



HAL
open science

Les talons d'Achille de la programmation par objets

Roland Ducournau

► **To cite this version:**

Roland Ducournau. Les talons d'Achille de la programmation par objets. Journées du GDR-GPL, Jun 2014, Paris, France. lirmm-01383883

HAL Id: lirmm-01383883

<https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-01383883>

Submitted on 19 Oct 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les talons d'Achille de la programmation par objets

Roland Ducournau

LIRMM – Université de Montpellier & CNRS

avec J. Privat (UQAM), F. Morandat (LaBRI),
O. Sallenave (IBM TJ Watson), G. Dupéron, J. Pagès, ...

GDR GPL, Paris – juin 2014

Motivation : la bonne nouvelle

Les objets

Devenus universels pour la programmation, la modélisation, etc.

Théorie et technologie matures

- + 2000 ans après Aristote,
- \approx un demi-siècle depuis Simula (1967),
- \approx 30 ans pour les premiers langages *mainstream* (Eiffel, C++)
- \approx 20 ans pour Java, 10-15 ans pour C#, Java 1.5 et Scala

👉 La plus grande réussite du dernier millénaire !

Motivation : la bonne nouvelle

Les objets

Devenus universels pour la programmation, la modélisation, etc.

Théorie et technologie matures

- + 2000 ans après Aristote,
- \approx un demi-siècle depuis Simula (1967),
- \approx 30 ans pour les premiers langages *mainstream* (Eiffel, C++)
- \approx 20 ans pour Java, 10-15 ans pour C#, Java 1.5 et Scala

👉 La plus grande réussite du dernier millénaire !

Motivation : la bonne nouvelle

Les objets

Devenus universels pour la programmation, la modélisation, etc.

Théorie et technologie matures

- + 2000 ans après Aristote,
- \approx un demi-siècle depuis Simula (1967),
- \approx 30 ans pour les premiers langages *mainstream* (Eiffel, C++)
- \approx 20 ans pour Java, 10-15 ans pour C#, Java 1.5 et Scala

👉 La plus grande réussite du dernier millénaire !

Motivation : la mauvaise nouvelle



Le plus grand échec du dernier millénaire ?

Les langages de programmation par objets !

- Chacun séparément !
- Tous ensemble !

mais il y a un espoir de synthèse ...

- une pépite dans chacun !

Motivation : la mauvaise nouvelle



Le plus grand échec du dernier millénaire ?

Les langages de programmation par objets !

- Chacun séparément !
- Tous ensemble !

mais il y a un espoir de synthèse ...

- une pépite dans chacun !

Motivation : la mauvaise nouvelle



Le plus grand échec du dernier millénaire ?

Les langages de programmation par objets !

- Chacun séparément !
- Tous ensemble !

mais il y a un espoir de synthèse ...

- une pépite dans chacun !

Motivation Platonicienne



☞ Le langage objet idéal existe !

Des arguments

- ontologiques (méta-modèle objet)
 - de nécessité (rasoir d'Occam)
 - formels (théorie des types, des ensembles, logique)
 - empiriques
 - de bon sens
 - d'usage
- ... et un peu de mauvaise foi s'il le faut

Motivation Platonicienne



☞ Le langage objet idéal existe !

Des arguments

- ontologiques (méta-modèle objet)
- de nécessité (rasoir d'Occam)
- formels (théorie des types, des ensembles, logique)
- empiriques
- de bon sens
- d'usage

... et un peu de mauvaise foi s'il le faut

Motivation Platonicienne



☞ Le langage objet idéal existe !

Des arguments

- ontologiques (méta-modèle objet)
 - de nécessité (rasoir d'Occam)
 - formels (théorie des types, des ensembles, logique)
 - empiriques
 - de bon sens
 - d'usage
- ... et un peu de mauvaise foi s'il le faut

Plan

- 1 Les spécifications des langages
- 2 L'implémentation des objets
- 3 Le cas Scala
- 4 Conclusions et perspectives



Plan

1 Les spécifications des langages

- Surcharge statique
- Héritage multiple
- Généricité

2 L'implémentation des objets

3 Le cas Scala

4 Conclusions et perspectives



La surcharge statique (1/3)

*Mal nommer les choses,
c'est ajouter au malheur du monde*
(Albert Camus)

Principe

- nom dénotant des entités différentes dans un contexte commun
- désambiguïsation par les types statiques du contexte
- origines : langages pré-objet comme PL/1 et C

La surcharge statique (1/3)

pure2people

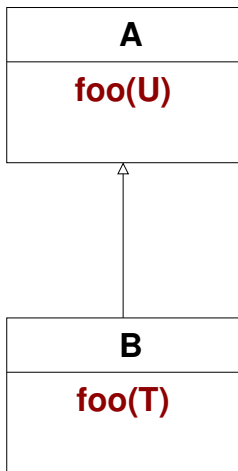


*Mal **schtroumpfer** les **schtroumpfs**,
c'est ajouter au malheur du monde*
(Albert Camus)

Principe

- nom dénotant des entités différentes dans un contexte commun
- **désambiguïsation par les types statiques** du contexte
- origines : langages pré-objet comme PL/1 et C

La surcharge statique (2/3)

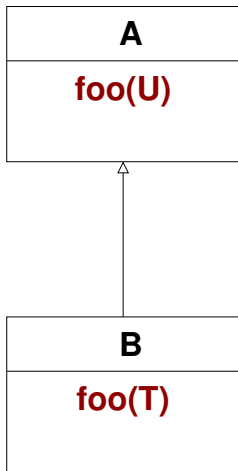


$U <: T$ $x : B$
 $y : U$

	<code>x.foo(y)</code>
C++	
Java 1.4	
Java 1.5	
Scala	
C#	



La surcharge statique (2/3)

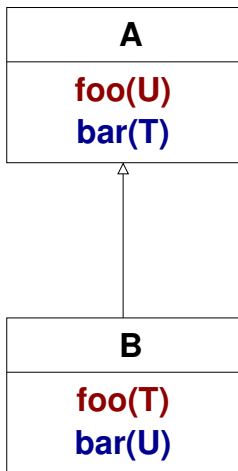


$U <: T$ $x : B$
 $y : U$

	$x.foo(y)$
C++	$foo(T)$
Java 1.4	erreur
Java 1.5	$foo(U)$
Scala	erreur
C#	$foo(T)$

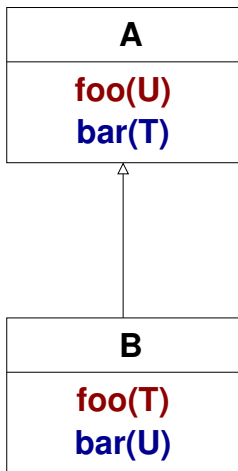


La surcharge statique (2/3)


 $U <: T$
 $x : B$
 $y : U$
 $z : T = \text{new } U$

	<code>x.foo(y)</code>	<code>x.bar(z)</code>
C++	<code>foo(T)</code>	erreur
Java 1.4	erreur	<code>bar(T)</code>
Java 1.5	<code>foo(U)</code>	<code>bar(T)</code>
Scala	erreur	<code>bar(T)</code>
C#	<code>foo(T)</code>	<code>bar(T)</code>

La surcharge statique (2/3)



$U <: T$ $x : B$
 $y : U$
 $z : T = \text{new } U$

Confusion avec la **covariance**
 ou la **sélection multiple**...



	<code>x.foo(y)</code>	<code>x.bar(z)</code>
Eiffel	erreur	erreur
<i>intuition</i>	—	<code>bar(U)</code>

La surcharge statique (3/3)



L'idéal

- l'exclure des spécifications (Eiffel, Nit),
- à défaut, prendre les spécifications de Java 1.5,
- surtout si l'on ne s'en sert pas !
- ☞ la surcharge statique équivaut à un renommage donc **renommez!!!**

Alternative : la sélection multiple (G. Castagna)

mais problème de modularité :

- spécifications difficiles en **monde ouvert**

La surcharge statique (3/3)



L'idéal

- l'exclure des spécifications (Eiffel, Nit),
- à défaut, prendre les spécifications de Java 1.5,
- surtout si l'on ne s'en sert pas !
- ☞ la surcharge statique équivaut à un renommage donc **renommez!!!**

Alternative : la **sélection multiple** (G. Castagna)

mais problème de modularité :

- spécifications difficiles en **monde ouvert**

L'héritage

*Socrate est un homme,
les hommes sont mortels,
donc Socrate est mortel.*
(d'après la tradition Aristotélicienne)

☞ l'idéal Platonicien de l'héritage serait Aristotélicien !



L'héritage

*Socrate est un homme,
les hommes sont mortels,
donc Socrate est mortel.*
(d'après la tradition Aristotélicienne)

👉 l'idéal Platonicien de l'héritage serait Aristotélicien !



L'héritage multiple (1/4)



Omniprésent en typage statique

- au moins sous la forme du **sous-typage multiple** (Java, C#, Ada 2005),
- **asymétrique**, à base de **mixins** ou **traits** (Scala)
 - ☞ classes de première et deuxième “classe”
- **symétrique**, sans restriction (C++, Eiffel, Nit),

Pourquoi pas en typage dynamique ?

- ☞ parce que **Java = Smalltalk + typage statique**

L'héritage multiple (1/4)



Omniprésent en typage statique

- au moins sous la forme du **sous-typage multiple** (Java, C#, Ada 2005),
- **asymétrique**, à base de **mixins** ou **traits** (Scala)
 - ☛ classes de première et deuxième “classe”
- **symétrique**, sans restriction (C++, Eiffel, Nit),

Pourquoi pas en typage dynamique ?

- ☛ parce que **Java = Smalltalk + typage statique**

L'héritage multiple (2/4)



Conflits de nom mal gérés

Distinguer 2 méthodes introduites par 2 interfaces/classes différentes

- impossible en Java, Scala ou C++
- en C++ : incohérence attributs/méthodes
 - ☞ 1 seul accesseur pour 2 attributs homonymes !

Solution

- en C#, par **qualification** à la définition et *cast* à l'appel
- en Nit, par **qualification**
- en Eiffel, avec **rename**, **undefine**, **redefine**, compliqué et **usage "incorrect" possible**

L'héritage multiple (3/4)



Combinaison des méthodes

- double évaluation (C++, Eiffel)
- ☞ solution basée sur des linéarisations (Scala, CLOS, Python)

Le cas de C++

- compliqué (avec ou sans **virtual**),
- schizophrène (sans **virtual**)
 - duplication d'attributs
 - ☞ nombre **exponentiel** d'interprétations
 - taille des objets **exponentielle** dans la taille du source

L'héritage multiple (4/4)



L'idéal

- héritage multiple **symétrique**
 - ☞ pas de distinction classes / traits (on peut les appeler classes ou traits, c'est égal...)
- désambiguïsation par **noms qualifiés**
 - ☞ comme en C# (mais à l'utilisation aussi)
- combinaison des méthodes par **linéarisation**
 - ☞ comme en Scala (**super**) ou en CLOS (**call-next-method**)
- linéarisation **monotone C3**
 - ☞ comme en Python (pour une fois, j'en dis du bien !!)
- ☞ [Sci. Comp. Prog. 2011]

La généricité



La généricité est devenue universelle

En typage statique,

- les langages à objets sont devenus génériques (tous)
- les langages génériques sont devenus à objets (Ada)

Généricité + sous-typage = difficultés

- de spécifications
- de compréhension et d'utilisation
- d'implémentation

Spécifications par l'implémentation



Au moins 3 versions

hétérogène pure **substitution textuelle** (C++)

- ☞ pas de types récurifs + explosion du code

homogène **effacement de type** et partage de code (Java 1.5, Scala)

- ☞ expressivité limitée, *casts* non sûrs, *boxing*

mixte partage ou spécialisation de code
sans effacement de type (C#)

- ☞ meilleur compromis expressivité-efficacité-sûreté

Généricité contrainte



Au moins 3 spécifications des contraintes

- aucune (C++)
 - ☞ pas de vérification/compilation avant l'instanciation
- type formel **borné par sous-typage**
 - ☞ compréhension et utilisation simples
- **borne récursive** (*F-bounded*) (Java, C#, Scala, Eiffel, ...)
 - ☞ puissant mais rigide et difficile à comprendre...
pour cloner des structures strictement isomorphes

Généricité et (co)variance



Relations difficiles



- covariance généralisée non sûre (Eiffel)
 - ☞ type formel **non sûr** en paramètre de méthode
- covariance non sûre des tableaux (Java, C#)
 - ☞ écriture **non sûre**
- effacement de type (Java, Scala)
 - ☞ type formel **non sûr** en type de retour
- annotations de variance **sûres**
 - à la définition (Scala, C# uniquement sur les interfaces)
 - à l'utilisation (*wildcards* Java, Scala)

Covariance des tableaux



Un chat n'est pas un chien



- `x : Cat[]`
- ...
- `y : Animal[]`
- `y = x` // *dangereux mais compilé*
- `y[i] = new Dog` // *compilé mais exception*



Effacement de type



Un chat n'est pas un chien (re)



- `x : Stack<Cat>`
- ...
- `y : Stack<Dog>`
- `y = (Stack<Dog>)x` // *stupide mais compilé* 
- `y.push(new Dog)` // *le type est effacé! Alzheimer*
- ...
- `z : Cat = x.pop()` // *exception à retardement* 

👉 traçabilité désastreuse des erreurs

Effacement de type



Un chat n'est pas un chien (re)

- `x : Stack<Cat>`
- ...
- `y : Stack<Dog>`
- `y = (Stack<Dog>)x` // *stupide mais compilé* 
- `y.push(new Dog)` // *le type est effacé! Alzheimer*
- ...
- `z : Cat = x.pop()` // *exception à retardement* 

☞ traçabilité désastreuse des erreurs

Complications



- interface Comparable<T extends Comparable<T>>
- class OrderedSet<T extends Comparable<T>>
- class A implements Comparable<A>
- OrderedSet<A>

- class B extends A
- OrderedSet

Annotation de contravariance

- Java : class OrderedSet<T extends Comparable< ? **super** T>>
- Scala : interface Comparable<-T extends Comparable<T>>

Complications



- interface Comparable<T extends Comparable<T>>
 - class OrderedSet<T extends Comparable<T>>
 - class A implements Comparable<A>
 - OrderedSet<A>
-
- class B extends A
 - OrderedSet

Annotation de contravariance

- Java : class OrderedSet<T extends Comparable< ? super T>>
- Scala : interface Comparable<-T extends Comparable<T>>

Complications



- interface Comparable<T extends Comparable<T>>
 - class OrderedSet<T extends Comparable<T>>
 - class A implements Comparable<A>
 - OrderedSet<A>
-
- class B extends A implements Comparable
 - OrderedSet

Annotation de contravariance

- Java : class OrderedSet<T extends Comparable< ? super T>>
- Scala : interface Comparable<-T extends Comparable<T>>

Complications

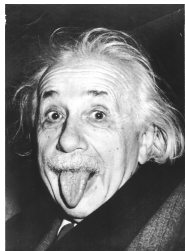


- interface Comparable<T extends Comparable<T>>
 - class OrderedSet<T extends Comparable<T>>
 - class A implements Comparable<A>
 - OrderedSet<A>
-
- class B extends A
 - OrderedSet

Annotation de contravariance

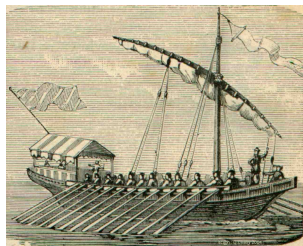
- Java : class OrderedSet<T extends Comparable< ? super T>>
- Scala : interface Comparable<-T extends Comparable<T>>

La hiérarchie des programmeurs



concepteur de langage
pure lumière de la
programmation

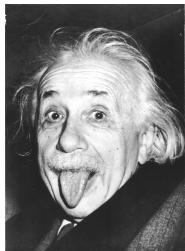
implémenteur de
langage ou de
bibliothèque
ingénieur ingénieur



programmeur de base
obscur soutier

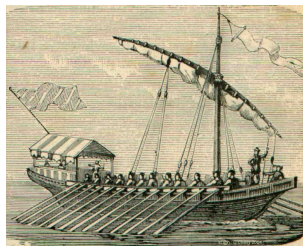
☞ C'est déloyal de faire supporter au soutier ce qu'un ingénieur ingénieur ou une pure lumière aurait pu faire...

La hiérarchie des programmeurs



concepteur de langage
pure lumière de la
programmation

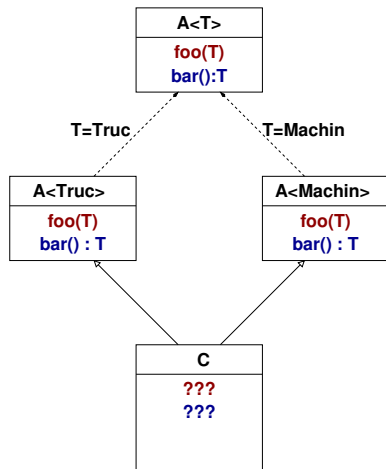
implémenteur de
langage ou de
bibliothèque
ingénieur ingénieur



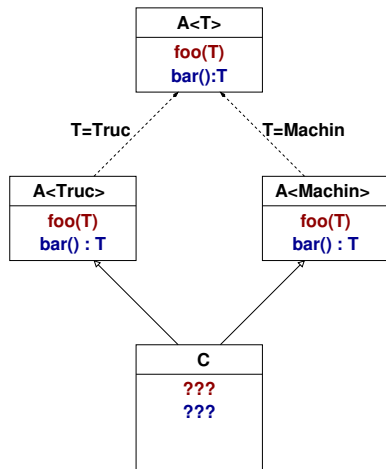
programmeur de base
obscur soutier

- ☛ C'est déloyal de faire supporter au soutier ce qu'un ingénieur ingénieur ou une pure lumière aurait pu faire...

Surcharge + héritage multiple +

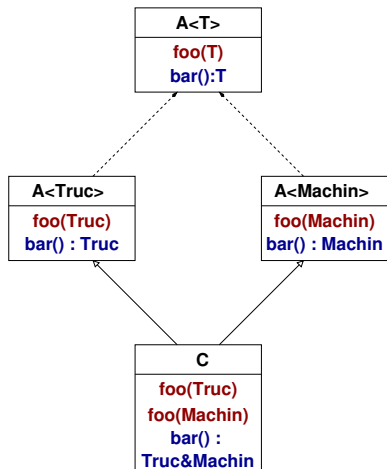


Surcharge + héritage multiple +



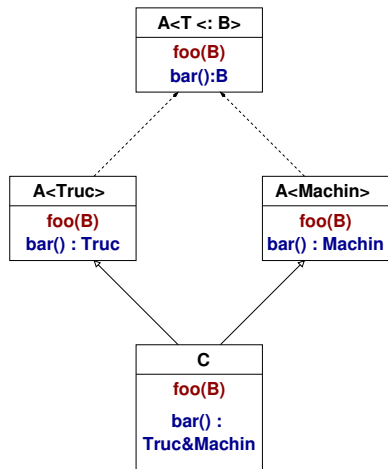
- arguments mathématico-ontologiques et bon-sens
- 👉 impossible

Surcharge + héritage multiple +



- en C++
(substitution textuelle)
☞ aucun problème !!

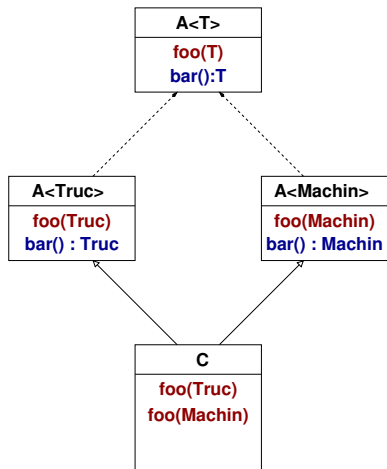
Surcharge + héritage multiple +



- pour la JVM (effacement de type)
 - ☞ aucun problème
 - mais **interdit** par Java !



Surcharge + héritage multiple +



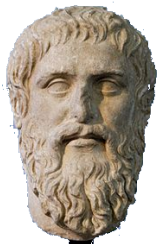
- en C# (pas de covariance)
 - ☞ impossible pour **bar**
 - ☞ aucun problème pour **foo**

La généricité (fin)



L'idéal

- sans effacement de type
- implémentation mixte à la C#
- variance à la définition et à l'utilisation (Scala)
- invariance des tableaux
- borne récursive (*F-bounded*)
- pas d'héritage d'instanciations multiples
- pas de surcharge statique sur les types formels
- meilleur support de l'IDE



Plan

- 1 Les spécifications des langages
- 2 **L'implémentation des objets**
 - Le problème
 - Hachage parfait
 - PH en typage statique
 - Protocole de recompilation
 - Conclusion sur PH
- 3 Le cas Scala
- 4 Conclusions et perspectives



Implémentation des objets (1/3)

x.foo(arg)

x.bar

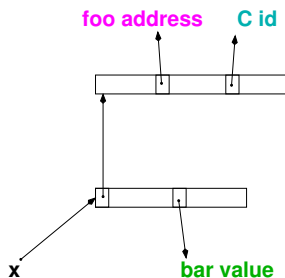
x instanceof C

La programmation objet implique

- **invocation de méthode** (aka envoi de message, liaison tardive)
- **accès aux attributs**
- **test de sous-typage** (aka *casts*)

Implémentation des objets (1/3)

x.foo(arg)
 x.bar
 x instanceof C



La programmation objet implique

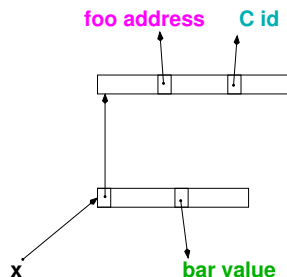
- **invocation de méthode** (aka envoi de message, liaison tardive)
- **accès aux attributs**
- **test de sous-typage** (aka *casts*)

Implémentation des objets (1/3)

x.foo(arg)

x.bar

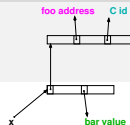
x instanceof C



Le problème

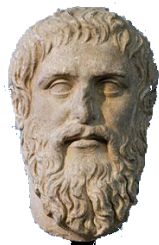
- Quelle structure de données ?
- Comment déterminer les positions de **foo**, **bar** et **C** dans **x** ?
- Quand ? à la compilation, au chargement ou à l'exécution ?

Implémentation des objets (2/3)

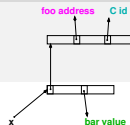


Idéal de performance

- temps constant
- espace *scalable*
- code compact (*inlinable*)



Implémentation des objets (3/3)

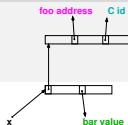


Solutions complètes

Dans deux cas seulement

- en **sous-typage simple**
 - ☛ héritage simple, avec types = classes
- sous l'hypothèse du **monde fermé**
 - ☛ compilation ou édition de liens globales

En sous-typage simple (1/2)

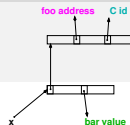


A



L'implémentation d'une classe étend celle de son unique super-classe

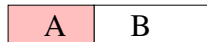
En sous-typage simple (1/2)



A

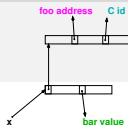


B



L'implémentation d'une classe étend celle de son unique super-classe

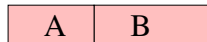
En sous-typage simple (1/2)



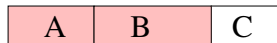
A



B

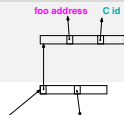


C



L'implémentation d'une classe étend celle de son unique super-classe

En sous-typage simple (2/3)



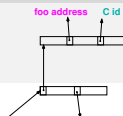
Bonnes propriétés

- même principe pour méthodes et attributs
- les méthodes/attributs **introduits** par une classe sont **groupés**,
- avec des **positions invariantes**,
- les super-classes sont **totalemment ordonnées**,
- l'ordre de la super-classe est un **préfixe** de celui de la sous-classe

Idéal de performance

- temps **constant**
- espace **linéaire** dans la taille de la relation d'héritage
i.e. **quadratique** dans le nombre de super-classes (pire des cas)
- compatible avec **monde ouvert** et **chargement dynamique**

En sous-typage simple (2/3)



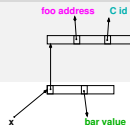
Bonnes propriétés

- même principe pour méthodes et attributs
- les méthodes/attributs **introduits** par une classe sont **groupés**,
- avec des **positions invariantes**,
- les super-classes sont **totalemment ordonnées**,
- l'ordre de la super-classe est un **préfixe** de celui de la sous-classe

Idéal de performance

- temps **constant**
- espace **linéaire** dans la taille de la relation d'héritage
i.e. **quadratique** dans le nombre de super-classes (pire des cas)
- compatible avec **monde ouvert** et **chargement dynamique**

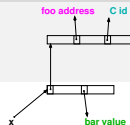
En sous-typage simple (3/3)



La mauvaise nouvelle

Aucun langage en sous-typage simple !

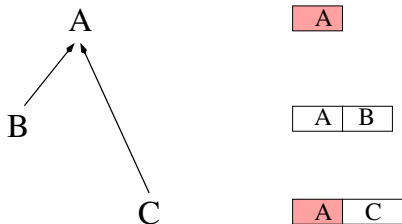
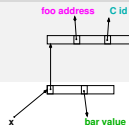
En sous-typage simple (3/3)



La mauvaise nouvelle

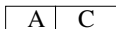
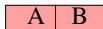
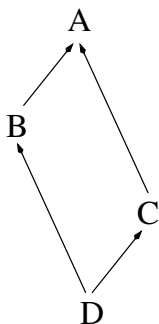
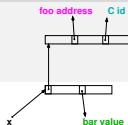
Aucun langage en sous-typage simple !

Héritage multiple (1/4)



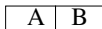
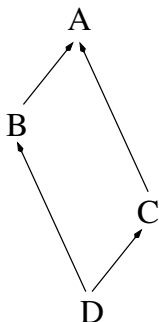
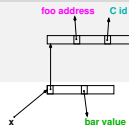
- D vérifie la condition du préfixe vis-à-vis de B , pas de C ,
- la position de C n'est pas invariante

Héritage multiple (1/4)



- *D* vérifie la **condition du préfixe** vis-à-vis de *B*, pas de *C*,
- la position de *C* n'est **pas invariante**

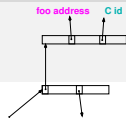
Héritage multiple (2/4)



Solution complète en monde fermé

- optimisations globales de type **coloration**

Héritage multiple (3/4)



Solutions partielles en monde ouvert

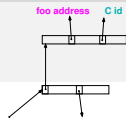
- en **sous-typage multiple** (Java, C#)
 - ☞ pour classes seulement
- en **typage dynamique** et **héritage simple** (Smalltalk)
 - ☞ pour accès aux attributs et tests de sous-typage

Solution partielle et compliquée

Implémentation par sous-objets (**virtual inheritance** de C++)

- pour invocation de méthodes et accès aux attributs,
- temps constant, mais constante élevée,
- espace **cubique** dans le nombre de super-classes
exponentiel sans **virtual** !!

Héritage multiple (3/4)



Solutions partielles en monde ouvert

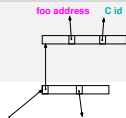
- en **sous-typage multiple** (Java, C#)
 - ☞ pour classes seulement
- en **typage dynamique** et **héritage simple** (Smalltalk)
 - ☞ pour accès aux attributs et tests de sous-typage

Solution partielle et compliquée

Implémentation par sous-objets (**virtual inheritance** de C++)

- pour invocation de méthodes et accès aux attributs,
- temps constant, mais constante élevée,
- espace **cubique** dans le nombre de super-classes
exponentiel sans virtual !!

Héritage multiple (3/4)



Solutions partielles en monde ouvert

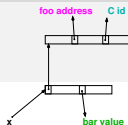
- en **sous-typage multiple** (Java, C#)
 - ☞ pour classes seulement
- en **typage dynamique** et **héritage simple** (Smalltalk)
 - ☞ pour accès aux attributs et tests de sous-typage

Solution partielle et compliquée

Implémentation par sous-objets (**virtual inheritance** de C++)

- pour invocation de méthodes et accès aux attributs,
- temps constant, mais constante élevée,
- espace **cubique** dans le nombre de super-classes
exponentiel sans **virtual** !!

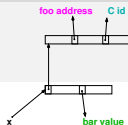
Héritage multiple (4/4)



Pas de solution complete, i.e. **scalable**, en monde ouvert

- en sous-typage multiple pour les interfaces (Java, C#)
- en typage dynamique pour l'appel de méthodes (Smalltalk)
- en héritage multiple pour les tests de sous-typage (C++)

Héritage multiple (4/4)

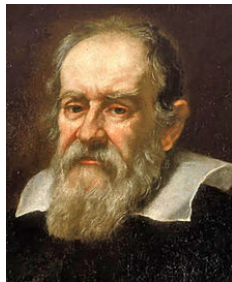


Pas de solution complete, i.e. **scalable**, en monde ouvert

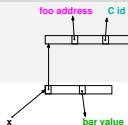
- en sous-typage multiple pour les interfaces (Java, C#)
- en typage dynamique pour l'appel de méthodes (Smalltalk)
- en héritage multiple pour les tests de sous-typage (C++)

Eppur si muove!

Galileo Galilei



Héritage multiple (4/4)

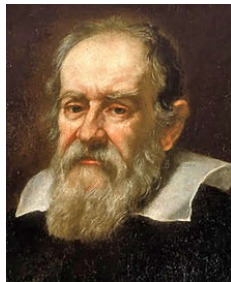


Etant donnés

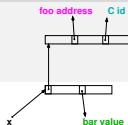
- une implémentation,
- un compilateur JIT optimisant,
- écrire un programme qui fait échouer les optimisations.

Eppur si muove!

Galileo Galilei

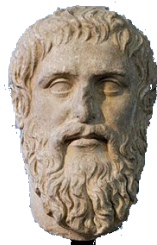


Conclusion

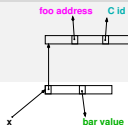


Recherche (désespérément) implémentation

- respectant l'idéal de performance espace-temps
- compatible avec le chargement dynamique
- et l'héritage multiple
- ☞ pour les interfaces Java et .Net
- ☞ pour les langages en héritage multiple comme Eiffel, Nit ou Scala



Ranger et retrouver



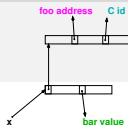
Hachage

- le problème de l'implémentation
= instance du problème général **ranger et retrouver**,
- le **hachage** est une solution générique
- ☞ le hachage pourrait être une solution du problème spécifique

Hachage pour l'implémentation des objets

- hacher les **identifiants** de **méthodes**, **attributs** et **classes**
 - ☞ petits entiers
- temps constant, mais **en moyenne** seulement
- ☞ dans le pire des cas, aussi mauvais qu'une recherche séquentielle

Ranger et retrouver



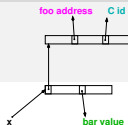
Hachage

- le problème de l'implémentation
= instance du problème général **ranger et retrouver**,
- le **hachage** est une solution générique
- le hachage pourrait être une solution du problème spécifique

Hachage pour l'implémentation des objets

- hacher les **identifiants** de **méthodes**, **attributs** et **classes**
 - petits entiers
- temps constant, mais **en moyenne** seulement
- dans le pire des cas, aussi mauvais qu'une recherche séquentielle

Hachage parfait (1/5)

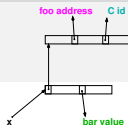


Délicieux oxymore !

Principe

- hachage sans collisions, **en temps vraiment constant**
- pour hacher des **ensembles immutables**
- c'est notre cas
pas de modification incrémentale des classes

Hachage parfait (2/5)

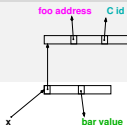


Approche naïve

Pour chaque classe nouvellement chargée

- 1 calculer l'ensemble des éléments dont l'ID est à hacher,
 - classes pour le test de sous-typage,
 - méthodes
 - attributs
- 2 affecter des ID, pour
 - classes nouvellement chargées
 - méthodes et attributs nouvellement introduits
- 3 calculer le paramètre de hachage optimal pour l'ensemble des ID

Hachage parfait (3/5)

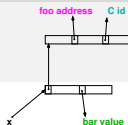


Approche optimisée (aka numérotation parfaite)

Problème inverse

- 1 calculer l'ensemble des éléments dont l'ID est à hacher,
- 2 partitionner en deux sous-ensembles
 - éléments hérités, avec ID
 - éléments nouvellement introduits, sans ID
- 3 calculer le paramètre de hachage **optimal**, à partir de
 - des **ID** du premier ensemble,
 - du **cardinal** du deuxième ensemble
- 4 **allouer des ID libres** hachés sur des places libres
- 5 les **affecter** aux éléments du deuxième ensemble

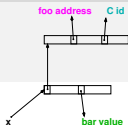
Hachage parfait (4/5)



Fonctions de hachage

- deux candidates naturelles avec une **instruction unique**
 - **et binaire** = 1 cycle
 - **modulo** \approx 10-50 cycles !
- **modulo** produit des tables plus compactes
- ☞ **et binaire** est le meilleur compromis

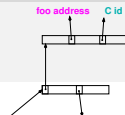
Hachage parfait (4/5)



Fonctions de hachage

- deux candidates naturelles avec une **instruction unique**
 - **et binaire** = 1 cycle
 - **modulo** \approx 10-50 cycles !
- **modulo** produit des tables plus compactes
- **et binaire** est le meilleur compromis

Hachage parfait (5/5)



Définition mathématique

soit C la classe considérée

I_C l'ensemble des ID à hacher

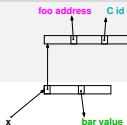
alors m_C est le plus petit entier tel que la fonction $x \mapsto \text{et}(x, m_C)$ soit injective sur I_C

☞ la taille de la table est $H_C = m_C + 1$.

Algorithmes

- simples mais non triviaux
- faible complexité
- utilisables à l'exécution sans problème
- ☞ [TOPLAS 2008, *Soft. Pract. & Exp.* 2011]

Evaluation (1/3)



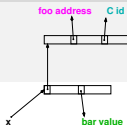
Occupation mémoire

- évaluations théoriques et pratiques
- simulations sur de grands benchmarks
- ☞
 - et binaire est erratique
 - **simulations randomisées** nécessaires
- l'approche naïve n'est pas terrible 😞
- l'approche inverse *scalable* quand **seules les classes sont hachées**
- ☞ ratio d'occupation pas nettement supérieur à 2 😊

Conclusion 1

- ☞ PH devrait être restreint à de petits ensembles

Evaluation (2/3)



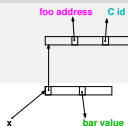
Performances temporelles

- par dénombrement de cycles
- dans le compilateur PRM (F. Morandat) [*Opsla 2009*]
- surcoût marqué par rapport au sous-typage simple
- pas pire (et beaucoup plus simple) que les sous-objets de C++

Conclusion 2

- PH devrait être restreint à un sous-ensemble des sites d'appel

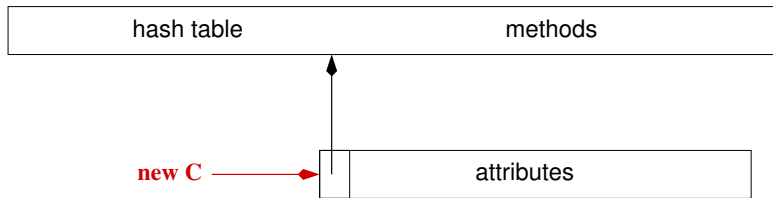
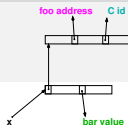
Evaluation (3/3)



Pistes pour utiliser PH

- en sous-typage multiple
 - pour les **invocations d'interface**
 - hacher les **interfaces**
- en héritage multiple, typage statique [*J. Obj. Tech.* 2012]
 - pour les invocations de **classes à positions multiples**
 - hacher les **classes**
- ☞ toujours avec **compilation dynamique**

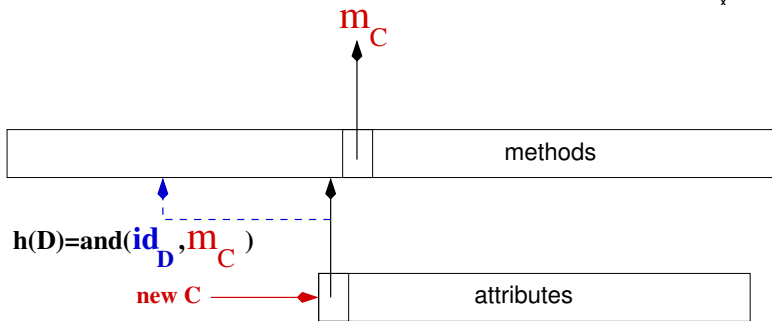
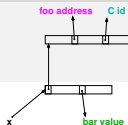
Application aux interfaces Java



Tables de méthodes bidirectionnelles

- partie positive pour les classes, comme en sous-typage simple
- partie négative pour la table de hachage

Application aux interfaces Java

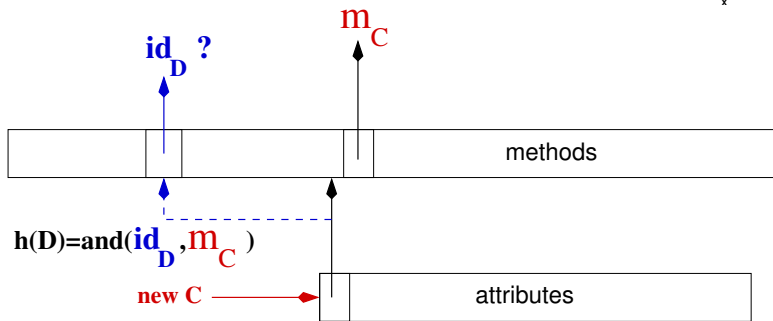
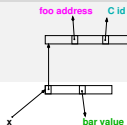


Test de sous-typage

- \circ = instance d'une classe C inconnue,
- D est une interface possiblement implémentée par C ,

👉 \circ instanceof D ?

Application aux interfaces Java

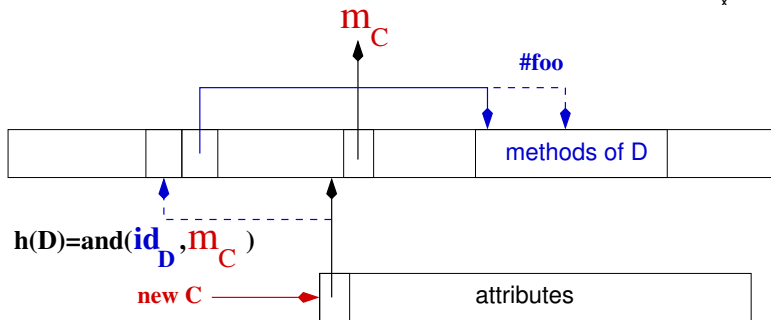
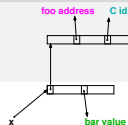


Test de sous-typage

- o = instance d'une classe C inconnue,
- D est une interface possiblement implémentée par C ,

• o instanceof D ?

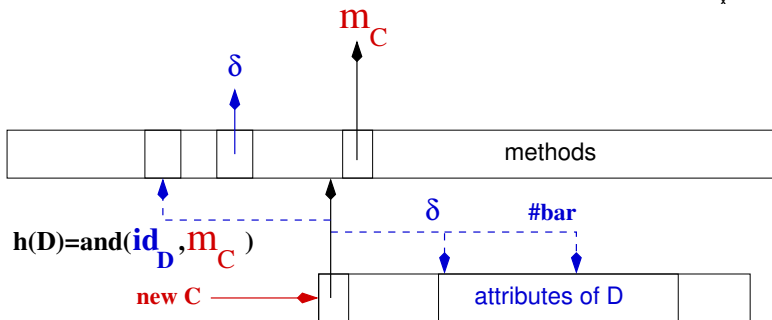
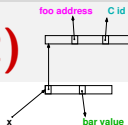
Application aux interfaces Java



Invokeinterface

- **D** o ; o.foo(arg)
- **C** <: **D** et **D** interface

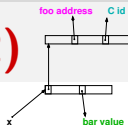
Application à l'héritage multiple (1/2)



Principe

- même implémentation qu'avec le sous-typage multiple
- + accès aux attributs par **simulation d'accessneur**

Application à l'héritage multiple (2/2)



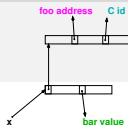
Usage

- surcoût important
- **seulement si la position de la classe n'est pas invariante**

Compilation dynamique nécessaire

- avoir une position invariante est une **propriété provisoire**
- un site d'invocation peut muter du sous-typage simple au hachage parfait
- recompilations nécessaires, quand le chargement d'une classe "déplace" une de ses super-classes

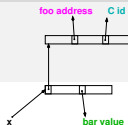
Implémentation des objets (1/3)



Héritage multiple et chargement dynamique

- les méthodes/attributs **introduits** par une classe sont **groupés**,
- les super-classes sont **ordonnées**,
- la condition du **préfixe** tient pour **une** super-classe directe
- **position invariante** pour **la** super-classe du préfixe,
- l'ordre des super-classes dépend de **l'ordre de chargement**.

Implémentation des objets (2/3)



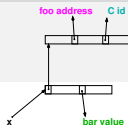
← ordre de chargement —

A

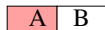
A

- D vérifie la condition du préfixe vis-à-vis de B , pas de C ,
- C a plusieurs positions,
- les invocations de C doivent être recompilées en chargeant D ☹️

Implémentation des objets (2/3)

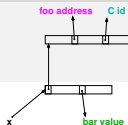


← ordre de chargement —

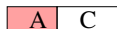
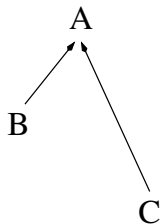


- D vérifie la condition du **préfixe** vis-à-vis de B , pas de C ,
- C a plusieurs positions,
- les invocations de C doivent être recompilées en chargeant D ☹️

Implémentation des objets (2/3)

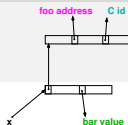


← ordre de chargement —

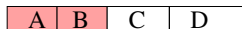
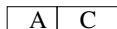
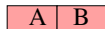
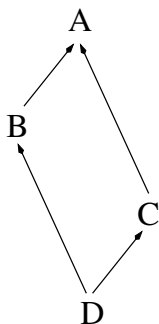


- *D* vérifie la condition du **préfixe** vis-à-vis de *B*, pas de *C*,
- *C* a plusieurs positions,
- les invocations de *C* doivent être recompilées en chargeant *D* ☹️

Implémentation des objets (2/3)

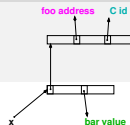


← ordre de chargement —



- D vérifie la condition du **préfixe** vis-à-vis de B , pas de C ,
- C a plusieurs positions,
- les invocations de C doivent être recompilées en chargeant D ☹️

Implémentation des objets (3/3)

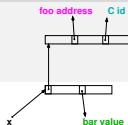


Ressemble à l'approche trait/mixin

- avec super-classes primaires et secondaires,
 - primaire = classe = dans le préfixe ➡ position unique possible
 - secondaire = trait = hors du préfixe ➡ positions multiples
- cependant, ici,
 - la distinction n'est pas au niveau langage,
 - mais au niveau implémentation,
 - et déterminée dynamiquement par l'exécution

➡ Implémentation asymétrique de l'héritage multiple symétrique

Implémentation des objets (3/3)

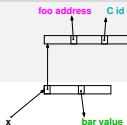


Ressemble à l'approche trait/mixin

- avec super-classes primaires et secondaires,
 - primaire = classe = dans le préfixe ➡ position unique possible
 - secondaire = trait = hors du préfixe ➡ positions multiples
- cependant, ici,
 - la distinction n'est pas au niveau langage,
 - mais au niveau implémentation,
 - et déterminée dynamiquement par l'exécution

➡ Implémentation asymétrique de l'héritage multiple symétrique

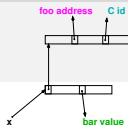
Compilation dynamique



Paresse et gloutonnerie

- compilation **paresseuse** des méthodes
 - le **plus tard** possible
- compilation **gloutonne** des sites
 - le **plus efficacement** possible (dans le contexte courant)
 - appel statique, sous-typage simple ou hachage parfait,
- **recompilations** possibles, **paresseuses** et **gloutonnes**
 - d'appels statiques au sous-typage simple ou hachage parfait,
 - du sous-typage simple au hachage parfait

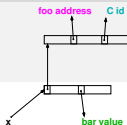
Evaluation



Simulation par interprétation abstraite aléatoire

- variante aléatoire de **Rapid Type Analysis**
- statistiques sur le nombre de
 - classes, méthodes et attributs avec positions (in)variables,
 - sites d'invocation optimisés (ou pas),
 - (re)compilations de méthodes,
 - *thunks*.
- résultats plutôt satisfaisants

Conclusion sur PH



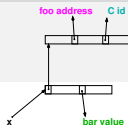
Avec PH

- ☞ l'héritage multiple ne coûte que si l'on s'en sert
- ☞ l'héritage multiple symétrique au prix du sous-typage multiple devrait être testé dans une vraie machine virtuelle

La preuve que c'est bien

- ☞ breveté par le leader mondial des VM
- ☞ googler "perfect hashing method dispatch"

Conclusion sur PH



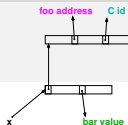
Avec PH

- ☞ l'héritage multiple ne coûte que si l'on s'en sert
- ☞ l'héritage multiple symétrique au prix du sous-typage multiple devrait être testé dans une vraie machine virtuelle

La preuve que c'est bien

- ☞ breveté par le leader mondial des VM
- ☞ googler "perfect hashing method dispatch"

Conclusion sur PH



Avec PH

- ☞ l'héritage multiple ne coûte que si l'on s'en sert
- l'héritage multiple symétrique au prix du sous-typage multiple devrait être testé dans une vraie machine virtuelle

La preuve que c'est bien

- ☞ breveté par le leader mondial des VM
- googler **“perfect hashing method dispatch”**

Plan

- 1 Les spécifications des langages
- 2 L'implémentation des objets
- 3 Le cas Scala**
- 4 Conclusions et perspectives



Jvm, Java, premiers barreaux de Scala



L'un des langages récents les plus intéressants

Compile vers la Jvm

- hérite de nombreuses spécifications de Java
- bénéficie de la machine d'exécution et de la bibliothèque Java
- réduction considérable de l'effort de R&D

Nombreuses extensions

- héritage multiple (traits)
- variance à la définition, types virtuels
- fermetures, *pattern matching*, ...

Scala traîne le boulet de la Jvm (1/2)



Héritage des défauts de la machine d'exécution

Effacement de type



- échec du typage sûr
- nombreuses inefficacités (*boxing* + *casts*)

Héritage multiple asymétrique

Complication conceptuelle,

- pour les programmeurs de base,
- pour les formalisations, la compilation,
- pour l'efficacité.

Scala traîne le boulet de la Jvm (2/2)



- une partie de l'effort de R&D consacrée à ces défauts
- Scala n'est pas le langage idéal

Scala traîne le boulet de la Jvm (2/2)



- une partie de l'effort de R&D consacrée à ces défauts
- Scala n'est pas le langage idéal

Scala : bilan a contrario



Le langage idéal

- n'est pas simple (hélas)
- est idéalement cohérent
- est idéalement documenté
- est idéalement appareillé (les orthèses du programmeur)

Plan

- 1 Les spécifications des langages
- 2 L'implémentation des objets
- 3 Le cas Scala
- 4 **Conclusions et perspectives**



Les causes ?



Problème général avec le temps

- fuite en avant
- faible capitalisation
- succès trop rapides
- contraintes de rétro-compatibilité
- mauvaise anticipation des conséquences des choix

Approches peu scientifiques

- solutions ad hoc
- sémantique par l'implémentation
- ☞ le monde académique a désinvesti la conception de langages

Les causes ?



Problème général avec le temps

- fuite en avant
- faible capitalisation
- succès trop rapides
- contraintes de rétro-compatibilité
- mauvaise anticipation des conséquences des choix

Approches peu scientifiques

- solutions ad hoc
- sémantique par l'implémentation
- 👉 le monde académique a désinvesti la conception de langages

Les causes ?



absence d'idéal Platonicien ...

Quels espoirs d'évolution ?



Malheureusement faibles

- évolutions mineures sans impact sur la **rétro-compatibilité**
- par exemple, en Java :
 - variance à la définition, à la Scala
 - gestion des conflits de nom par qualification, à la C#
 mais toujours pas en Java 8!!
- ☞ corriger l'**effacement de type** nécessite une évolution majeure
 - des spécifications et implémentation de la Jvm,
 - des programmes Java/Scala existants

☞ La solution est dans de nouveaux langages !

Quels espoirs d'évolution ?



Malheureusement faibles

- évolutions mineures sans impact sur la **rétro-compatibilité**
 - par exemple, en Java :
 - variance à la définition, à la Scala
 - gestion des conflits de nom par qualification, à la C#
mais toujours pas en Java 8!!
 - ☞ corriger l'**effacement de type** nécessite une évolution majeure
 - des spécifications et implémentation de la Jvm,
 - des programmes Java/Scala existants
- ☞ La solution est dans de nouveaux langages !

Les besoins



Spécifications “canoniques” des langages à objets

- pour la généricité,
- pour l'héritage multiple,
- liste à compléter ...

Systemes d'exécution

- similaires à la JVM (ou à CIL/CLR),
- sans effacement de type,
- pour l'héritage multiple,
- basés sur le hachage parfait, ou tout autre technique complètement *scalable*.

Perspectives personnelles



Le langage NIT

- développé à l'UQAM autour de Jean Privat,
- à la suite de ses travaux au LIRMM (langage PRM)
- avec généricité non-effacée, héritage multiple, types virtuels, ...
- un interprète et plusieurs compilateurs statiques,
- *work in progress*

☞ Pas l'idéal Platonicien, juste un moyen d'y parvenir

La machine virtuelle NIT

- le projet démarre ...

Perspectives personnelles



Le langage NIT

- développé à l'UQAM autour de Jean Privat,
- à la suite de ses travaux au LIRMM (langage PRM)
- avec généricité non-effacée, héritage multiple, types virtuels, ...
- un interprète et plusieurs compilateurs statiques,
- *work in progress*
- ➡ Pas l'idéal Platonicien, juste un moyen d'y parvenir

La machine virtuelle NIT

- le projet démarre ...

Perspectives personnelles



Le langage NIT

- développé à l'UQAM autour de Jean Privat,
- à la suite de ses travaux au LIRMM (langage PRM)
- avec généricité non-effacée, héritage multiple, types virtuels, ...
- un interprète et plusieurs compilateurs statiques,
- *work in progress*
- ➡ Pas l'idéal Platonicien, juste un moyen d'y parvenir

La machine virtuelle NIT

- le projet démarre ...

avec la participation de :

Achille (et ses talons), Aristote,
 Babel, Bruegel (et leur tour),
 Camus (Albert), Einstein (Albert),
 Galilei (Galileo), Greg, Homère,
 Jacob (et son échelle), Kush (Vladimir),
 Patrocle, Peyo, Platon, Socrate,
 Schtroumpf (à lunettes),
 Talon (Achille), ...

<http://nitlanguage.org>

(à suivre)



GREG