

# Le système Sage

Jean-Pierre Flori

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

ANSSI

Groupe d'utilisateurs de Sage en région parisienne, 19/09/2013



# Outline

- 1 Sage?
- 2 Liberté !
- 3 Communauté
- 4 Modèle de développement
- 5 Cerises sur le gâteau
- 6 Sage et LaTeX

# Sage?

## La mission de Sage

« *Créer une alternative libre et viable à Maple<sup>TM</sup>,  
Mathematica<sup>TM</sup>, Magma<sup>TM</sup> et MATLAB<sup>TM</sup>*

...

## La mission de Sage

« Créer une alternative libre et viable à Maple<sup>TM</sup>,  
Mathematica<sup>TM</sup>, Magma<sup>TM</sup> et MATLAB<sup>TM</sup>

...

et une communauté accueillante d'utilisateurs et de  
développeurs»

## Principes fondateurs de Sage

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

## Principes fondateurs de Sage

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

## Principes fondateurs de Sage

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



# Sage Demo

Démo !

# Sage est une distribution de logiciels libres

## Logiciels inclus dans Sage :

ATLAS	Automatically Tuned Linear Algebra Software
BLAS	Basic Fortran 77 linear algebra routines
Boehm GC	Garbage collector
Boost	C++ libraries
Bzip2	High-quality data compressor
Cddlib	Double Description Method of Motzkin
Cephes	Special functions and other goodies in C
CVXOPT	Convex optimization, linear programming, least squares
Cliquer	Find cliques in arbitrary graphs
Cython	C-Extensions for Python
Docutils	Modular system for processing documentation
ECL	An implementation of the Common Lisp Language.
ECLib	Cremona's Programs for Elliptic curves

# Sage est une distribution de logiciels libres

## Logiciels inclus dans Sage :

FFLAS-FFPACK	Fast linear algebra over word-size finite field
FLINT	Fast Library for Number Theory
FLINTqs	Quadratic sieve based on FLINT
FpLLL	Euclidian lattice reduction
FreeType	A Free, High-Quality, and Portable Font Engine
GAP	Groups, Algorithms, Programming
GCC	GNU Compiler Collection
GD	Dynamic graphics generation tool
GDmodule	Interface to GD
Genus2reduction	Curve data computation
Gfan	Gröbner fans and tropical varieties
Givaro	C++ library for arithmetic and algebra
GLPK	Solving large-scale LP, MIP, and other problems

# Sage est une distribution de logiciels libres

## Logiciels inclus dans Sage :

GMP-ECM	Elliptic Curve Method for Integer Factorization
GSL	Gnu Scientific Library
Iconv	Enable different languages
IML	Integer Matrix Library
IPython	Interactive Python shell
Jinja	Template engine for Python
Jmol	Molecule viewer
LAPACK	Linear Algebra PACKage
Lcalc	L-functions calculator
LRCalc	Littlewood-Richardson Calculator
Linbox	C++ linear algebra library
M4RI	Matrix multiplication and more over $GF(2)$
M4RIE	Matrix multiplication and more over $GF(2^k)$

# Sage est une distribution de logiciels libres

## Logiciels inclus dans Sage :

Matplotlib	Python plotting library
Maxima	computer algebra system
Mercurial	Revision control system
MPC	Arithmetic of complex numbers
MPFI	Multiple Precision Floating-point Interval library
MPFR	C library for multiple-precision floating-point computations
MPIR	Multiprecision integer library derived from GMP
Mpmath	Python library for multiprecision FP arithmetic
NetworkX	Graph theory
NTL	Number theory C++ library
Numpy	Numerical linear algebra
OpenCDK	Open Crypto Development Kit
PALP	A Package for Analyzing Lattice Polytopes

# Sage est une distribution de logiciels libres

## Logiciels inclus dans Sage :

PARI/GP	Number theory calculator
Patch	Apply diff files
Pexpect	Pseudo-tty control for Python
PIL	Power image processing and graphic capabilities
PNG	Bitmap image support
PolyBoRi	Polynomials Over Boolean Rings
PPL	Parma Polyhedra Library
PyCrypto	Python Cryptography Toolkit
Pygments	Syntax highlighting for Python
Pynac	Symbolic calculus
Python	Interpreted language
R	Statistical Computing
Ratpoints	Search for rational points on hyperelliptic curves

# Sage est une distribution de logiciels libres

## Logiciels inclus dans Sage :

Readline	Line-editing
Rpy	Python interface to R
Rubiks	Rubik's cubes
SageNB	A web-based interface
SageTeX	Embed Sage code and results into LaTeX documents
Scipy	Python library for scientific computation
Scons	Software construction tool
Setuptools	Enhancements to Python's distutils
Singular	Fast commutative and noncommutative algebra
Sphinx	Create intelligent and beautiful documentation
SQLAlchemy	Python SQL toolkit
SQLite	Relation database
Symmetrica	Representation theory

Sage est une distribution de logiciels libres

Logiciels inclus dans Sage :

Sympow	L-function calculator
Sympy	Python library for symbolic computation
Tachyon	lightweight 3d ray tracer
Termcap	for writing portable text mode applications
Zlib	Data compression library
ZNpoly	Polynomial arithmetic in $Z/nZ[x]$
ZODB	Object-oriented database



Sage est une *distribution* de logiciels libres

Des bases de données :

Conway polynomials	Database of Conway polynomials
Elliptic curves	Elliptic curves database
Graphs	Graphs database
Polytopes	Database of polytopes

Sage est une *distribution* de logiciels libres

Des bases de données :

Conway polynomials	Database of Conway polynomials
Elliptic curves	Elliptic curves database
Graphs	Graphs database
Polytopes	Database of polytopes

*... et bien plus encore!*

# 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

Symmetrca, Lrcalc, PALP, ...

NetworkX, graphviz (optionel)

GAP

*... et bien d'autres!*

# Sage est une distribution de logiciels mathématiques

```
> sage -gap
```

```
/-----\   GAP, Version 4.6.4 of 04-May-2013 (free software, GPL)
|  GAP  |   http://www.gap-system.org
\-----/   Architecture: x86_64-unknown-linux-gnu-gcc-default64
Libs used:  gmp, readline
Loading the library and packages ...
Packages:   GAPDoc 1.5.1
Try '?help' for help. See also  '?copyright' and  '?authors'
gap>
```

# Sage est une distribution de logiciels mathématiques

```
> sage -singular
```

```
                SINGULAR                               /  Development
A Computer Algebra System for Polynomial Computations /  version 3-1-5
                                                    0<
by: W. Decker, G.-M. Greuel, G. Pfister, H. Schoenemann \  Jul 2012
FB Mathematik der Universitaet, D-67653 Kaiserslautern  \
>
```

# Sage est une distribution de logiciels mathématiques

```
> sage -maxima
```

```
Maxima 5.29.1 http://maxima.sourceforge.net  
using Lisp ECL 12.12.1  
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 2.5.4 (development git-52bd53b)
  amd64 running linux (x86-64/GMP-5.0.2 kernel) 64-bit version
  compiled: Aug 13 2013, gcc-4.7.3 (Debian 4.7.3-4)
  (readline v6.2 enabled, extended help enabled)
```

```
Copyright (C) 2000-2013 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 = 800000000, primelimit = 500509
```

```
?
```

# Sage est une distribution de logiciels mathématiques

```
> sage -R
```

```
R version 2.15.2 (2012-10-26) -- "Trick or Treat"  
Copyright (C) 2012 The R Foundation for Statistical Computing  
ISBN 3-900051-07-0  
Platform: x86_64-unknown-linux-gnu (64-bit)
```

```
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.
```

```
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 *code original*  
offrant de nouvelles fonctionnalités,  
disponibles nulle part ailleurs.

- environ 1200000 lignes de code
- environ 3300 classes
- environ 32000 fonctions
- contenu mathématique riche: catégories, combinatoire, graphes, théorie des nombres, ...
- De nombreux algorithmes exclusifs

## Sage offrent différentes interfaces

- une interface en ligne de commande utilisant iPython
- une interface graphique utilisant un serveur web
- un accès dans le nuage à <http://cloud.sagemath.org>
- les Sage cells

> sage

```

-----
| Sage Version 5.12.beta5, Release Date: 2013-09-06           |
| Type "notebook()" for the browser-based notebook interface. |
| Type "help()" for help.                                     |
-----
*****
*                                                             *
* Warning: this is a prerelease version, and it may be unstable. *
*                                                             *
*****
sage:

```

## Sage est portable

Versions natives de Sage pour :

- (La plupart des) Linux
- Solaris (32 et 64 bits)
- FreeBSD
- (La plupart des) Mac OS X

Mais aussi utilisable sous Windows

- en se connectant à un serveur Sage
- à l'aide d'une machine virtuelle
- sous Cygwin (et bientôt Cygwin 64)

## Mini historique de Sage

- *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

- *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

- *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
- *Mai 2012*: Sage 5.0  
Mac OSX Lion support
- *Version actuelle* : Sage 5.11
- *Bientôt* : Sage 6.0  
git remplace mercurial
- Quelques (dizaines de ?) milliers d'utilisateurs?

# Sage est encore jeune!

Sage a :

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



## Sage est encore 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 d'exécution

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

### Liberté de redistribution de copies

Inclut la liberté de  *vendre*  des copies!

## Liberté d'exécution

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

### Liberté de redistribution de copies

Inclut la liberté de  *vendre*  des copies!

### Intérêt :

- Simplicité administrative et technique

## Liberté d'exécution

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

### Liberté de redistribution de copies

Inclut la liberté de  *vendre*  des copies!

#### Intérêt :

- Simplicité administrative et technique
- Utilisation par les étudiants chez eux

## Liberté d'exécution

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

### Liberté de redistribution de copies

Inclut la liberté de *vendre* des copies!

### Intérêt :

- Simplicité administrative et technique
- Utilisation par les étudiants chez eux
- Calcul distant, déploiement à large échelle



## Liberté d'exécution

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

### Liberté de redistribution de copies

Inclut 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

## Liberté d'exécution

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

### Liberté de redistribution de copies

Inclut 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:

# 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*

# 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

# 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

# Liberté d'améliorer et de publier ses améliorations

## Intérêt:

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



# Liberté d'améliorer et de publier ses améliorations

## Intérêt:

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

# Liberté d'améliorer et de publier ses améliorations

## Intérêt:

- Adaptation aux besoins locaux (langue, terminologie métier)
- Développements spécifiques
- Corrections de bogues
  
- Autonomie et pouvoir potentiel

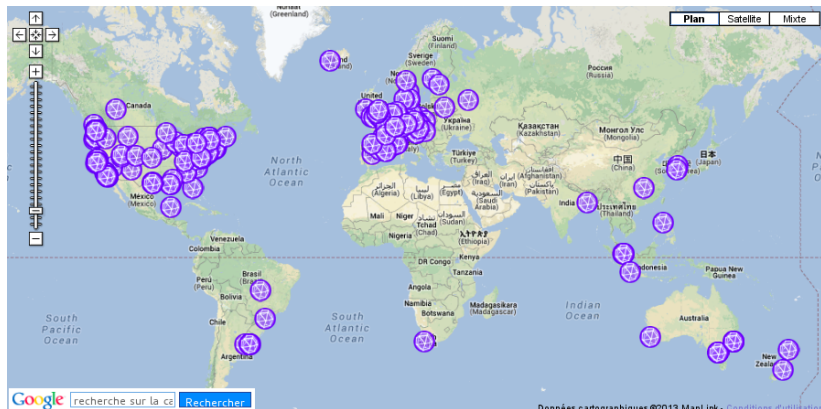
# Liberté d'améliorer et de publier ses améliorations

## Intérêt:

- Adaptation aux besoins locaux (langue, terminologie métier)
- Développements spécifiques
- Corrections de bogues
  
- Autonomie et pouvoir potentiel
- Mutualisation des efforts
- Importance des communautés

# Communauté

# La communauté Sage dans le monde



Il y a actuellement **260** contributeurs à **177** endroits.

# La communauté Sage

## *sites web*

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

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

`http://ask.sagemath.org/`

## *listes de diffusion*

`sage-support: support`

`sage-devel: développement`

`sage-release: gestion des distributions`

`sage-algebra: algèbre`

`sage-combinat-devel: combinatoire`

`sage-nt: théorie des nombres`

`sage-padics: p-adiques`

`sage-edu: enseignement`

`...: et bien d'autres !`

## *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)



## Journées Sage en 2012

- Sage Days 35.5: Wenham, MA (January)
- Sage-Combinat days: Cernay, France (February)
- Sage Notebook Days 1: Seattle, WA (February)
- Sage-Combinat Days 35.8: Hannover, Germany (February)
- Sage Days 36: San Diego, CA (February)
- Review Days 2: Seattle, WA (March)
- Sage Days 36.5: Seattle, WA (April)
- Sage Days 37: Seoul, Korea (April)
- Sage Days 38: Montreal, Canada (May)
- Sage Days 39: Fukuoka, Japan (May)
- SAGE-Combinat Days 40: Minneapolis, MN (July)
- Sage Days 40.5: Wallace Falls Lodge, WA (May)
- Sage Days 41: Seattle, WA (June)
- Sage Days 42: Wallace Falls Lodge, WA (July)
- Sage Days 43 Bobo Dioulasso, Burkina Faso (October)

## Journées Sage en 2013

- Online databases: Edinburgh, UK (January)
- Sage Days 44: Madison, WI (February)
- Sage Days 45: Brown, RI (February)
- Sage Days 46: Hawaii (February)
- Sage Days 47: Portland, OR (March)
- Automorphic Forms, Combinatorial Representation Theory and Multiple Dirichlet Series: Brown
- FLINT Developers Meeting: Warwick, UK (May)
- Sage Days 47.5: Montreal, Canada (May)
- Sage Days 48: Seattle, WA (June)
- Sage Days 49: Paris, France (June)
- Sage Days 50: Seattle, Wa (July)
- Sage Days 51: Leiden, Netherlands (July)
- Sage Days 52: Rennes, France (September)
- Sage Days 53: Oxford, UK (September)
- Sage Days 53.5: Shinshu, Japan (September)
- ...

## 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

# Sage et enseignement en France

- <http://sagemath-edu.fr/wiki/>
- Utilisation à large échelle à Lyon, Strasbourg
- Sage accepté à l'oral de l'agreg depuis 2012 !

# Modèle de développement

## 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 | x ∈ {0, 1, ..., 9} and x 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
- *“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

# 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



# 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  $\text{\LaTeX}$ :

Voilà un arbre:

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

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

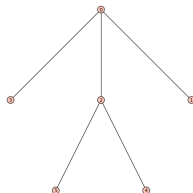
dans  $\text{\LaTeX}$ :

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  $\text{\LaTeX}$ :

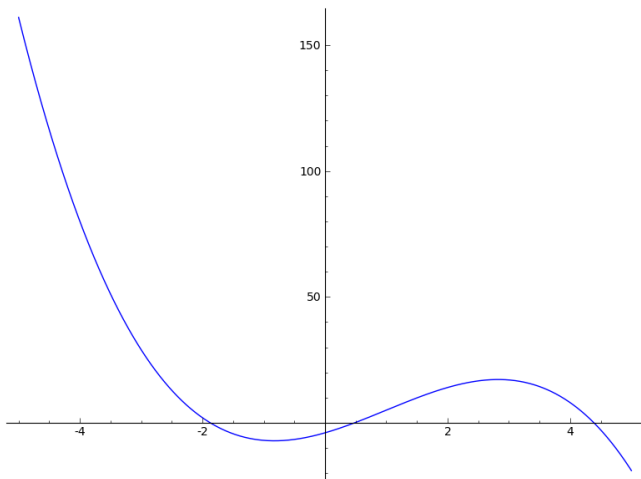
```
\sageplot{plot(-x^3+3*x^2+7*x-4,-5,5)}
```

# 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:

