(I) WITH T(I,I)...`

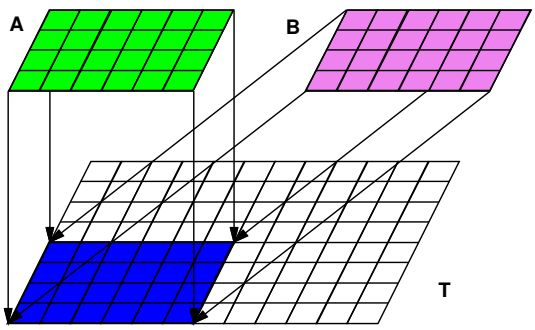
Slide 39

Possibilités de l'Alignement

- correspondance **directe**
- **transposition** d'un tableau par rapport à l'autre
- **duplication** sur une dimension du template
- **écrasement** d'une dimension de tableau
- **éclatement** régulier du tableau
- ...

Slide 40

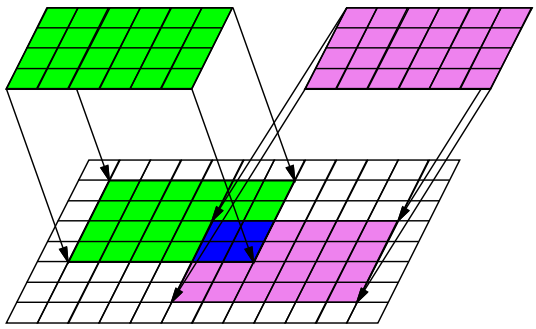
Identité




```
align A(i,j) with T(i,j)
align B with T
```

Slide 41

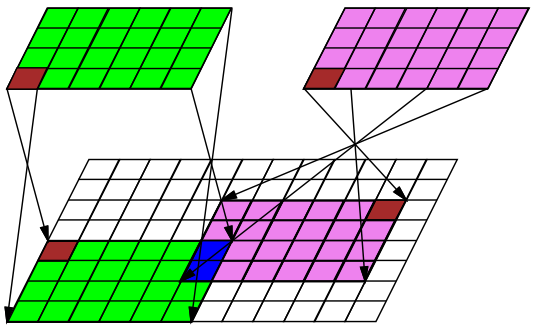
Décalage



```
align A(i,j) with T(i+1,j+3)
align B(:,:) with T(6:11,2:5)
```

Slide 42

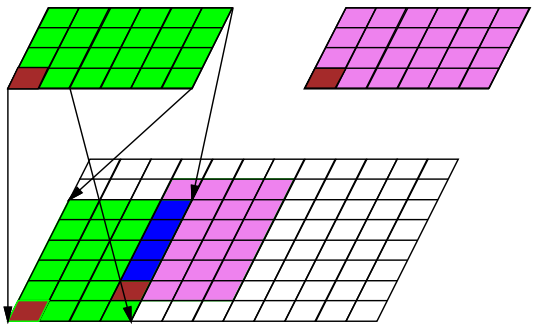
Retournements



```
align A(i,j) with T(i,5-j)
align B(:,:) with T(11:6:-1,6:3:-1)
```

Slide 43

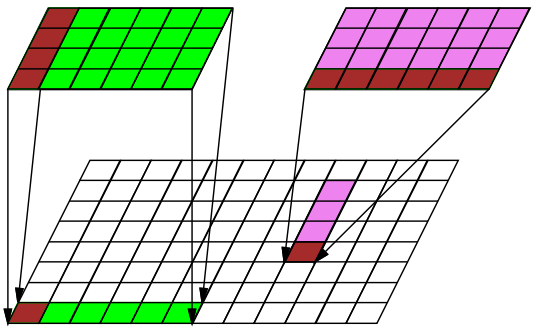
Transposition



```
align A(i,j) with T(j,i)
align B(i,j) with T(j+3,i+1)
```

Slide 44

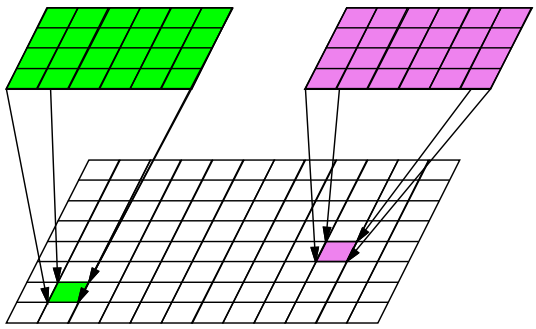
Écrasement



```
align A(i,*) with T(i,1)
align B(*,:) with T(9,4:7)
```

Slide 45

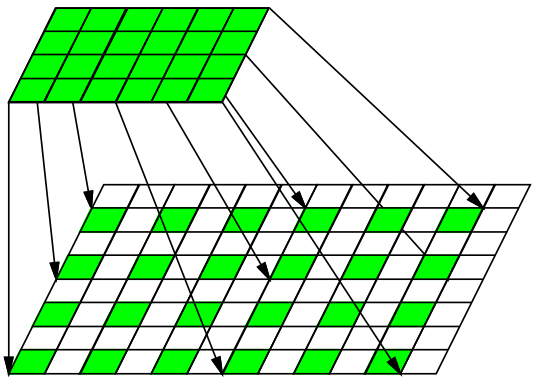
Super écrasement



```
align A(*,*) with T(2,2)
align B(*,*) with T(10,4)
```

Slide 46

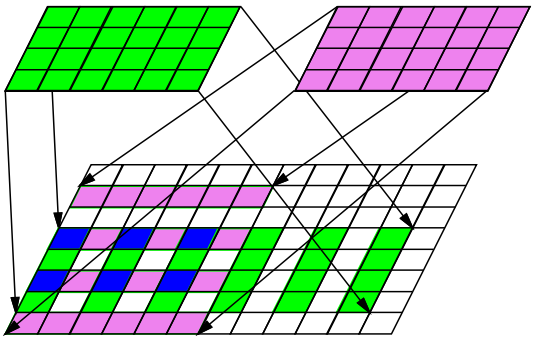
Éclatement



```
align A(i,j) with T(2*i-1,2*j-1)
```

Slide 47

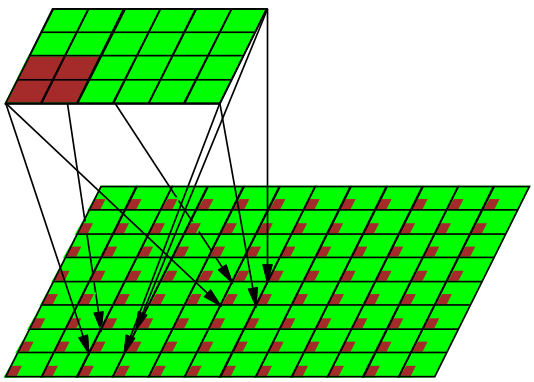
Éclatement. . .



```
align A(i,j) with T(2*i-1,j+1)
align B(i,j) with T(i,2*j-1)
```

Slide 48

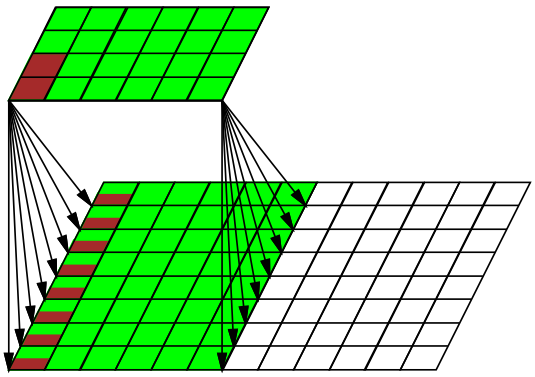
« Réplication »



```
align A(*,*) with T(*,*)
```

Slide 49

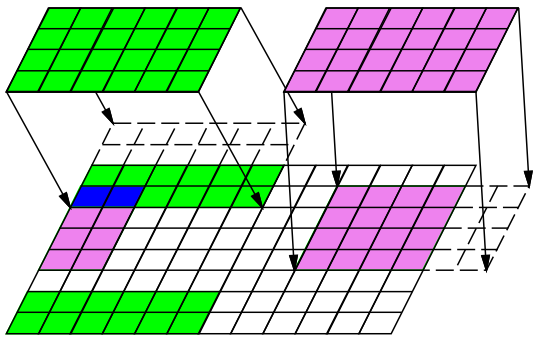
« Réplication » partielle



```
align A(:,*) with T(:,*)
```

Slide 50

Débordements interdis



```
align A(i,j) with T(i,j+6)   ! non
align B(:,:) with T(9:,4:7)  ! non
```

Slide 51

Processors

`PROCESSORS` est une directive de déclaration

- les *processors* sont des processeurs abstraits
- mais garantie de fonctionnement ssi
  processors = processeurs réels

```
CHPF$ PROCESSORS P1, P2(10,10)
```

Slide 52

Distribution

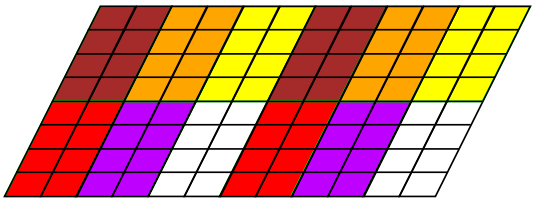
`DISTRIBUTE` est une directive de déclaration

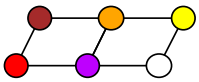
- les *templates* sont distribués sur des *processors*
- on regroupe les éléments de *template* à placer sur un même élément de *processors*

```
CHPF$ DISTRIBUTE T(BLOCK,CYCLIC...) ONTO P1
```

Slide 53

Distribution

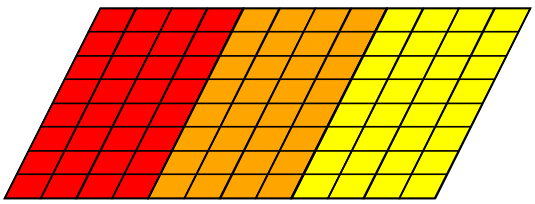




```
distribute T(...,...) onto P
```

Slide 54

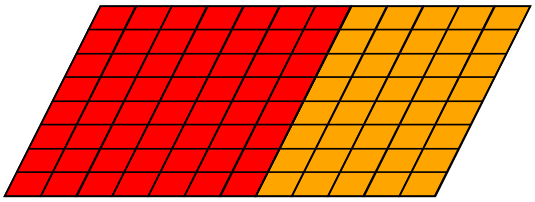
Distribution par `block`



```
distribute T(block,*) onto P
```

Slide 55

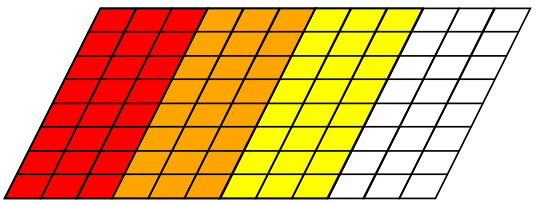
Distribution par `block(n)`



```
distribute T(block(7),*) onto P
```

Slide 56

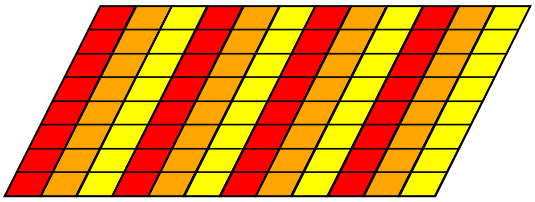
Distribution par `block(n)`



```
distribute T(block(3),*) onto P  ! non
```

Slide 57

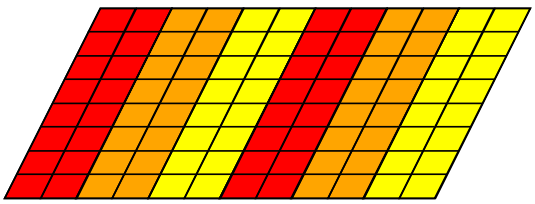
Distribution `cyclic`



```
distribute T(cyclic,*) onto P
```

Slide 58

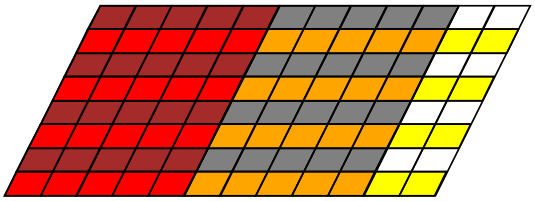
Distribution `cyclic(n)`

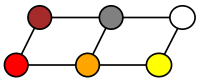


```
distribute T(cyclic(2),*) onto P
```

Slide 59

Distributions multidimensionnelles





```
distribute T(block(5),cyclic(1)) onto P
```

Slide 60

Intérêt des `BLOCK` et `CYCLIC`

- `BLOCK` : répartition régulière pour minimiser les communications dans des calculs à accès voisins
- `BLOCK(n)` : optimisation de la taille des blocks
- `CYCLIC` : répartition de charges lors d'accès non homogènes (matrices triangulaires. . .)
- `CYCLIC(n)` : répartition de charge pour des accès locaux et non homogènes

Slide 61

Autres Directives

- `REALIGN` : exécutable, alignement dynamique
- `REDISTRIBUTE` : exécutable, redistribution dynamique
- `DYNAMIC` : attribut d'un tableau qui peut être réaligné ou redistribué

pas dans Subset HPF

Slide 62

Remarques

- sucre syntaxique (Fortran 90)
- utilisation d'intrinsics dans les directives
- alignements, distributions et déclaration par défaut
- bizarreries permises
- limitation du placement en HPF

Slide 63

Sucre Syntaxique

```
chpf$ processors, dimension(10) :: PROC
chpf$ template, &
chpf$   distribute(block) onto PROC, &
chpf$   dimension(100), &
chpf$   dynamic :: T1,T2
chpf$ dynamic, align (:) with T1(:) :: A, B
```

Slide 64

Utilisation d'intrinsics

- `NUMBER_OF_PROCESSORS()` : nombre de processeurs physiques dont dispose l'application à l'exécution.
- `PROCESSORS_SHAPE()` : dimension de l'arrangement de processeurs physiques.

```
CHPF$ PROCESSORS PROC(NUMBER_OF_PROCESSORS()), &
CHPF$   ARRAYPROC(NUMBER_OF_PROCESSORS()/10,10)
```

Slide 65

Valeurs par défaut

- Alignement à l'identité
- Processors vecteur des processeurs physiques
- Distribution par blocks

Slide 66

Limitations des Placement en HPF

pas de placement très irréguliers :

```
c Vienna Fortran
      ALIGN A(I) WITH B(f(I))
```

- `f` fonction arbitraire
- limite les optimisations. . .

Slide 67

Placement des arguments d'une sous-routine

- attendu particulier (erreur sinon)
- placement à imposer (dynamiquement)
- prendre le placement comme il vient

Slide 68

Placement à imposer

- comme déclarations statiques

```
      subroutine CALCUL(A)
      real A(100,100)
chpf$ distribute A(block,block)
      ...
```

- redistribution en entrée et sortie
- coup à l'exécution

Slide 69

Placement assuré

- assertion au compilateur
- favorise les optimisations
- vrai pour tous les appels

```
chpf$ align A with * T
chpf$ distribute * T(block)
```

Slide 70

Placement à accepter

- pas d'information. . . pas d'optimisations ?
- code à générer pour tout placement
- héritage du *template* initial. . .
- syntaxes

```
      subroutine CALCUL(A)
      real A(100,100)
chpf$ distribute A * onto *
chpf$ inherit A
```

Slide 71

Conclusion, Placement dans HPF

- HPF proche de Fortran D pour le placement
- permet la duplication
- adapté aux tableaux
- limitations pour faciliter les optimisations
- directives = conseils

Slide 72

3 Boucles en HPF

Groupe de Charles Koelbel, Rice U.

- boucle séquentielle `DO`
- boucle *dataparallèle* `FORALL`

```
a(:,:) = a(:,:) + b(:,:)
forall(i=2:n) a(i)=a(i-1)
```

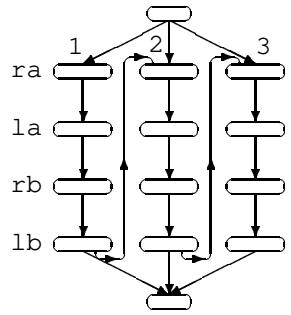
- boucle parallèle, directive `INDEPENDENT`
  itérations indépendantes les unes des autres

```
chpf$ independent
      do 10 i=1,n
 10     a(i) = b(p(i)) ! p is a permutation
```

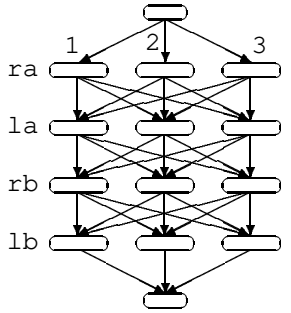
Slide 73

DO et FORALL

```
DO i = 1, 3
  lhsa(i) = rhsa(i)
  lhsb(i) = rhsb(i)
END DO
```



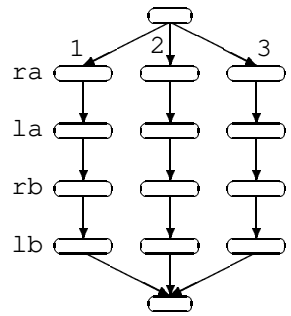

```
FORALL ( i = 1:3 )
  lhsa(i) = rhsa(i)
  lhsb(i) = rhsb(i)
END FORALL
```



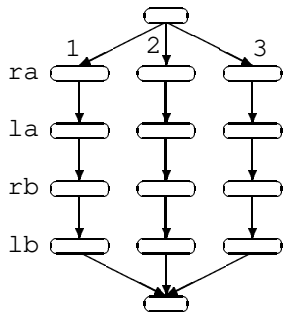
Slide 74

INDEPENDENT

```
!HPF$ INDEPENDENT
DO i = 1, 3
  lhsa(i) = rhsa(i)
  lhsb(i) = rhsb(i)
END DO
```




```
!HPF$ INDEPENDENT
FORALL( i = 1:3 )
  lhsa(i) = rhsa(i)
  lhsb(i) = rhsb(i)
END DO
```



Slide 75

FORALL

boucles dataparallèles à **3** saveurs :

- **implicite** : sections de tableaux (Fortran 90)

```
A = B + C          ! matrices
D(1:20) = D(2:21)  ! shift
```

- généralisation, `FORALL` **statement**
- extension, `FORALL` **construct**

Slide 76

FORALL statement

le `FORALL` statement généralise les sections de tableaux :

- sémantique dataparallèle (SIMD)
- une seule affectation
- masquage
- appel à des procédures `PURE` (intrinsics...)

```
FORALL(i=1:n, ..., mask) affectation
```

Slide 77

Exemples de FORALL statements

```
FORALL (i=1:n, j=1:n) x(i,j) = y(j,i)

FORALL (i=1:n, y(i).NE.0.0)
  x(i) = 1.0 / y(i)

FORALL (i=2:n-1)
  x(i) = 0.5*x(i) + 0.25*(x(i-1)+x(i+1))

FORALL (i=1:n) x(i) = SQRT(y(i))
```

Slide 78

FORALL construct

extensions du FORALL statement pour :

- plusieurs affectations
- corps peut contenir un WHERE...

```
FORALL (i=1:n, ... , mask)
  WHERE ou FORALL ou affectations...
END FORALL
```

Slide 79

Exemples de `FORALL` constructs

initialisation d'une matrice carrée à l'identité :

```
FORALL(i=1:n, j=1:n)
  WHERE (i.EQ.j)
    a(i,j) = 1.0  ! diagonale
  ELSEWHERE
    a(i,j) = 0.0  ! reste
  END WHERE
END FORALL
```

Slide 80

affectations multiples, avec appel à des intrinsics :

```
FORALL(i=1:n, j=1:m)
  a(i,j) = 0.0
  b(i,j) = 1.0
  c(i,j) = 1.0 / (i+j+1)  !
  d(i,j) = SQRT(c(i,j))   ! dependence
END FORALL
```

Slide 81

Attribut `PURE`

fonctions sans effets de bords :

- E/S, `STOP`, common et paramètres
- fonctions intrinsèques

  $\rightarrow$ fonctions pures, boucles parallèles

  2 déclarations : interface et fonction

nombreuses contraintes : contrôle $>$ flexibilité...

Slide 82

directive `INDEPENDENT`

cette directive désigne les boucles parallèles :

- parfaitement emboîtées
- itérations indépendantes (entremélée...)
- variables privées (propres à chaque itération)

```
CHPF$  INDEPENDENT(i,...), NEW(var-list)
       DO i=1,n ... / FORALL (i=1:n) ...
```

Slide 83

Exemples de la directive INDEPENDENT

```
CHPF$  INDEPENDENT
       DO i=1,100
         A(P(i)) = B(i)  ! P permutation
       END DO

CHPF$  INDEPENDENT
       FORALL (i=1:n)
         A(P(i)) = B(i)  ! idem
       END DO
```

Slide 84

multiplication de deux matrices carrées :

```
CHPF$  INDEPENDENT(i,j), NEW(TEMP)
       DO 10 i=1,n
         DO 10 j=1,n
           TEMP = 0.0
           DO 20 k=1,n
 20          TEMP = TEMP + A(i,k)*B(k,j)
           C(i,j) = TEMP
 10    CONTINUE
```

Slide 85

Conclusion boucles parallèles

- dépassement des simples directives
- pas de `ON`
- sémantique du `FORALL` inhabituelle
- Subset : pas de `FORALL` construct

Réductions

- Fortran 90 : `SUM MAXVAL...`
- HPF : `MAXLOC...`

Slide 86

Reste

- **E-S**, Bob Knighten (Intel)
- **Fortran 90**, Mary Zosel (LLNL)
- **intrinsics**, Rob Schreiber (RIACS)
- **extrinsics**, Marc Snir (IBM)
- **subset**, Mary Zosel, (LLNL), David Loveman (DEC)
- **benchmark**, Jeoffrey Fox, ?

Slide 87

Entrées-Sorties

Rien

Slide 88

Fortran 90

Tout, `ISO IEC 1539 : 1991 (E)`

Sauf quelques restrictions concernant les

« Associations de Stockage »

des tableaux répartis.

Slide 89

Common, Equivalence, Sequence

- F77 : données `common` partagées entre modules

  ```
  common /foo/ a(10,10), b(100)
  ```

  - renommage :

    ```
    common /foo/ new_a(10,10), new_b(100)
    ```

  - déformation :

    ```
    common /foo/ a(100), b(20,5)
    ```

  - découpage :

    ```
    common /foo/ c(50), d(100), e(50)
    ```

  - couverture :

    ```
    common /foo/ cover(200)
    ```

Slide 90

- compatibilité placement ?
  - réarrangements trop coûteux
  - non garantie → restrictions
  - 2 directives pour le compilateur

    ```
    chpf$ sequence /foo/
    chpf$ non sequence /bar/
    ```

  - `common` séquentiel (non distribuable)
  - `common` non séquentiel (distribuable)

Slide 91

Equivalence

superposition de variables

```
  common /bar/ a(10), b(10), c(2,5), d(10)
  real e(10), f(20), o(40)
  equivalence(a(1),e(1)) ! renomme
  equivalence(f(1),b(1)) ! regroupe...
  equivalence(o(1),a(1)) ! couverture
! distribute o(cyclic(2))
```

– une couverture 1D peut être distribuée...

Slide 92

Fonctions intrinsèques

– enquête sur le **système**

– enquête sur le **placement**

– nouvelles fonctions

– `HPF_LIBRARY`

Slide 93

Système

- `NUMBER_OF_PROCESSORS([DIM])`
- `PROCESSORS_SHAPE()`

  retourne un vecteur...

Placement

- `HPF_ALIGNMENT()`
- `HPF_TEMPLATE()`
- `HPF_DISTRIBUTION()`

Slide 94

Fonctions

- de Fortran 90 : `SUM, MATMUL`
- élémentaire `ILEN` *(integer length)*
- extension de `MAXLOC` et `MINLOC`

  `DIM` optionel, comme `MAXVAL` et `MINVAL`

  fonction de localisation

Slide 95

Réductions

- Fortran 90 : masquables, par dimensions
  - `ALL` : et logique
  - `ANY` : ou logique
  - `COUNT` : nombre de V
  - `MAXVAL`, `MINVAL`
  - `PRODUCT`, `SUM` : (types...)

Slide 96

- HPF :
  - `PARITY` : ou exclusif
  - `IALL`, `IANY`, `IPARITY`
    versions bit à bit sur entiers.
- Versions parallèles
  - tableaux distribués
    dimensions, types de distribution
  - exploitation de la machine
  - gestion du masque

Slide 97

XXX_SCATTER

réductions généralisées...

- tableau source
- base de départ (conforme au résultat)
- tableaux des indexes contribuants...
  autant que de dimensions de `B`
  conforme à la source
  index dans le résultat
- masquage facultatif

Slide 98

```
A   = [ 10 20 30 40 -10 ]

IDX = [  3  2  2  1   1 ]

B   = [ 1  2  3  4 ]

SUM_SCATTER(A, B, IDX, MASK=(A.GT.0))

->  [ 41 52 13  4 ]
```

Slide 99

XXX_PREFIX XXX_SUFFIX

- opérations cumulées
- tableau linéarisé...
- propagation avant et arrière
- dimension, masquage, segment, exclusive

  `DIM MASK SEGMENT EXCLUSIVE`

Slide 100

Exemple SUM

$$\texttt{A} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}, \texttt{Z} = \begin{vmatrix} \texttt{T} & \texttt{T} & \texttt{F} \\ \texttt{T} & \texttt{F} & \texttt{F} \\ \texttt{T} & \texttt{T} & \texttt{F} \end{vmatrix}$$

$$\texttt{SUM_PREFIX(A)} = \begin{pmatrix} 1 & 14 & 30 \\ 5 & 19 & 36 \\ 12 & 27 & 45 \end{pmatrix}$$

$$\texttt{SUM_SUFFIX(A)} = \begin{pmatrix} 45 & 33 & 18 \\ 44 & 31 & 15 \\ 40 & 26 & 9 \end{pmatrix}$$

Slide 101

SUM_PREFIX(A, DIM=2) =
$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 6 \\ 4 & 9 & 15 \\ 7 & 15 & 24 \end{pmatrix}$$

SUM_PREFIX(A, MASK=Z) =
$$\begin{pmatrix} 1 & 14 & 22 \\ 5 & 14 & 22 \\ 12 & 22 & 22 \end{pmatrix}$$

SUM_PREFIX(A, SEGMENT=Z) =
$$\begin{pmatrix} 1 & 14 & 3 \\ 5 & 5 & 9 \\ 12 & 8 & 18 \end{pmatrix}$$

Slide 102

SUM_PREFIX(A, DIM=2, EXCLUSIVE=.TRUE.) =
$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 3 \\ 0 & 4 & 9 \\ 0 & 7 & 15 \end{pmatrix}$$

SUM_PREFIX(A, DIM=2, SEGMENT=Z, MASK=A.GT.4) =
$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 11 \\ 7 & 15 & 9 \end{pmatrix}$$

Slide 103

HPF_LIBRARY

- réductions ajoutées
- autres fonctions élémentaires :
  - `LEADZ` : *leading zeros*
  - `POPCNT` : nombre de bits à 1
  - `POPPAR` : parité d'un entier
- tri
  - `GRADE_DOWN` : permutation ascendante
  - `GRADE_UP` : descendante

Slide 104

Exemple GRADE_UP

$$\texttt{A} = \begin{pmatrix} -1 & 5 & -3 & 4 \\ 2 & 1 & 0 & 9 \end{pmatrix}$$

$$\texttt{GRADE_UP(A)} = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1 & 1 \\ 2 & 3 \\ 2 & 2 \\ 2 & 1 \\ 1 & 4 \\ 1 & 2 \\ 2 & 4 \end{pmatrix}$$

Slide 105

Extrinsics Procedures

possibilité d'interfaçage avec

- d'autres langages (C. . .)
- d'autres styles de programmation (messages. . .)
- librairies optimisées. . .

Slide 106

syntaxe, définition de la vue de la procédure pour HPF :

```
INTERFACE
  EXTRINSIC (HPF_LOCAL) SUBROUTINE FOO(BAR)
  REAL BAR(:)
  !HPF$ DISTRIBUTE BAR(BLOCK)
  END SUBROUTINE
END INTERFACE
```

avec `HPF_LOCAL` : type de langage concerné

Slide 107

Subset

HPF, c'est :

- Fortran 90 avec quelques restrictions
- directives de placement et de parallélisme
- 2 foralls
- instrinsics, librairie, etc.

Subset HPF officiel : disponibilité des compilateurs

Slide 108

le **Subset HPF**, c'est Fortran 77 (restreint) et :

- de Fortran 90 :
  - `DO WHILE`, qq intrinsics, réductions, interfaces
  - sections de tableaux, `WHERE`...
  - `ALLOCATE`...
- **HPF** sauf
  - directives **dynamiques**
  - `FORALL` construct
  - `HPF_LIBRARY`, extrinsics...

Slide 109

Benchmark HPF

HPF/Fortran-D Benchmarking Suite, Release 2.01

- tests des compilateurs?
  - **validation** des compilateurs
  - **évaluation** des performances
- pour l'instant, ensemble de programmes
  - Fortran 77, Fortran 77 + messages
  - Fortran 90, Fortran 90 parallel, Fortran 90-D

Slide 110

produit de matrices

```
      REAL,DIMENSION(100,100) :: A,B,C
CHPF$ ALIGN A(I,*) WITH C(I,*)
CHPF$ ALIGN B(*,J) WITH C(*,J)
CHPF$ INDEPENDENT(i,j), NEW(temp)
      DO 10 i=1,100
        DO 10 j=1,100
          temp = 0.0
          DO 20 k=1,100
 20         temp = temp + A(i,k)*B(k,j)
          C(i,j) = temp
 10   CONTINUE
```

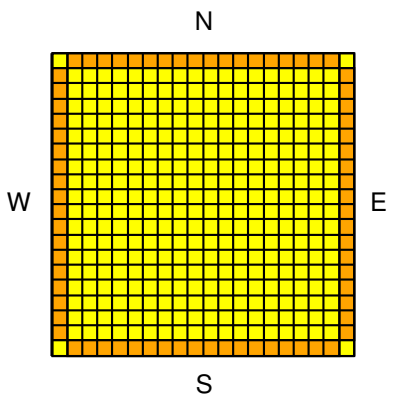
Slide 111

Thermique, déclarations

```
C équilibre thermique d'une plaque homogène,
c   avec conditions aux limites.
      PROGRAM THERMIQUE
      PARAMETER(N=100)
Champs de temperature TC courante, TS suivante
      REAL, DIMENSION(N,N) :: TS,TC
Conditions aux limites sur les 4 bords
C N = Nord ; S = Sud ; W = Ouest ; E = Est
      REAL, DIMENSION(2:N-1) :: N,S,W,E
```

Slide 112

Vue de la plaque



Slide 113

directives

```
C alignement des vecteurs N, S, W, E
CHPF$ ALIGN N(:) WITH TC(1,2:)
CHPF$ ALIGN S(:) WITH TC(N,2:)
CHPF$ ALIGN W(:) WITH TC(2:,1)
CHPF$ ALIGN E(:) WITH TC(2:,N)
C alignement du second tableau
CHPF$ ALIGN TS(:,:) WITH TC(:,:)
C distribution sur une grille
CHPF$ DISTRIBUTE TC(BLOCK,BLOCK)
```

Slide 114

initialisations

```
C Entree des donnees
      INPUT N(:),S(:),W(:),E(:)
C initialisation TC
      TC(:,:)  = 300
      TC(1,2:) = N(:)
      TC(N,2:) = S(:)
      TC(2:,1) = W(:)
      TC(2:,N) = E(:)
```

Slide 115

algorithme

```
C initialisation TS, premiere iteration
      CALL ITERE(TS,TC)
C iterations jusque convergence
      DO WHILE (MAXVAL(ABS(TS-TC)).GT.epsilon)
          TC(:,:) = TS(:,:)
          CALL ITERE(TS,TC)
      END DO
C sortie du resultat
      PRINT *, TS(:,:)
      END PROGRAM
```

Slide 116

itération

```
Calcul d'une iteration
      SUBROUTINE ITERE(T2,T1)
      REAL, DIMENSION(N,N) :: T1,T2
CHPF$ DISTRIBUTE *(BLOCK,BLOCK) :: T1,T2
      T2(2:N-1,2:N-1) =                        &
          0.25 * (T1(1:,2:) + T1(2:,1:) +      &
                  T1(3:,2:) + T1(2:,3:))
      END
```

Slide 117

Adéquation de HPF

- accès locaux, distribution par `BLOCK`.
- sections de tableau (F90)
- `WHILE...`
- bonne adaptation des directives au problème
- algorithme sans particularités aux bords...
- compilation ?

Slide 118

Situation actuelle

- **nombreuses annonces** : DEC, Intel, MasPar, TMC, Meiko, IBM, Fujitsu, HP, Cray, Lahey, Archipel...
- **HPC** en cours de spécification
- second Forum pour HPF 2 depuis janvier 94
  - I/O
  - placement irréguliers
  - parallélisme de tâche

Slide 119

HPF-2

- réunions commencées dès 1994
- décisions reportées en 1995. . . puis 1996
- document de travail et de réflexion
  HPF-2 Scope of Activities and Motivating Applications
- s'éloigne parfois du langage

Slide 120

Contenu

- extension du placement
- parallélisme tâche
- entrées-sorties
- aide aux communications. . .
- environnement du langage
- kernel HPF. . .

Slide 121

Extension du placement

- irrégulier (fonctions, tableaux...)
- structures dynamiques (arbres)
- types dérivés de F90
  peuvent contenir des tablaux
- sous-ensemble de processeurs
  sections`...P(1:N), ONTO P(1:5)`
- vues de processeurs
- ...

Slide 122

Parallélisme de tâche, Contrôle des calculs

- distribution des itérations `EXECUTE_ON`
  → *contrôle répartition des calculs*
- réductions dans `INDEPENDENT`
  `REDUCTION`
- sections critiques
  `CRITICAL`
- `DOACROSS` (dépendances gérées par synchro)

Slide 123

- processus multiples → communications. . .
  - passage de messages
  - canaux/fichiers virtuels
  - données partagées
- sections parallèles

```
!hpf$ begin parallel
      call F1
      ...
      call Fn
!hpf$ end parallel
```

Slide 124

Entrées-Sorties

problème difficile, lié au matériel

- transparence. . . (rien ?)
- distribution de fichiers. . .
- *Out-of-core*
- *checkpointing/restart*
- E/S asynchrones

Slide 125

Aide aux communications

- communications régulières
  $\rightarrow$ décallages, réalignement...
- réutilisation d'un schéma de communications
- début de communications avancés
- accès locaux garantis ($\neq$ `INDEPENDENT`)
- vues d'un tableau...

Slide 126

Environnement

- quelques propositions dans HPF-1
- interactions entre langages et outils...

Slide 127

kernel HPF

HPF simplifié

- assersion du kernel
- placement statique
- syntaxe simplifiée (?)
- alignements directs
  ni duplication, ni écrasement
- pas d'association *à la Fortran*

Slide 128

kernel HPF

- HPF-1 et *subset* HPF
  temps de développements des compilateurs
  estimés par le Forum
- HPF-2 et *kernel* HPF. . .
  efficacité des compilateurs
  indique l'état de l'art. . .

Slide 129

HPF-2

- propositions : effet raton-laveur. . .
- kernel inutilement réduit
- analyse d'applications

Slide 130

Références

- High Performance Fortran Language Specification
  3 mai 93
- Quel Fortran pour la Programmation Massivement Parallèle?
  Alexis Platonoff, note CEA 2713, novembre 1992

Slide 131

Langage et compilation

- présentation d'un langage :

  utilisateur : *syntaxe, expressivité, compacité, sémantique*

  → SML...
- utilisateur exigeant : *portabilité, réutilisabilité, performance*

  → standard, C++, Fortran 77, HPF ?
- compilateur : *simplicité, optimisabilité, taille*

Slide 132

Compilation de HPF
Problèmes

- Fortran 90
- sémantique étendue du placement
- énumérations des itérations locales
- génération des messages
- appels de procédures
- entrées sorties
- fonctions intrinsèques

Slide 133

Fortran 90

ISO/IEC 1539 : 1991 (E)

- 370 pages de spécifications
- contient Fortran 77
- beaucoup de sucre syntaxique
- pointeurs, structures, modules, . . .

trop gros : rejet du DoD

Slide 134

Sémantique du placement

- définitions dynamiques
- gestion des templates
- alignements non unitaires
- distributions cycliques généralisées `cyclic(n)`
- réplication
- réalignements et redistributions dynamique
  dans le programme, aux appels de procédures

Slide 135

Problèmes liés au placement

- allocation des tableaux locaux aux processeurs
  minimisation de l'espace mémoire
  accès efficace
- irrégularités permises par le langage
  alignements et distributions
- connaissance à la compilation. . .
  paramètres → à l'exécution

Slide 136

Exemples d'irrégularités

```
      real a(10)
chpf$ template t(20)
chpf$ align a(i) with t(2*i)
chpf$ distribute t(cyclic(3))
```

groupements par 1 ou 2 éléments

```
      real a(10)
chpf$ template t(40)
chpf$ align a(i) with t(4*i)
chpf$ processors p(4)
chpf$ distribute t(cyclic)
```

`a` est entièrement sur `p(4)`

Slide 137

Énumération des itérations locales

- plusieurs « sémantiques », `forall` et `independent`
- enumérations des itérations locales
  owner computes rule sur tableaux répartis
- gardes sur les processeurs non concernés
- efficacité :
  cache : lien avec l'allocation
  minimisation du surcoût de contrôle

Slide 138

Génération des communications

- difficulté : placement + énumération
- efficacité des messages générés
- gestion des temporaires
  allocation, accès, gardes réduites
- exploitation de la machine
  voisinage, broadcast, . . .

Slide 139

Passage de paramètres répartis

- redistributions à l'entrée
- passage de sections de tableau !
  répartition non HPF des sous-tableaux
- appels de contextes différents
  plusieurs compilations ?
  copies dans des temporaires ?

Slide 140

Entrées Sorties

- loin du séquentiel
- données réparties sur les processeurs
- utilisation de la machine
  entrées sorties parallèles
- être capable de recharger les données
  description du stockage

→ HPF2

Slide 141

Fonctions intrinsèques

- Fortran 90
- extensions de HPF
  réductions, requêtes systèmes, etc.
- très nombreuses
- très paramétrables (types, tailles, dimensions)

Slide 142

Que sait-on faire ?

HPF au delà de l'état de l'art?

- alignements simples (décalages)
- distributions par `block`
- recouvrements au voisinage (Gerndt)
- motifs réguliers de communications
- résolution dynamique des accès aux variables réparties
- cas irréguliers : `PARTI`

Slide 143

Que saura-t-on faire ?

Optimisme

- équations linéaires :
  alignement, distribution, accès
- inéquations linéaires
  déclarations, bornes de boucles

→ résolution d'équations et polyèdres

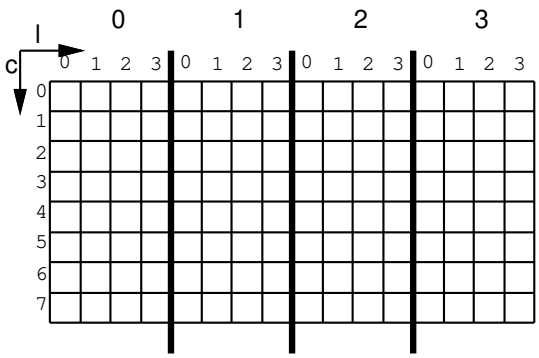
Slide 144

Exemple *Chatterjee et al.*

```
      array A(0:42)
chpf$ template T(0:127)
chpf$ processors P(0:3)
chpf$ align A(i) with T(3*i)
chpf$ distribute T(cyclic(4)) onto P
      A(0:42:3)
```

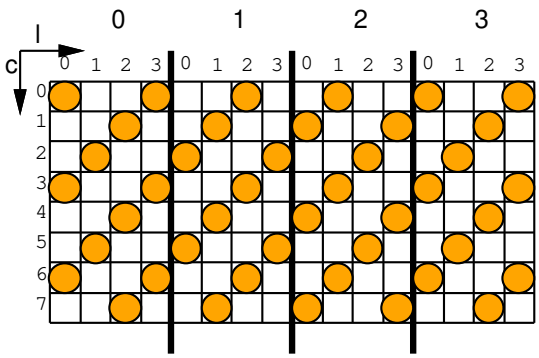
Slide 145

Template `T(0:127)`



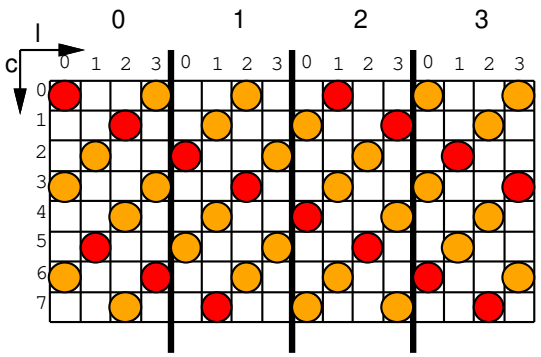
Slide 146

Tableau `A(0:42)`



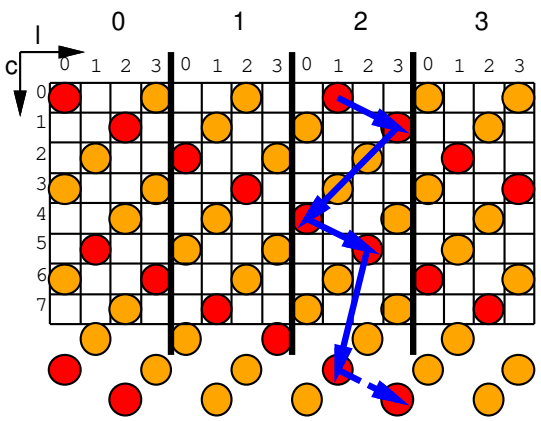
Slide 147

Accès `A(0:42:3)`



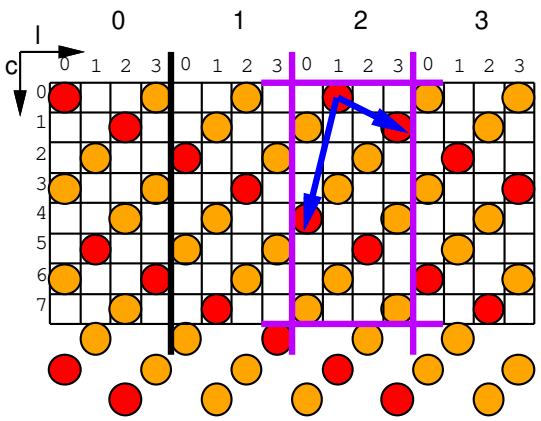
Slide 148

Parcours par automate



Slide 149

Approche Z-module et polyèdre



Slide 150

Mise en équation

- variables des objets HPF

  $\mathtt{A}(a)$, $\mathtt{T}(t)$, $\mathtt{P}(p)$
- itérations i
- numéro de bloc l
- numéro de cycle c

Slide 151

Déclarations

- `A(0:42)` : $0 \leq a \leq 42$
- `T(0:127)` : $0 \leq t \leq 127$
- `P(0:3)` : $0 \leq p \leq 3$

Placement

- Align i with 4*i : $t = 4a$
- Dist cyclic(4) : $t = 16c + 4p + l,\ 0 \leq l \leq 3$

Itérations

- `A(0:42:3)` : $a = 3i,\ 0 \leq i \leq 14$

Slide 152

Linéarité des équations

- équations linéaires $\Rightarrow$ Z-module
- inéquations linéaires $\Rightarrow$ polyèdre
- cadre mathématique simple : algèbre linéaire
- intègre le cas multidimensionnel
- reste simplement à résoudre !

Slide 153

Problèmes à résoudre

- énumération des itérations locales
- caractérisation des données à communiquer
- allocation mémoire des tableaux
- allocation des temporaires
- codes de communication
- codes de calculs

Slide 154

Techniques proposées

pour le cas général

- automate d'état fini (FSM)
  - *Chatterjee et al.* (RIACS, NASA)
  - *Kennedy et al.* (RICE U.)
- résolution *ad hoc*
  - *Paalvast et al.* (Delft)
  - *Gupta et al.* (Ohio)
  - *Stichnoth et al.* (CMU)
  - *Zima et al.* (Vienna)

Slide 155

- cadre linéaire
  - *Hermite, Smith, Fourier*. . . (XIX siècle)
  - *Ancourt et al.* (CRI, ENSMP)
  - *André et al.* (IRISA)
  - *Amarasinghe et al.* (Stanford)

Slide 156

Remarques

- lien énumération-allocation (caches)
- sections de tableaux. . .
- peu d'implementations. . .

Slide 157

Prototypes de compilateur HPF

Ronan KERYELL à Supercomputing'93

- outils de recherche
  Fortran D (Rice), VFCS (Vienna), hpfc (CRI)
- outils commerciaux et *freeware*
  Adaptor (GMD), xhpf (APR),
  pour ferme d'AXP (DEC),
  Portland group, VAST-HPF (Pacific Sierra)

Pas beaucoup de vrai HPF !

Slide 158

DEC pour ferme d'AXP

- compilateur difficile à faire, marges faibles
- équipe de 6 personnes
- pas de code intermédiaire généré

Portland group

- associé à Syracuse U., équipe de 4 personnes
- pas de passage de paramètres
  `cyclic` et pas $\neq 1 \rightarrow$ résolution dynamique
- génération de PVM 3

Slide 159

Fortran D (Rice)

- non HPF
- informations statiques et parallélisation
- distributions par block sur une dimension
- vectorisation des messages
- pas d'entrées sorties, pas de résolution dynamique

Vienna Fortran Compiling System

- non HPF, très général $\Rightarrow$ compilation difficile
- interprocédural, interactif

Slide 160

xHPF (Applied Parallel Research)

- non HPF, basé sur Forge 90
- équipe de 5 personnes
- pas de `processors`, une dimention distribuée
- allocation non économe
- extensions `on`, `shrunkcyclic`

VAST-HPF (Pacific Sierra Research)

- simple annonce

Slide 161

Adaptor (GMD)

- non HPF
- directives de CM-Fortran et HPF
- produit distribué gratuitement !
- outil pragmatique et efficace

Slide 162

`hpfc` (CRI)

- Fortran 77 + `independent` + directives statiques
- $\rightarrow$ Fortran 77 + PVM 3
- résolution dynamique
- analyse des recouvrements
- vectorisation des messages
- réductions en parallèles
- Entrées/Sorties

Slide 163

HPF aujourd'hui

- un langage
- quelques compilateurs limités. . .
- types d'applications
- de la recherche
- utilisateurs sceptiques

Slide 164

Le calcul scientifique aujourd'hui

- TMC, KSR, Cray R, Archipel, ACRI, . . .
- stations et *clusters* de stations
- petit vectoriel Cray
- machines à mémoire partagée
- utilisateurs (acheteurs) sceptiques

Slide 165

Conclusion

- machines MIMD-DM extensibles
- langage HPF prometteur
  Fortran, standard, data-parallèle
  large classe d'applications concernées
- compilation difficile : taille, sémantique
- efficace si optimisé. . .
- recherche très active

Slide 166

Pour plus d'informations

- Koelbel, Loveman, Schreiber, Steele, Zosel
  The High Performance Fortran Handbook
  MIT Press, 1994
- HPF Forum
  High Performance Fortran Language Specification
  Version 1.1, Nov. 1994

Slide 167

- Forum sur le Web :
  `http://www.erc.msstate.edu/hpff/home.html`
- Tutoriel HPF, Tom Haupt :
  `http://www.npac.syr.edu/hpfa/...`
- Adaptor 2 :
  `http://www.gmd.de/SCAI/lab/adaptor/...`