

Le système Sage

Nicolas M. Thiéry

Support partiellement repris de Franco Saliola, Florent Hivert, Dan Drake, William Stein, ...

Laboratoire de Mathématiques d'Orsay, Université Paris Sud

Groupe d'utilisateurs de Sage en région parisienne, 19/01/2012



Outline

- 1 Sage?
- 2 Liberté!
- 3 Communauté
- 4 Modèle de développement
- 5 Pourquoi j'ai choisi Sage?
- 6 Cerises sur le gâteau
- 7 Sage et LaTeX

Sage?

La mission de Sage

« Créer une alternative libre et viable à MapleTM,
MathematicaTM, MagmaTM et MATLABTM

...

La mission de Sage

« Créer une alternative libre et viable à MapleTM,
MathematicaTM, MagmaTM et MATLABTM

...

et une communauté accueillante d'utilisateurs et de
développeurs»

Sage Demo

Demo!

Sage est une distribution de logiciels libres

Logiciels inclus dans Sage :

ATLAS	Automatically Tuned Linear Algebra Software
BLAS	Basic Fortran 77 linear algebra routines
Bzip2	High-quality data compressor
Cddlib	Double Description Method of Motzkin
Common Lisp	Multi-paradigm and general-purpose programming lang.
CVXOPT	Convex optimization, linear programming, least squares
Cython	C-Extensions for Python
F2c	Converts Fortran 77 to C code
Flint	Fast Library for Number Theory
FpLLL	Euclidian lattice reduction
FreeType	A Free, High-Quality, and Portable Font Engine

Sage est une distribution de logiciels libres

Logiciels inclus dans Sage :

G95	Open source Fortran 95 compiler
GAP	Groups, Algorithms, Programming
GD	Dynamic graphics generation tool
Genus2reduction	Curve data computation
Gfan	Gröbner fans and tropical varieties
Givaro	C++ library for arithmetic and algebra
GMP	GNU Multiple Precision Arithmetic Library
GMP-ECM	Elliptic Curve Method for Integer Factorization
GNU TLS	Secure networking
GSL	Gnu Scientific Library
JsMath	JavaScript implementation of LaTeX

Sage est une distribution de logiciels libres

Logiciels inclus dans Sage :

IML	Integer Matrix Library
IPython	Interactive Python shell
LAPACK	Fortran 77 linear algebra library
Lcalc	L-functions calculator
Libgcrypt	General purpose cryptographic library
Libgpg-error	Common error values for GnuPG components
Linbox	C++ linear algebra library
Matplotlib	Python plotting library
Maxima	computer algebra system
Mercurial	Revision control system
MoinMoin	Wiki

Sage est une distribution de logiciels libres

Logiciels inclus dans Sage :

MPFI	Multiple Precision Floating-point Interval library
MPFR	C library for multiple-precision floating-point computations
ECLib	Cremona's Programs for Elliptic curves
NetworkX	Graph theory
NTL	Number theory C++ library
Numpy	Numerical linear algebra
OpenCDK	Open Crypto Development Kit
PALP	A Package for Analyzing Lattice Polytopes
PARI/GP	Number theory calculator
Pexpect	Pseudo-tty control for Python
PNG	Bitmap image support

Sage est une distribution de logiciels libres

Logiciels inclus dans Sage :

PolyBoRi	Polynomials Over Boolean Rings
PyCrypto	Python Cryptography Toolkit
Python	Interpreted language
Qd	Quad-double/Double-double Computation Package
R	Statistical Computing
Readline	Line-editing
Rpy	Python interface to R
Scipy	Python library for scientific computation
Singular	fast commutative and noncommutative algebra
Scons	Software construction tool
SQLite	Relation database

Sage est une distribution de logiciels libres

Logiciels inclus dans Sage :

Sympow	L-function calculator
Symmetrica	Representation theory
Sympy	Python library for symbolic computation
Tachyon	lightweight 3d ray tracer
Termcap	for writing portable text mode applications
Twisted	Python networking library
Weave	Tools for including C/C++ code within Python
Zlib	Data compression library
ZODB	Object-oriented database

... ainsi que d'autres progiciels optionnels

Sage est une distribution de logiciels mathématiques

Arithmétique en précision arbitraire

Algèbre

Géométrie algébrique

Géométrie arithmétique

Calcul symbolique

Algèbre linéaire exacte

Algèbre linéaire numérique

Combinatoire

Théorie des graphes

Théorie des groupes

GMP, MPFR, MPFI, NTL, ...

GAP, Maxima, Singular

Singular, Macaulay2 (optionel)

PARI, NTL, mwrnk, ecm, ...

Maxima, Sympy

Linbox, IML

GSL, Scipy, Numpy

Symmetriza, Lrcalc, PALP, Coxeter 3

NetworkX, graphviz (optionel)

GAP

... et bien d'autres!

mathématiques

```
> sage -gap
```

[illegible]

Information at: <http://www.gap-system.org>
Try '?help' for help. See also '?copyright' and '?authors'

Loading the library. Please be patient, this may take a while.
GAP4, Version: 4.4.12 of 17-Dec-2008, x86_64-unknown-linux-gnu-gcc

gap>

Sage est une distribution de logiciels mathématiques

```
> sage -singular
```

```
                SINGULAR                               /  Development
A Computer Algebra System for Polynomial Computations /  version 3-1-1
                                                    0<
    by: G.-M. Greuel, G. Pfister, H. Schoenemann      \   Feb 2010
FB Mathematik der Universitaet, D-67653 Kaiserslautern \
>
```

Sage est une distribution de logiciels mathématiques

```
> sage -maxima
```

```
Maxima 5.22.1 http://maxima.sourceforge.net  
using Lisp ECL 10.4.1  
Distributed under the GNU Public License. See the file COPYING.  
Dedicated to the memory of William Schelter.  
The function bug_report() provides bug reporting information.  
(%i1)
```

Sage est une distribution de logiciels *mathématiques*

```
> sage -gp
```

```
GP/PARI CALCULATOR Version 2.4.3 (development svn-12623)
amd64 running linux (x86-64/GMP-4.2.1 kernel) 64-bit version
compiled: Apr 20 2011, gcc-4.4.3 (Ubuntu 4.4.3-4ubuntu5)
(readline v6.1 enabled, extended help enabled)
```

```
Copyright (C) 2000-2008 The PARI Group
```

```
PARI/GP is free software, covered by the GNU General Public License, and
comes WITHOUT ANY WARRANTY WHATSOEVER.
```

```
Type ? for help, \q to quit.
```

```
Type ?12 for how to get moral (and possibly technical) support.
```

```
parisize = 8000000, primelimit = 500509
?
```

Sage est une distribution de logiciels mathématiques

```
> sage -R
```

```
R version 2.10.1 (2009-12-14)
```

```
Copyright (C) 2009 The R Foundation for Statistical Computing
```

```
ISBN 3-900051-07-0
```

```
R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.  
You are welcome to redistribute it under certain conditions.  
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.
```

```
    Natural language support but running in an English locale
```

```
R is a collaborative project with many contributors.  
Type 'contributors()' for more information and  
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.
```

```
Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or  
'help.start()' for an HTML browser interface to help.  
Type 'q()' to quit R.
```

```
>
```

Sage combine la puissance de multiples logiciels

Demo!

Sage contient une *bibliothèque native*

Sage contient aussi du *nouveau code*
avec de nouvelles fonctionnalités,
disponibles nulle part ailleurs.

- 500k lignes de code
- 2500 classes
- 27200 fonctions
- contenu mathématique riche: catégories, combinatoire, graphes, théorie des nombres, ...
- De nombreux algorithmes exclusifs

Mini historique de Sage

- *2002*: Atelier Calcul Formel Libre à Lyon
- *1999-2005*: William Stein écrit plus de 25,000 lignes de code Magma pour sa recherche. Il réalise que c'est un mauvais investissement à long terme car il ne peut ni voir ni changer l'intérieur de Magma.
- *Fev. 2005*: Sage 0.1, une bibliothèque Python liant ensemble PARI, Maxima, Python, Singular, GAP.

Mini historique de Sage

- *2002*: Atelier Calcul Formel Libre à Lyon
- *1999-2005*: William Stein écrit plus de 25,000 lignes de code Magma pour sa recherche. Il réalise que c'est un mauvais investissement à long terme car il ne peut ni voir ni changer l'intérieur de Magma.
- *Fev. 2005*: Sage 0.1, une bibliothèque Python liant ensemble PARI, Maxima, Python, Singular, GAP.
- *Fev. 2006*: Sage 1.0
Sage Days 1, San Diego, 10 participants?

Mini historique de Sage

- *2002*: Atelier Calcul Formel Libre à Lyon
- *1999-2005*: William Stein écrit plus de 25,000 lignes de code Magma pour sa recherche. Il réalise que c'est un mauvais investissement à long terme car il ne peut ni voir ni changer l'intérieur de Magma.
- *Fev. 2005*: Sage 0.1, une bibliothèque Python liant ensemble PARI, Maxima, Python, Singular, GAP.
- *Fev. 2006*: Sage 1.0
Sage Days 1, San Diego, 10 participants?
- *Fev. 2010*: Sage 4.4.2
Sage Days 20, Luminy (France), 120 participants
- *Version actuelle*: Sage 4.6.1
- 10000 utilisateurs?
- *Financements* (postdoc, workshops, matériel): NSF, ANR, CNRS, Nombreuses universités et instituts, Google, Microsoft Research, ...

Sage est très jeune!

Sage a:

- des bogues
- des incohérences
- des domaines vierges ou non documentées

Sage manque:

- de support natif sous Windows
- de paquet fonctionnel sous Debian / Ubuntu / ...
- d'une bonne modularisation

Liberté!

Sage est entièrement libre

“You can read Sylow’s Theorem and its proof in Huppert’s book in the library ... then you can use Sylow’s Theorem for the rest of your life free of charge, but for many computer algebra systems license fees have to be paid regularly

With this situation two of the most basic rules of conduct in mathematics are violated: In mathematics information is passed on free of charge and everything is laid open for checking.”

*— J. Neubüser (1993)
(started GAP in 1986)*

Liberté d'exécution

En tout lieu, pour tout usage, dans les seules limites de la loi.

Liberté de redistribution de copies

Inclue la liberté de *vendre* des copies!

Intérêt:

- Simplicité administrative et technique
- Utilisation par les étudiants chez eux
- Calcul distant, déploiement à large échelle
- Partage de vos programmes, feuilles de travail
- Non discrimination
- Libre accès aux non académiques
- Pays en voie de développement

Liberté d'étude du fonctionnement

Logiciel *ouvert*: accès au code source

Intérêt:

- Enseignement
- Diffusion de la science
- D'autant plus utile que le code est *expressif*
- Reproductibilité des résultats scientifiques
- Vérification des démonstrations
- Maîtrise des hypothèses, modèles et algorithmes
- Analyse de bogues ou de comportements surprenants

Liberté d'améliorer et de publier ses améliorations

Intérêt:

- Adaptation aux besoins locaux (langue, terminologie métier)
- Développements spécifiques

Communauté

La communauté Sage dans le monde



Il y a actuellement **244** contributeurs à **165** endroits.

La communauté Sage

sites web

`http://www.sagemath.org/`

`http://www.sagemath.fr/`

listes de diffusion

`sage-devel`: développement

`sage-windows`: port vers Windows

`sage-release`: gestion des distributions

`sage-algebra`: algèbre

`sage-combinat-devel`: combinatoire

`sage-finance`: finance

`sage-nt`: théorie des nombres

`sage-grid`: calcul scientifique en grille

`sage-edu`: enseignement

`sagemath-edu`: enseignement (en Français)

IRC

`#sagemath` on `freenode.net`

Journées Sage en 2010

- Sage Days 19: Seattle, WA (January 2010)
- Sage Days 20: Marseille (February 2010)
- Sage Days 20.25: Montreal (March 2010)
- Sage Days 20.5: Fields Institute (May 2010)
- Sage Days 21: Seattle, WA (June 2010)
- Sage-Combinat/Chevie Workshop: France (June 2010)
- Sage Days 22: Berkeley, CA (July 2010)
- Sage Days 23: Leiden, Netherlands (July 2010)
- Sage Days 23.5: Kaiserslautern, Germany (July 2010)
- Sage Days 24: Linz, Austria (July 2010)
- Sage Days 25: Mumbai, India (August 2010)
- Sage Days 25.5 Montréal, Canada (September 2010)
- Sage Days 26 Seattle, Washington (December 7-10, 2010)

Journées Sage en 2011

- Joint Math Meetings: New Orleans, LA (January)
- Sage Days 27: Seattle, WA (January)
- Sage Days 28: Orsay, France (January)
- Sage Days 29: Seattle, WA (March)
- Sage Days 30: Wolfville, NS (May)
- Sage Days 31: Seattle, WA (June)
- Sage Education Days 3: Seattle, WA (June)
- Sage Bug Fix Days 32: Seattle, WA (August)
- Sage Days 33: Seattle, WA (September); Women in Sage
- Sage Singular Days 34: Kaiserslautern, Germany (September)
- Sage Days 34.5: Bobo Dioulasso, Burkina Faso (October)
- Sage Flint Days 35: Warwick UK (December)

2012: Cernay, Bristol, Boston, San-Diego, Montréal, South Korea, Minneapolis, Seattle, Bobo Dioulasso, ...

Quelques livres libres

- *Calcul Mathématique avec Sage*

Alexandre Casamayou, Guillaume Connan

Thierry Dumont, Laurent Fousse

François Maltey, Matthias Meulien

Marc Mezzarobba, Clément Pernet

Nicolas M. Thiéry, Paul Zimmermann

<http://sagebook.gforge.inria.fr/>

July 2010: 1.0 online 2012: printed

Follow up to: *Calcul formel, mode d'emploi*

Dumas, Gomez, Salvy, Zimmermann

- *The Sage tutorial*: <http://www.sagemath.org/doc>

David Joyner, William Stein et al.

- *A First Course in Linear Algebra*: <http://linear.ups.edu>

Robert Beezer

Modèle de développement

Principes fondateurs de Sage

- Développé par des chercheurs pour des chercheurs
- Entièrement libre (GPL)

Principes fondateurs de Sage

- Développé par des chercheurs pour des chercheurs
- Entièrement libre (GPL)
- « Construire la voiture, plutôt que de réinventer la roue »
 - Atlas, GAP, GMP, Linbox, Maxima, MPFR, PARI/GP, NetworkX, NTL, Numpy/Scipy, Singular, Symmetrica, ...
 - Langage de programmation standard (Python)

Principes fondateurs de Sage

- Développé par des chercheurs pour des chercheurs
- Entièrement libre (GPL)
- « Construire la voiture, plutôt que de réinventer la roue »
 - Atlas, GAP, GMP, Linbox, Maxima, MPFR, PARI/GP, NetworkX, NTL, Numpy/Scipy, Singular, Symmetrica, ...
 - Langage de programmation standard (Python)
- Modèle de développement type « Bazar »
- Prosélytisme actif

Le langage de programmation de Sage est Python

Python est un langage de programmation multiparadigme interprété.

- Facile à utiliser comme une calculatrice :

```
python: x = 17
python: x
17
python: 3*x
51
```

- Facile à lire et à écrire :

```
math:  $\{17x \mid x \in \{0, 1, \dots, 9\} \text{ and } x \text{ is odd}\}$ 
python: [17*x for x in range(10) if x%2 == 1]
```

Le langage de programmation de Sage est Python

Python est un langage largement utilisé:

- Un des 5 principaux langages de programmation avec des millions de programmeurs

Le langage de programmation de Sage est Python

Python est un langage largement utilisé:

- Un des 5 principaux langages de programmation avec des millions de programmeurs
- *“Google has made no secret of the fact they use Python a lot for a number of internal projects. Even knowing that, once I was an employee, **I was amazed at how much Python code there actually is in the Google source code system.**”*
— Guido van Rossum (créateur de Python)

Le langage de programmation de Sage est Python

Python est un langage largement utilisé:

- Un des 5 principaux langages de programmation avec des millions de programmeurs
- *“Google has made no secret of the fact they use Python a lot for a number of internal projects. Even knowing that, once I was an employee, **I was amazed at how much Python code there actually is in the Google source code system.**”*
— Guido van Rossum (créateur de Python)
- Beaucoup de *bibliothèques* pour Python: base de données, graphiques, réseau, calcul parallèle...

Le langage de programmation de Sage est Python

Python est un langage largement utilisé:

- Un des 5 principaux langages de programmation avec des millions de programmeurs
- *“Google has made no secret of the fact they use Python a lot for a number of internal projects. Even knowing that, once I was an employee, **I was amazed at how much Python code there actually is in the Google source code system.**”*
— Guido van Rossum (créateur de Python)
- Beaucoup de *bibliothèques* pour Python: base de données, graphiques, réseau, calcul parallèle...
- Facile d'interfacer des *bibliothèques C/C++/Fortran* avec Python.
- *Cython*: code Python $\longleftrightarrow$ code C

Le langage de programmation de Sage est Python

Python est un langage largement utilisé:

- Un des 5 principaux langages de programmation avec des millions de programmeurs
- *“Google has made no secret of the fact they use Python a lot for a number of internal projects. Even knowing that, once I was an employee, **I was amazed at how much Python code there actually is in the Google source code system.**”*
— Guido van Rossum (créateur de Python)
- Beaucoup de *bibliothèques* pour Python: base de données, graphiques, réseau, calcul parallèle...
- Facile d'interfacer des *bibliothèques C/C++/Fortran* avec Python.
- *Cython*: code Python $\longleftrightarrow$ code C
- Python is becoming a major platform for scientific computing

Objectif: code, tests et documentation de haute qualité

Tout nouveau code est :

- rigoureusement testé
- correctement documenté
- revu par les pairs

```
> sage -coverageall
```

```
...
```

```
Overall weighted coverage score: 84.8%
```

```
Total number of functions: 27200
```

```
We need 47 more function to get to 85% coverage.
```

```
We need 1407 more function to get to 90% coverage.
```

```
We need 2767 more function to get to 95% coverage.
```

Cycle de développement

Centre de développement Sage

<http://trac.sagemath.org/>

Tickets et patches

Exemples: #8154, #8890

Release cycle

Nouvelles versions toutes les deux mois environ

*-Combinat: it all started there



Le projet Sage-Combinat (2000-2012)

Mission

« Améliorer MuPAD/Sage comme boîte à outils extensible pour l'exploration informatique en combinatoire algébrique, en fédérant et mutualisant les efforts de développements des chercheurs »

Le projet Sage-Combinat (2000-2012)

Mission

« Améliorer MuPAD/Sage comme boîte à outils extensible pour l'exploration informatique en combinatoire algébrique, en fédérant et mutualisant les efforts de développements des chercheurs »

Stratégie

- Licence libre pour partager avec le plus grand nombre
En restant pragmatique dans les collaborations
- Développement décentralisé et international
Garantie d'indépendance vis-à-vis des tutelles
- Développé par des chercheurs pour des chercheurs
Avec un usage plus large en vue
- Coeur du développement par des permanents
Les doctorants se concentrent sur leurs propres besoins
- Chaque ligne de code justifiée par un projet de recherche
Avec une vision à long terme (développement agile)
- Inspiration des informaticiens:
Concepts et méthodologies de programmation
Outils de développement coopératif

Le projet Sage-Combinat: 10 ans après

En quelques chiffres

- MuPAD/C++: 600 classes, 5000 méthodes, 160k lignes de code+doc+tests
- Sage (Python): 300 tickets / 200k lignes de code+doc+tests
- Financements: ANR, PEPS, NSF, Google Summer of Code

Le projet Sage-Combinat: 10 ans après

En quelques chiffres

- MuPAD/C++: 600 classes, 5000 méthodes, 160k lignes de code+doc+tests
- Sage (Python): 300 tickets / 200k lignes de code+doc+tests
- Financements: ANR, PEPS, NSF, Google Summer of Code
- **70+ articles de recherche:**
 - Combinatoire algébrique, énumérative, des mots, ...
 - Test de programmes (LRI: Denise, Gaudel, Gouraud, Oudinet)

Le projet Sage-Combinat: 10 ans après

En quelques chiffres

- MuPAD/C++: 600 classes, 5000 méthodes, 160k lignes de code+doc+tests
- Sage (Python): 300 tickets / 200k lignes de code+doc+tests
- Financements: ANR, PEPS, NSF, Google Summer of Code
- **70+ articles de recherche:**
 - Combinatoire algébrique, énumérative, des mots, ...
 - Test de programmes (LRI: Denise, Gaudel, Gouraud, Oudinet)

Une communauté internationale

- Barcelonne, Davis, Lyon, Marne, Marseille, Montpellier, Orsay, Paris, Rouen, Philadelphie, Seattle, Stanford, Montreal, Toronto, ...
- Abbad, Berg, Borie, Bump, Bandlow, Boussicault, Chapoton, Delecroix, Dehaye, Denton, Descouens, Drake, Gomez Diaz, Feray, Hansen, Hemmecke, Hivert, Jones, Labbé, Laigle-Chapuy, Laugerotte, Lemeur, Mallet, Mathas, Molinero, Monteil, Musiker, Novelli, Nzeutchap, Pon, Pons, Rubey, Saliola, Schilling, Shimozone, Stump, Tevlin, Thiéry, Walker, Wang, Zabrocki, ...

*-Combinat

Me

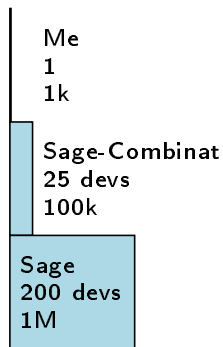
1

1k

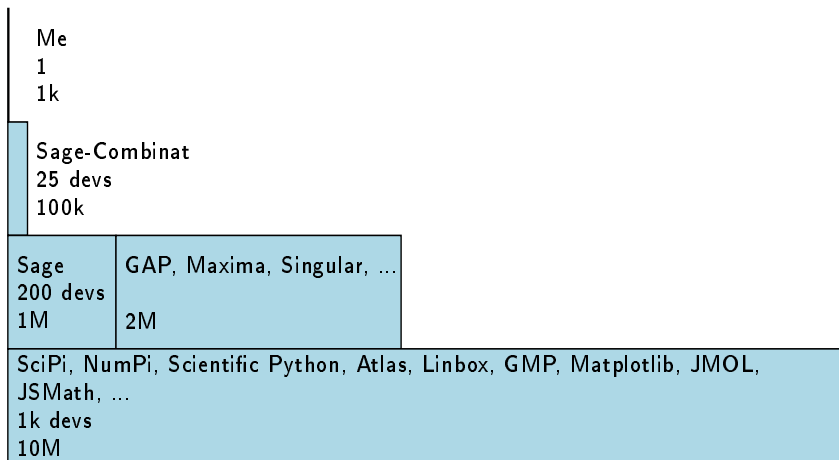
*-Combinat

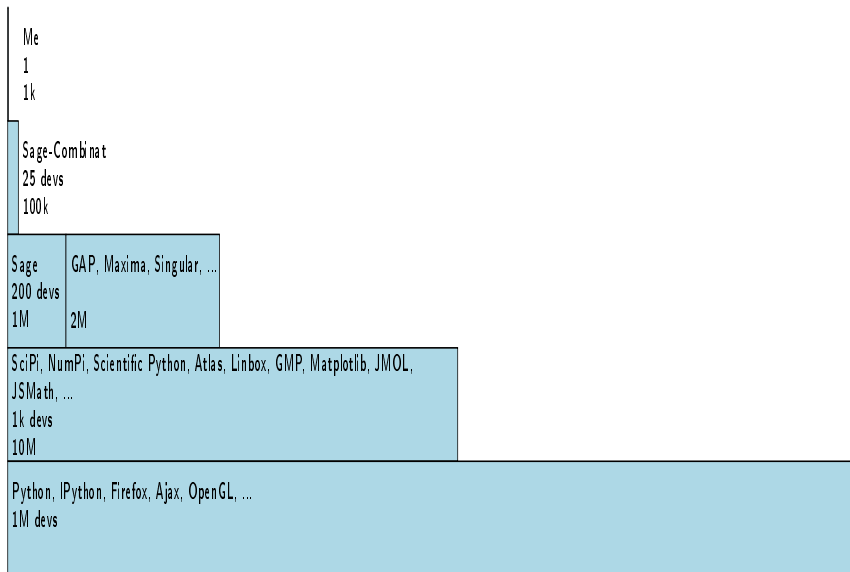
15 devs

100k

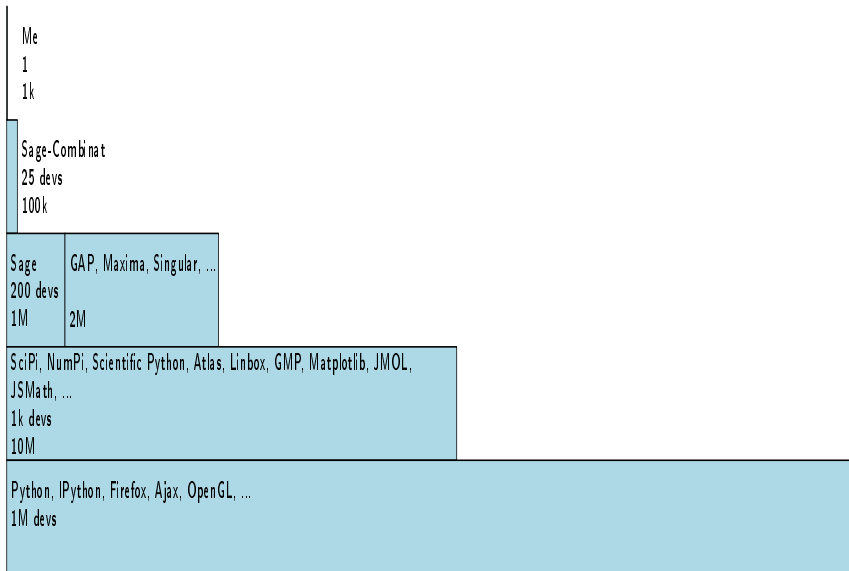


Me	
1	
1k	
Sage-Combinat	
25 devs	
100k	
Sage	GAP, Maxima, Singular, ...
200 devs	
1M	2M





On the shoulders of a giant



Cerises sur le gâteau

Sage as a Python library

script.py:

```
from sage.all import *  
  
x = var('x')  
f = x**2 + 3*x + 1  
print diff(f, x)
```

execution and output:

```
> sage -python script.py  
2*x + 3
```

On peut utiliser Sage avec $\text{\LaTeX}$

dans $\text{\LaTeX}$:

Voila un arbre:

```
\sageplot{Graph({0:[1,2,3], 2:[4,5]}).plot()}
```

On peut utiliser Sage avec $\text{\LaTeX}$

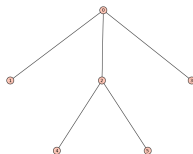
dans $\text{\LaTeX}$:

Voilà un arbre:

```
\sageplot{Graph({0:[1,2,3], 2:[4,5]}).plot()}
```

dans le document:

Voilà un arbre:



On peut utiliser Sage avec $\text{\LaTeX}$

dans $\text{\LaTeX}$:

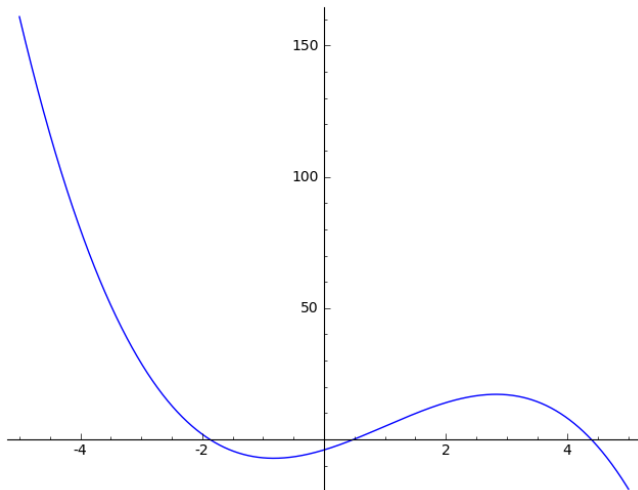
```
\sageplot{plot(-x^3+3*x^2+7*x-4,-5,5)}
```

On peut utiliser Sage avec $\text{\LaTeX}$

dans $\text{\LaTeX}$:

```
\sageplot{plot(-x^3+3*x^2+7*x-4,-5,5)}
```

dans le document:



On peut utiliser Sage avec $\text{\LaTeX}$

dans $\text{\LaTeX}$:

```
\begin{sagesilent}
  t6 = Tachyon(camera_center=(1.25,-3.85,0.65), xres=800, yres=600,
    raydepth=12, aspectratio=.75, antialiasing=True)
  t6.light((0.02,0.012,0.001), 0.01, (1,0,0))
  t6.light((0,0,10), 0.01, (0,0,1))
  t6.texture('s', color=(.8,1,1), opacity=.9, specular=.95, \
    diffuse=.3, ambient=0.05)
  t6.texture('p', color=(0,0,1), opacity=1, specular=.2)
  t6.sphere((-1,-.57735,-0.7071),1,'s')
  t6.sphere((1,-.57735,-0.7071),1,'s')
  t6.sphere((0,1.15465,-0.7071),1,'s')
  t6.sphere((0,0,0.9259),1,'s')
  t6.plane((0,0,-1.9259),(0,0,1),'p')
\end{sagesilent}
\sageplot{t6}
```

On peut utiliser Sage avec $\text{\LaTeX}$

dans le document:

