

# SALOME, построение геометрии

Эффективное использование открытых  
пакетов SALOME, CalculiX, OpenFOAM  
для создания расчётных сеток в задачах  
МСС

Калиш С.А. (НИЦ «Курчатовский институт»)

Крапошин М.В. (НИЦ «Курчатовский институт»)

Тагиров А.М. (НИЦ «Курчатовский институт»)

Сибгатуллин И.Н. (НИИ механики МГУ им.  
Ломоносова)

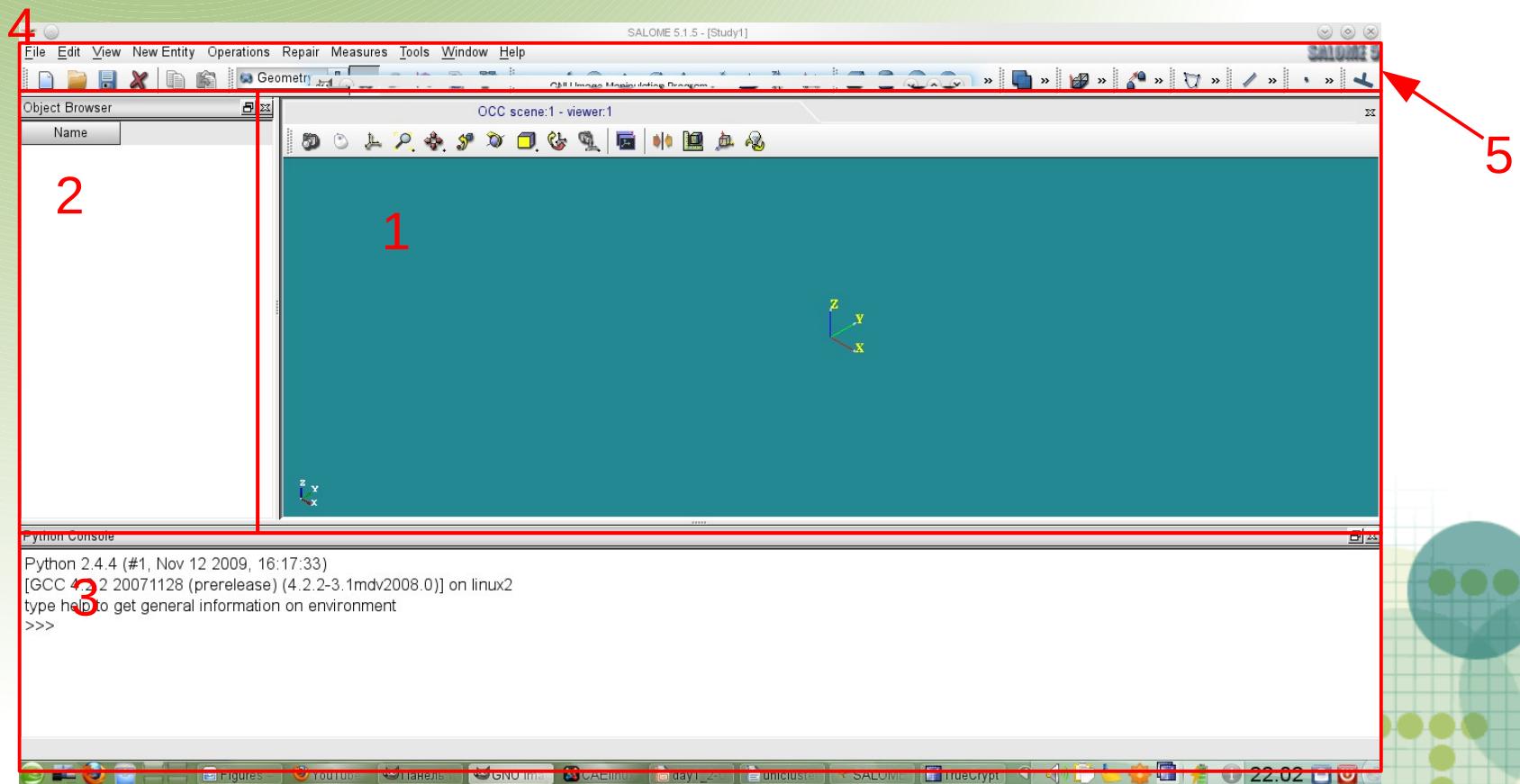
Стрижак С.В. (МГТУ им. Баумана)



# SALOME, построение геометрии

## Интерфейс модуля Geometry.

Основное окно (1,центр), дерево объектов (2, слева), окно сообщений системы (3, снизу), меню (4, сверху), панель инструментов (5, между меню и основным окном). Окно снизу (3) можно убрать, нажав на крестик



# SALOME, построение геометрии

## Возможности модуля Geometry

Цель модуля GEOM — подготовка геометрии расчетной области. Нельзя рассматривать этот модуль как исключительно чертежный инструмент.

Требования к геометрии определяются требованиями к расчетной сетке:  
структурированная/неструктурированная, тип элементов

Геометрия может быть создана как полностью в SALOME, так и импортирована из других программ (SolidWorks, AutoCAD Mechanical Desktop, ICEM CFD), форматы: IGES, STEP, BREP.

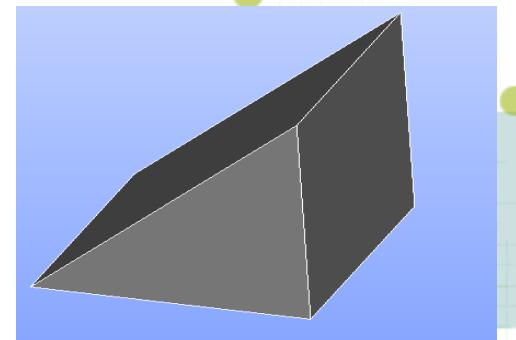
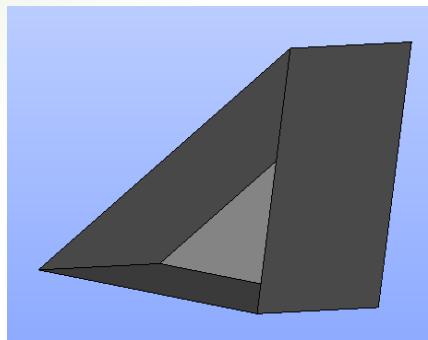
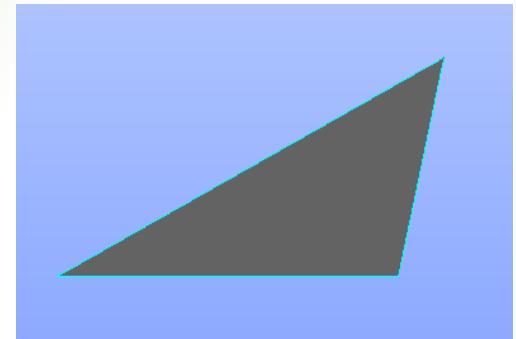
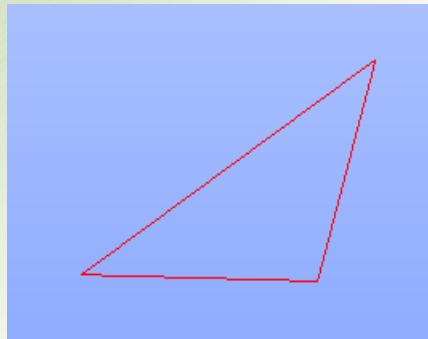
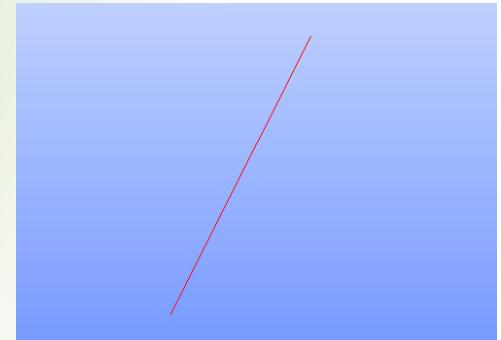
Возможно также импортировать геометрию из любого другого формата с использованием интерфейса к языку Python



# SALOME, построение геометрии

## Основные объекты модуля Geom

- 1) Точка (vertex)
- 2) Ребро (edge)
- 3) Контур (wire)
- 4) Поверхность (face)
- 5) Оболочка (shell)
- 6) Объем (solid)



# SALOME, построение геометрии

## Парадигмы конструирования

Возможно два основных способа создания геометрии (или их комбинации): «снизу-вверх» и «сверху-вниз»

«снизу-вверх»

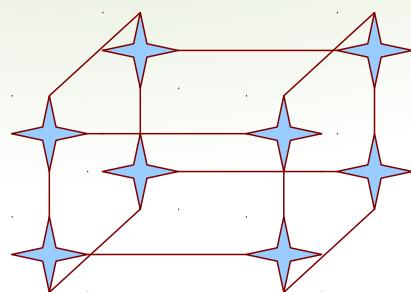
Точки



Рёбра и  
границы

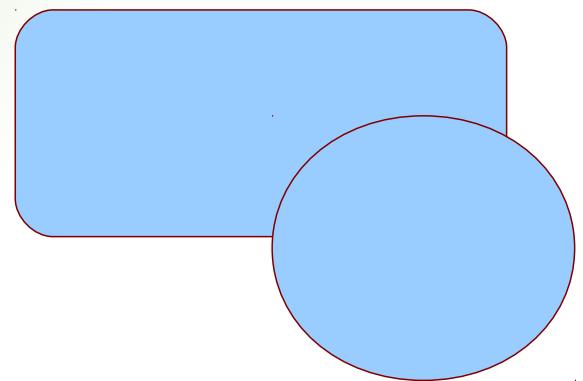


Объёмы

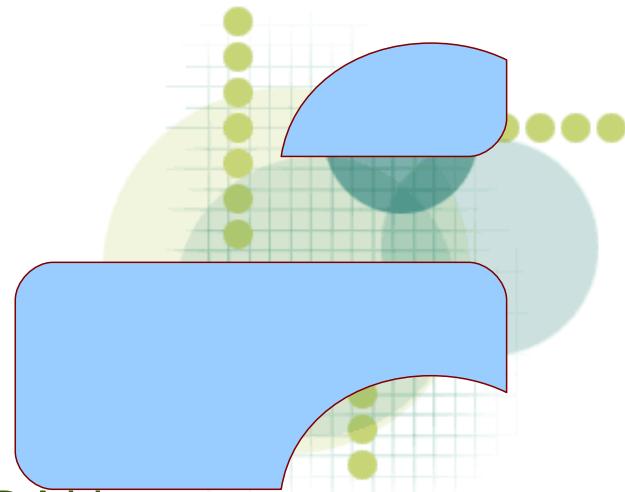


«сверху-вниз»

Объекты



Пересечение



Вычитание

## Основные операции

В основе всех операций лежит аналитическая геометрия: все объекты представляют собой геометрические фигуры, связанные друг с другом через некоторое пространственное соотношение. Объекты более высокой размерности состоят из множества фигур меньшей размерности.

Примеры:

- 1) Точка определяется как радиус-вектор (нужны три координаты)
- 2) Линия проводится от начала (точка) до конца (точка)
- 3) Для определения окружности нужен центр (точка), радиус (число) и вектор нормали
- 4) Вытягивание плоскости — объём
- 5) Поворот плоскости
- 6) Объединение объектов



Если SALOME не может представить объект с помощью уравнения, то используется интерполяция, точность которой будет падать по мере сложности представления → нужен регулярный контроль точности

## Основные операции

### Основные группы операций

- 1) Создание плоских примитивов
- 2) Создание объёмных примитивов
- 3) Операции создания с повышением размерности (вытягивание)
- 4) Булевы операции — сложение, вычитание, произведение
- 5) Операции преобразования координат
- 6) Блочные операции — создание комплексных объектов или их разбиение
- 7) Операции сглаживания углов
- 8) Объединение объектов (напр., рёбер в каркасы, грани в поверхности)
- 9) Операции «разрезания»
- 10) Восстановление поврежденной геометрии
- 11) Анализ геометрии — пространственные характеристики, точность аппроксимации, поиск повреждений



## Основные операции

Создание примитивов — пункты меню New Entity → Basic, New Entity → Primitives, New Entity → Generation

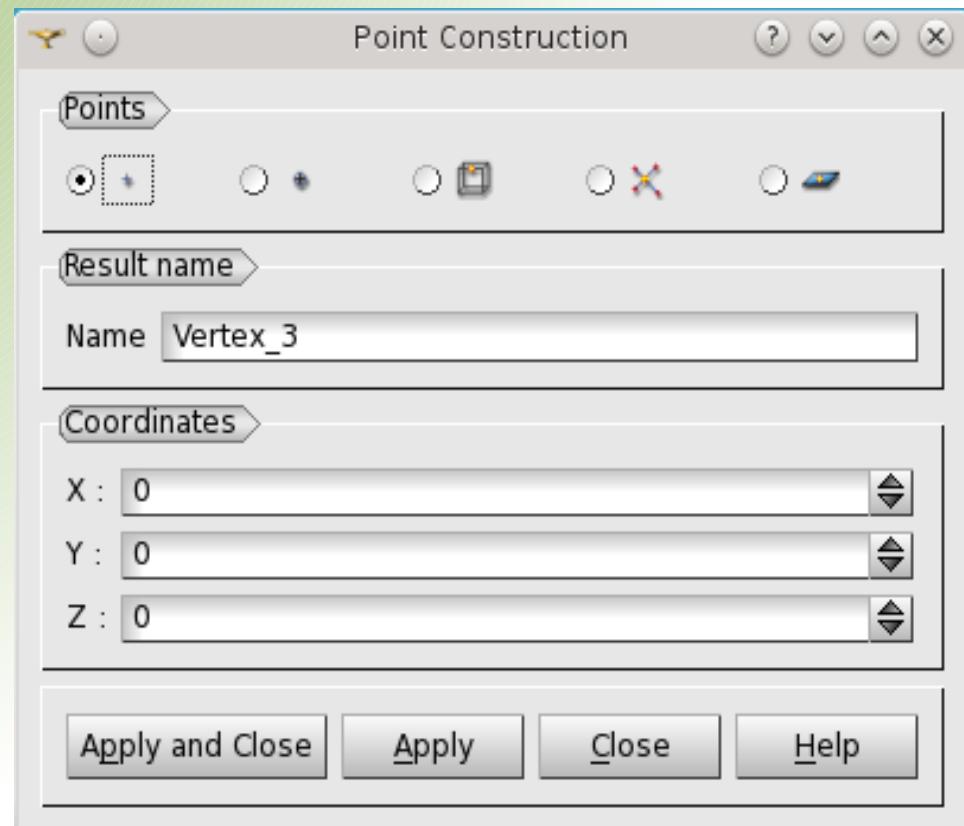
- 1) Создание плоских примитивов
- 2) Создание объёмных примитивов
- 3) Операции создания с повышением размерности (вытягивание)



## Создание примитивов. Точка.

Для большинства объектов модуля Geom существует несколько вариантов построения с разными наборами аргументов. Например, для точки:

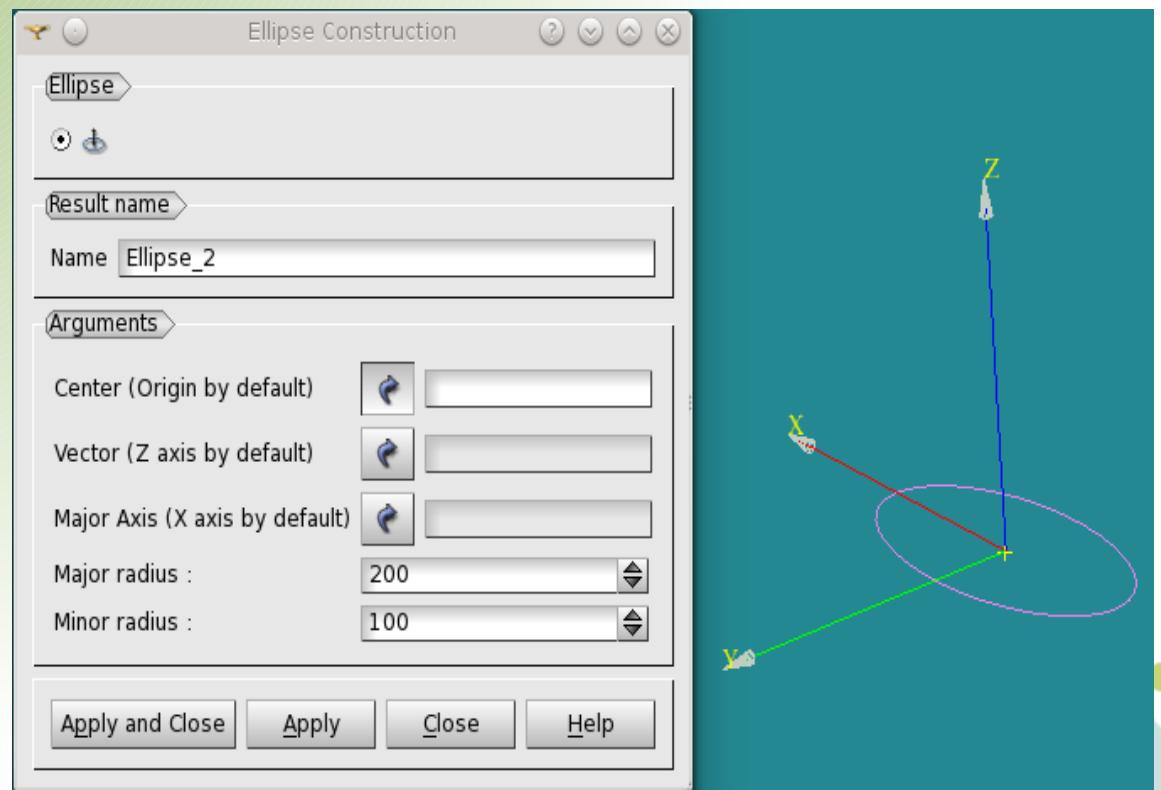
- Построение по заданным координатам
- Построение по другой точке и заданному смещению
- Построение точки на ребре с заданием расположения точки на этом ребре
- Построение точки на пересечении ребер
- Построение точки на поверхности с параметрическим заданием положения точки на этой поверхности



## Создание примитивов. Эллипс.

При построении эллипса необходимо задать:

- Центр эллипса
- Вектор нормали
- Вектор большой полуоси
- Большой и малый радиусы

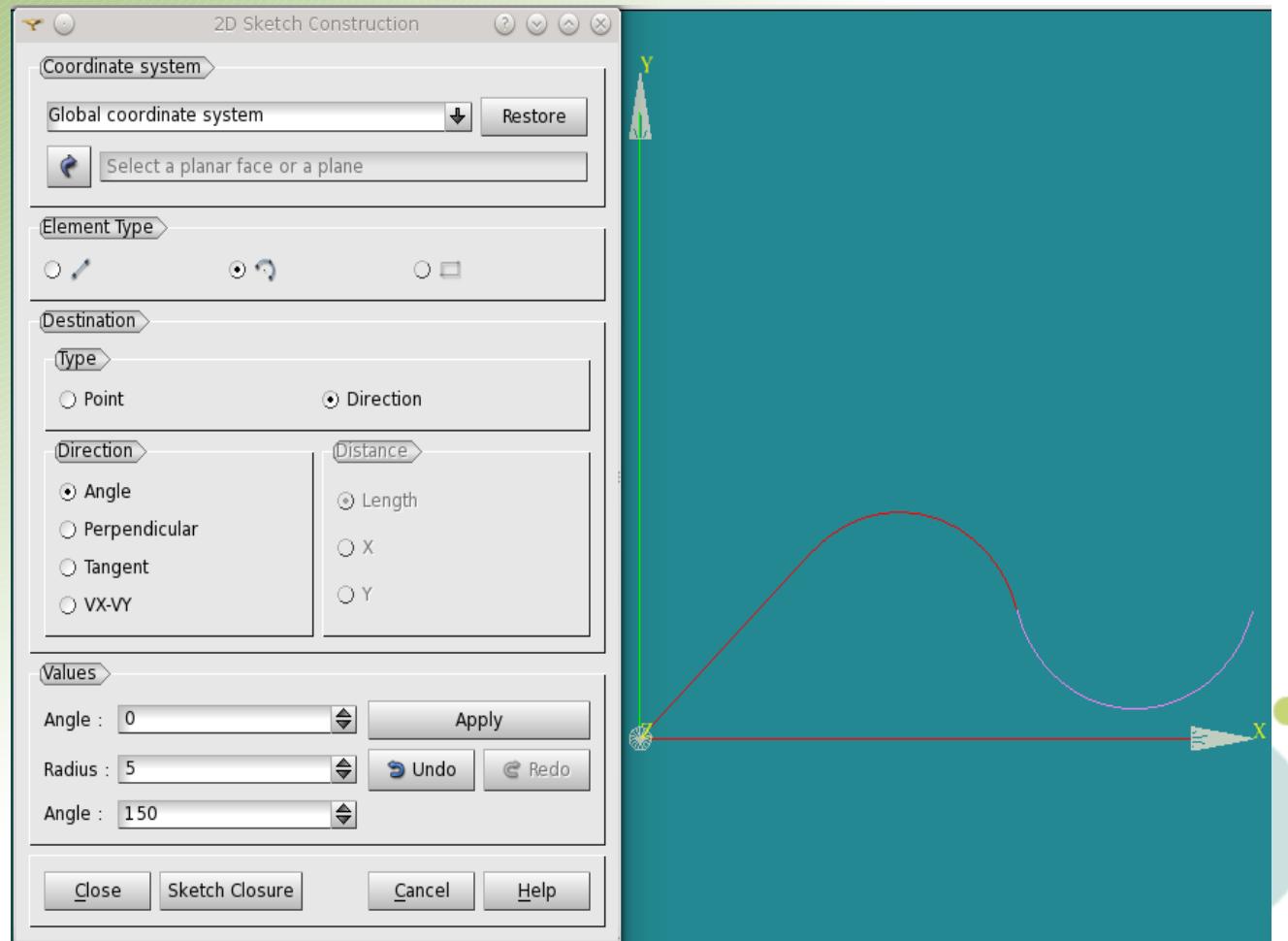


# SALOME, построение геометрии

## Создание примитивов. Скетч.

Скетч — создание сложного контура путем последовательного построения ребер.

- 2 варианта: 2D Sketch и 3D Sketch
- В 2D Sketch можно конструировать как прямые, так и криволинейные ребра.
- В 2D Sketch возможна привязка к локальной системе координат.

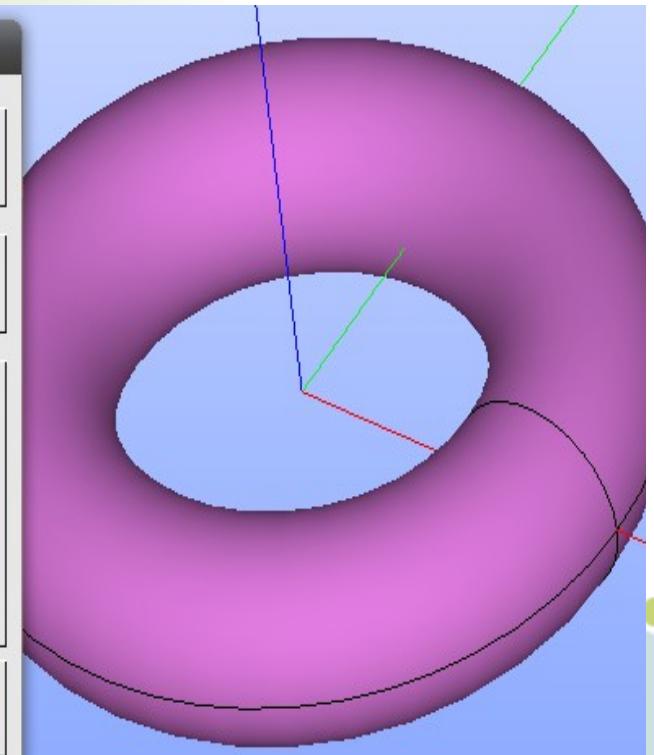
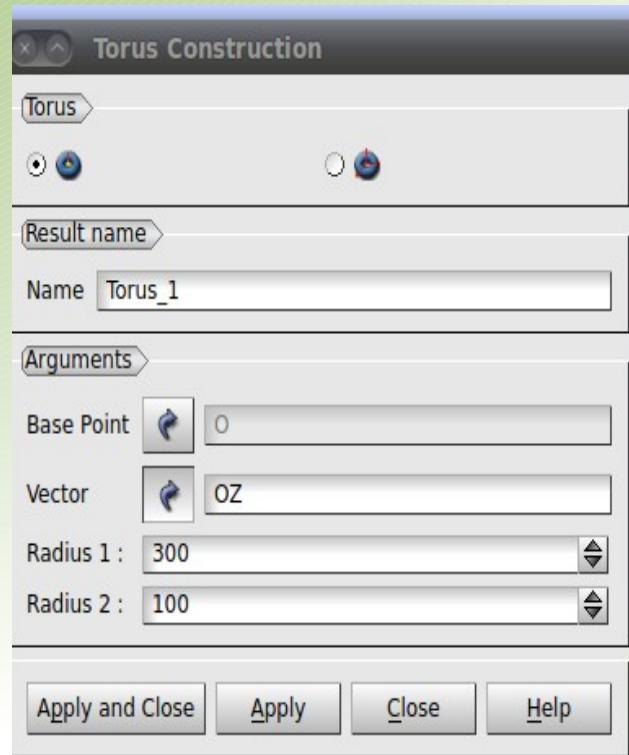


# SALOME, построение геометрии

## Создание примитивов. Тор.

Для создания тора необходимо задать

- Центральную точку
- Ось нормали к плоскости тора
- Радиусы



# SALOME, построение геометрии

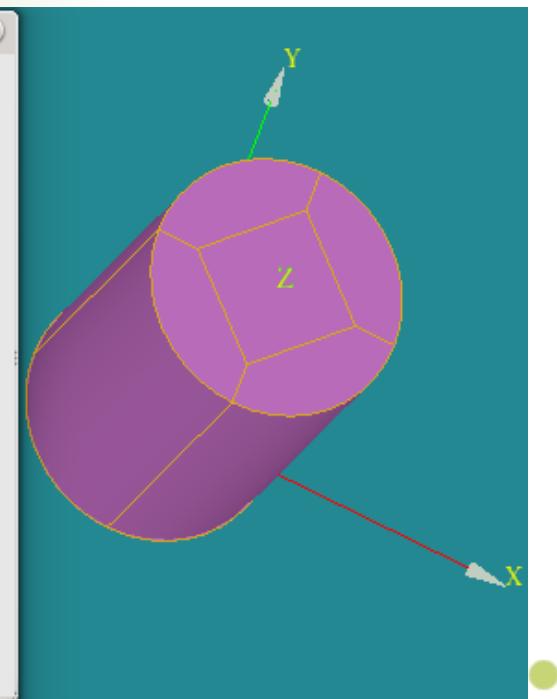
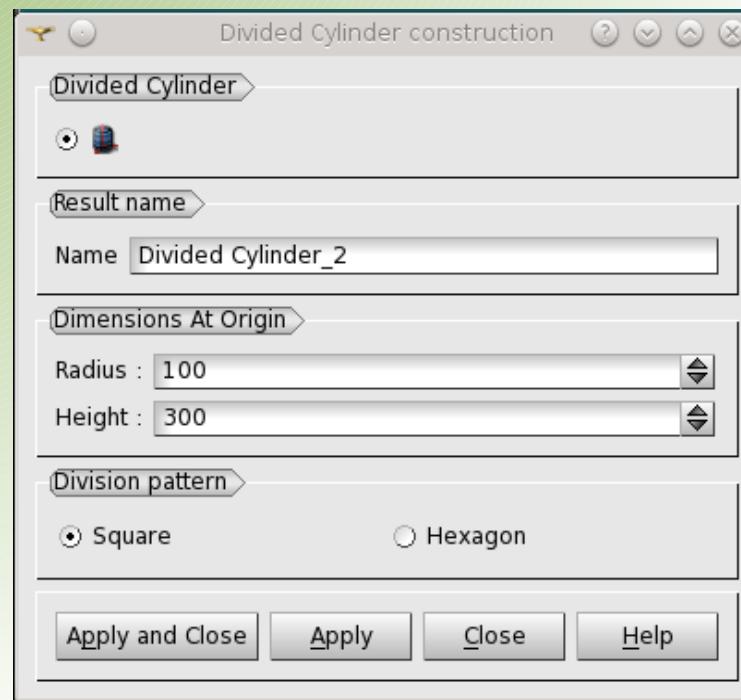
## Создание блочных примитивов.

### БЛОЧНЫЙ ЦИЛИНДР.

Создается цилиндр,  
разбитый на  
гексаэдральные блоки.

Аргументы:

- Радиус
- Длина цилиндра
- Тип фигуры, на основе которой берется разбиения: квадрат (как на картинке) или шестиугольник



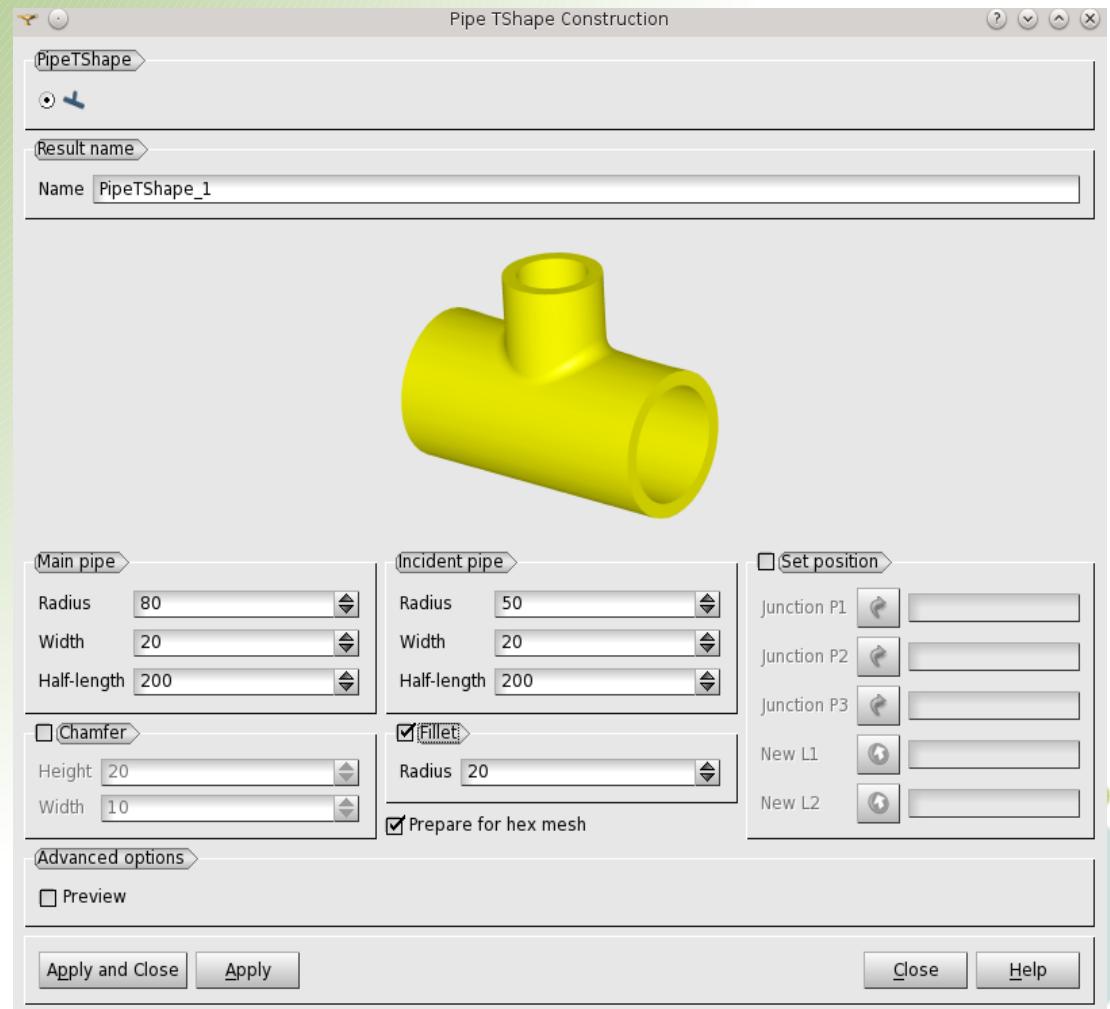
# SALOME, построение геометрии

## Создание блочных примитивов.

### БЛОЧНЫЙ ТРОЙНИК.

Создает геометрию  
Т-образного тройника.  
Можно  
настроить:

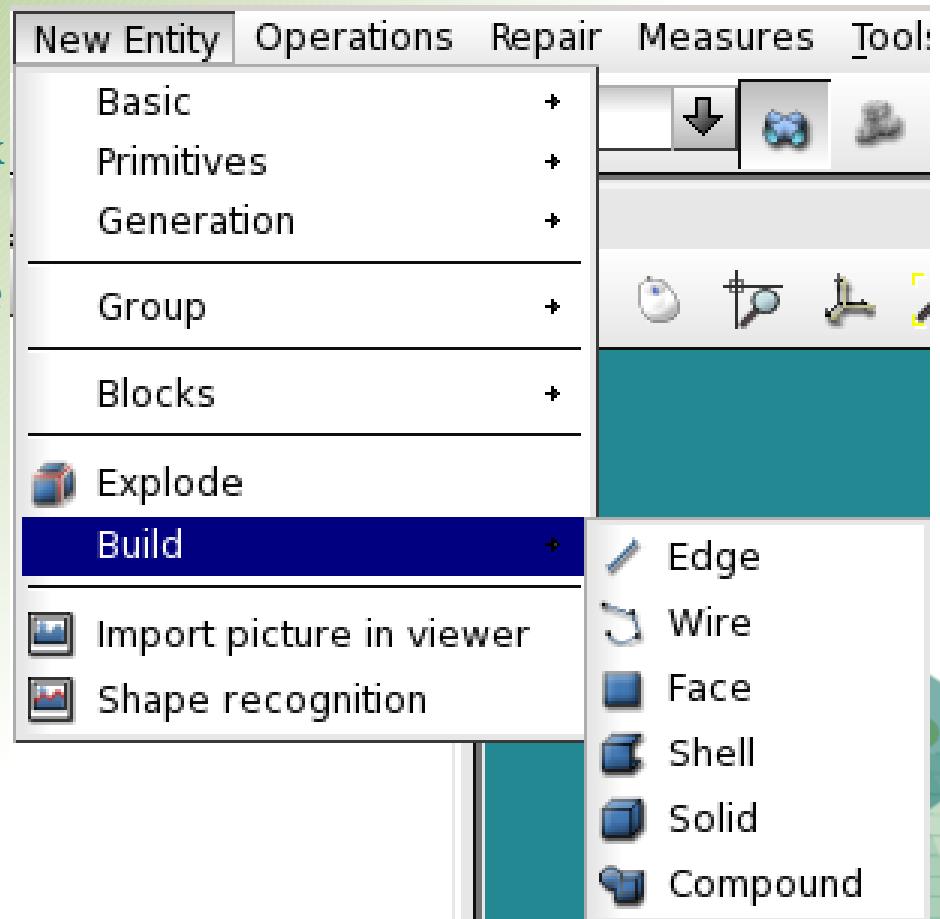
- Радиусы, толщины и длины соединяющихся труб
- Положение объекта
- Сглаживание в месте соединения (конический переход или сопряжение)



# SALOME, построение геометрии

## Создание базовых объектов на основе более простых объектов.

- Edge — создание ребра по 2 точкам или как часть другого ребра
- Wire — создание контура из нескольких ребер или другого контура
- Face — создание поверхности на основе контура
- Shell — создание оболочки из нескольких поверхностей
- Solid — создание объема из оболочки
- Compound - создание составного объекта.

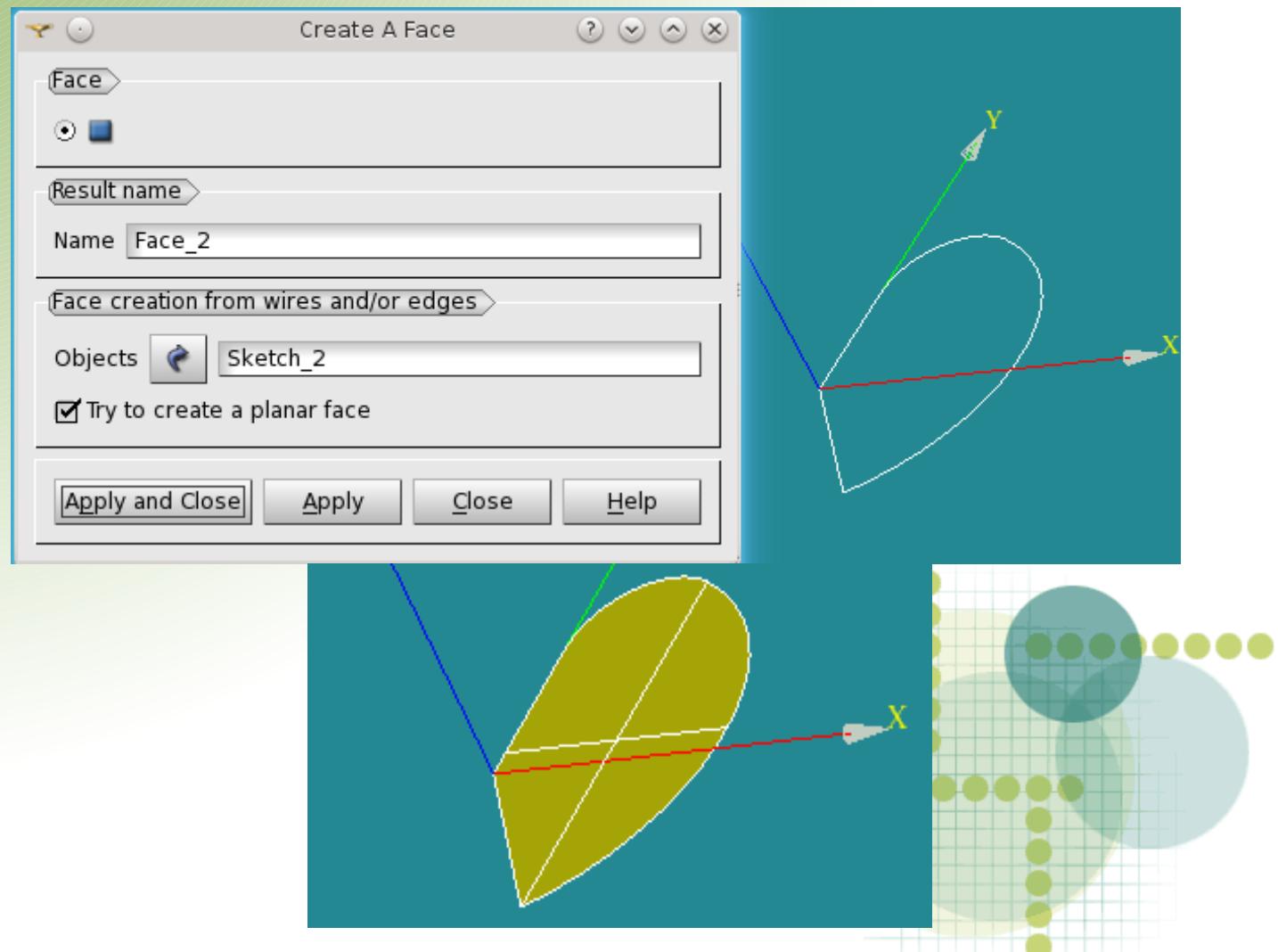


# SALOME, построение геометрии

Создание базовых объектов на основе более простых объектов. Пример создания поверхности.

Пример натягивания поверхности на контур.

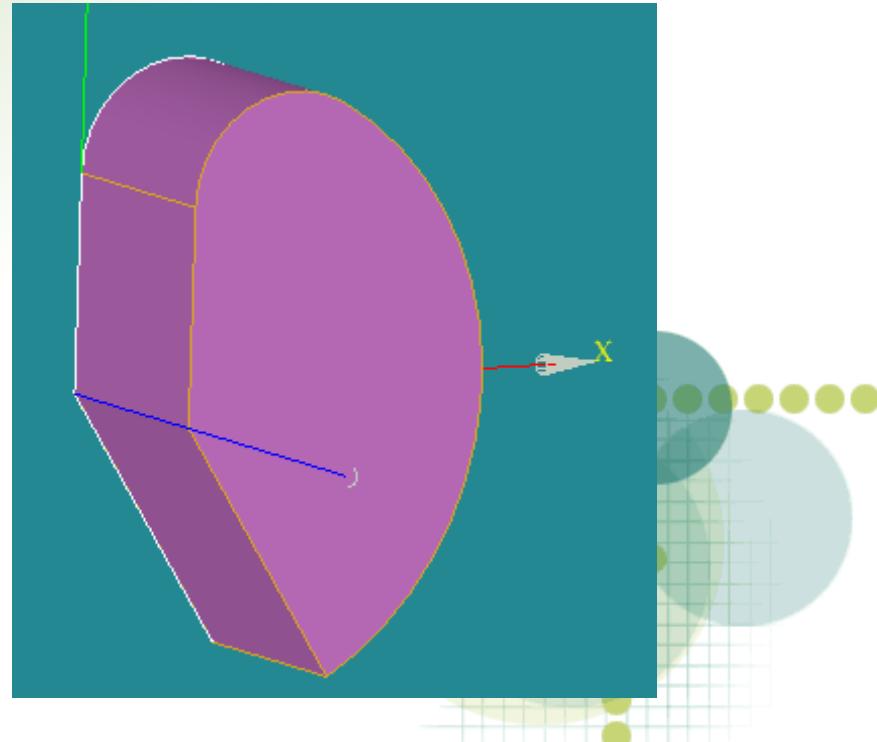
- В качестве аргумента можно использовать объект типа Wire, либо набор ребер.
- Опция Try to create a planar face включает создание плоской поверхности.



## Операции с повышением размерности

Носятся в меню New Entity → Generation.

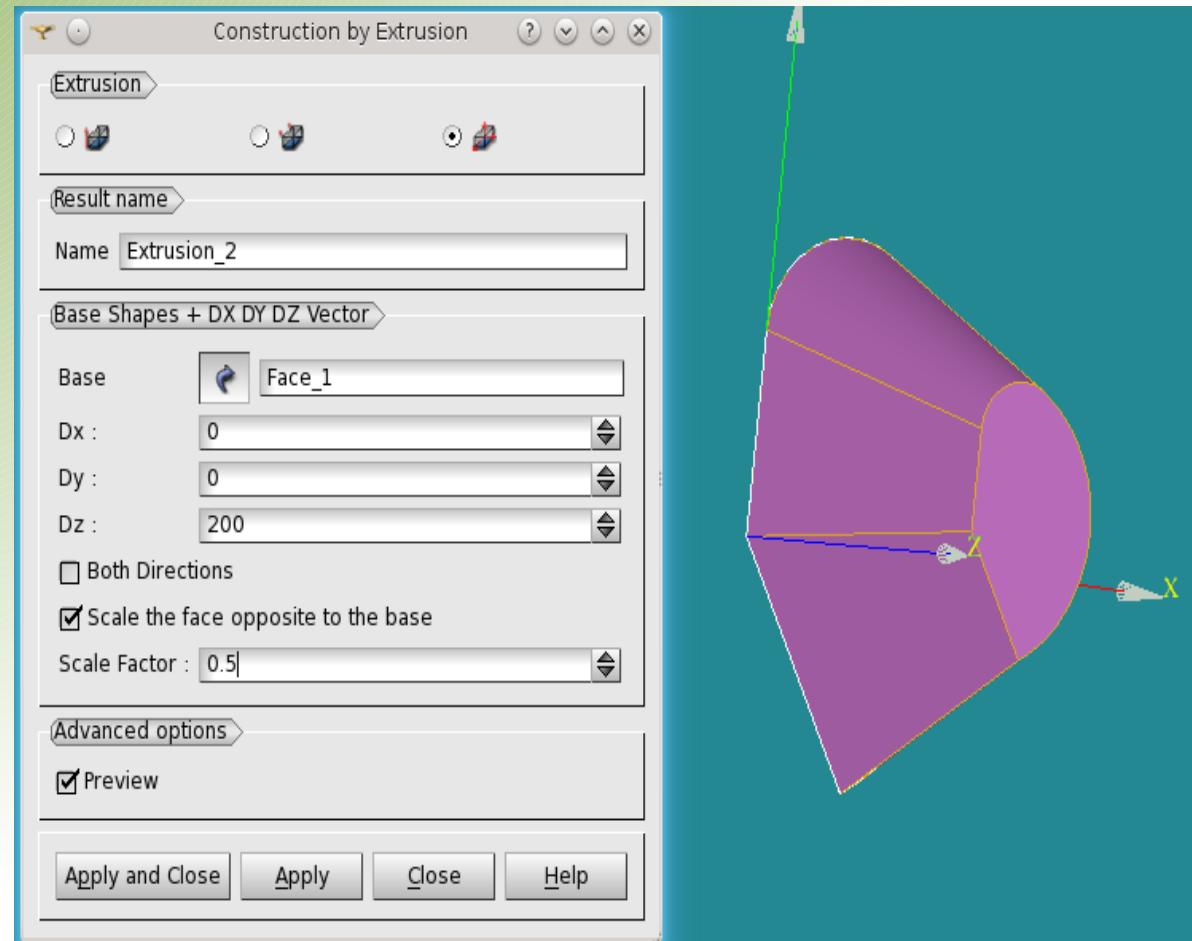
- Extrusion — вытягивание объекта в заданном направлении
- Revolution — вращение объекта вокруг оси
- Filling — натягивание криволинейной поверхности на каркас
- Extrusion along a path — вытягивание вдоль заданной линии
- Restore path — восстанавливает ось вытягивания (операция, обратная предыдущей)



# SALOME, построение геометрии

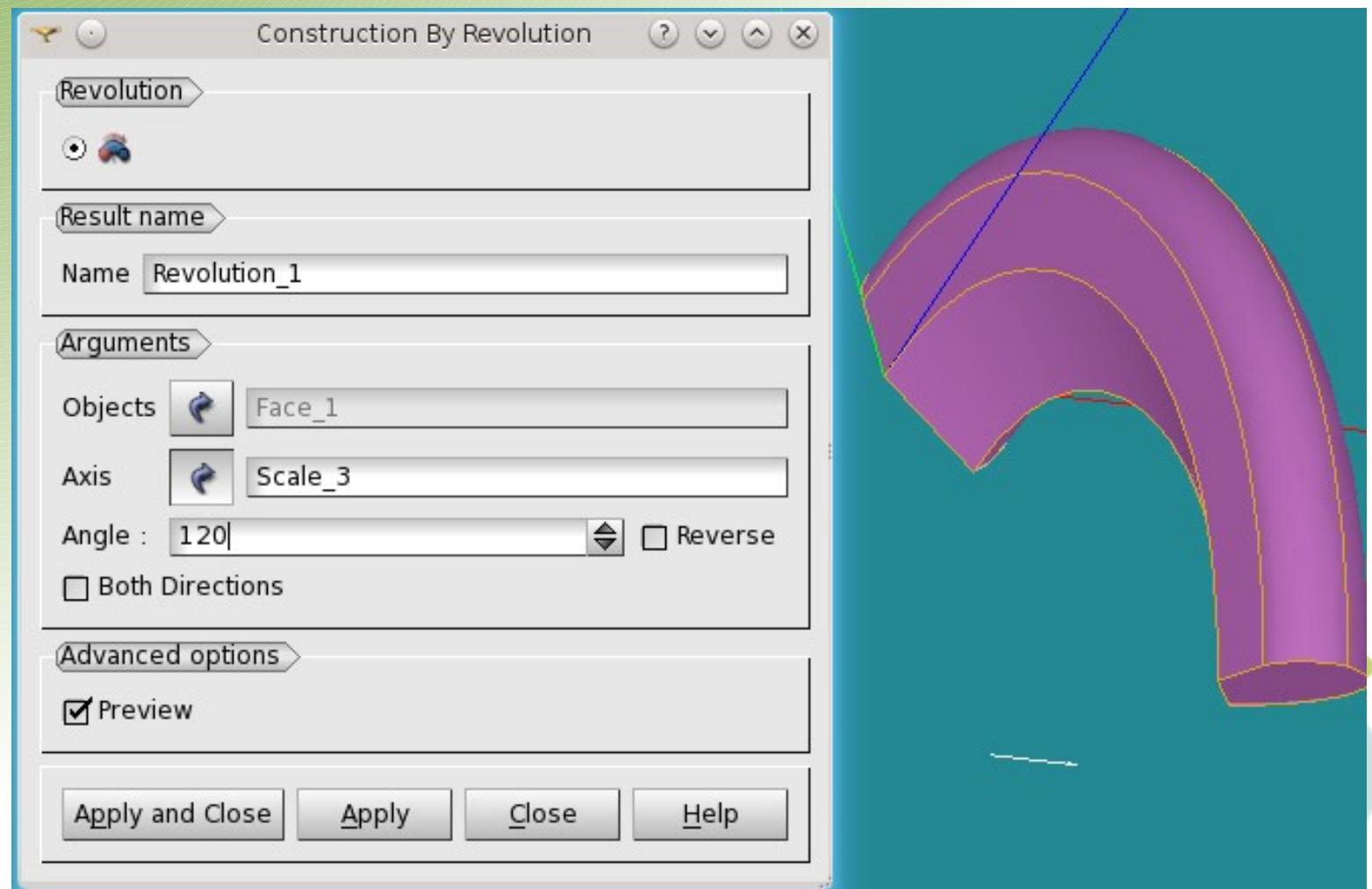
## Операции с повышением размерности. Вытягивание.

- Вытягивание происходит вдоль вектора, который либо выбирается из уже существующих, либо задается 3 координатами, либо 2 точками.
- Можно задать масштабирование объекта в процессе вытягивания



# SALOME, построение геометрии

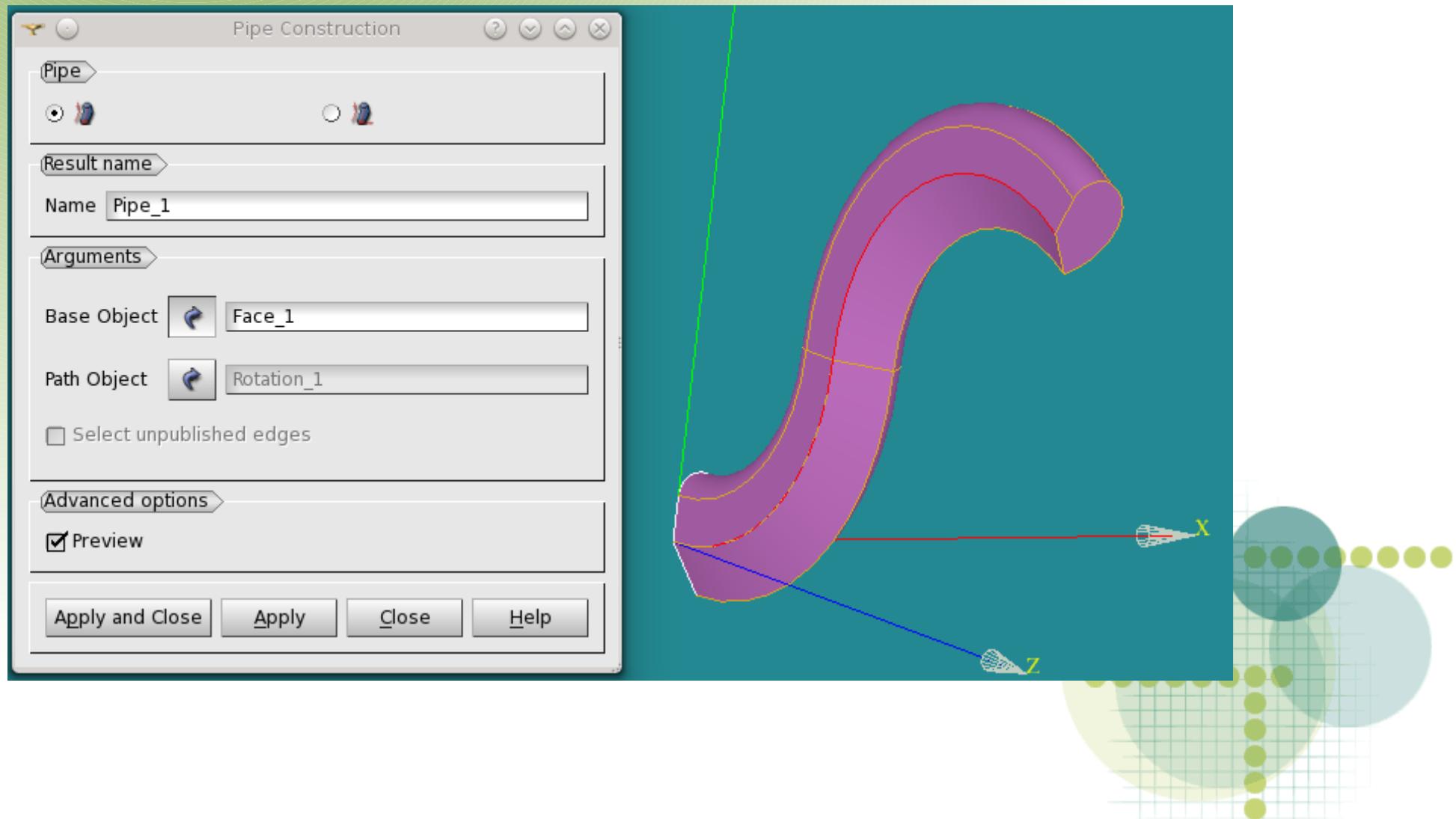
## Операции с повышением размерности. Вращение.



# SALOME, построение геометрии

Операции с повышением размерности.

Вытягивание вдоль линии.

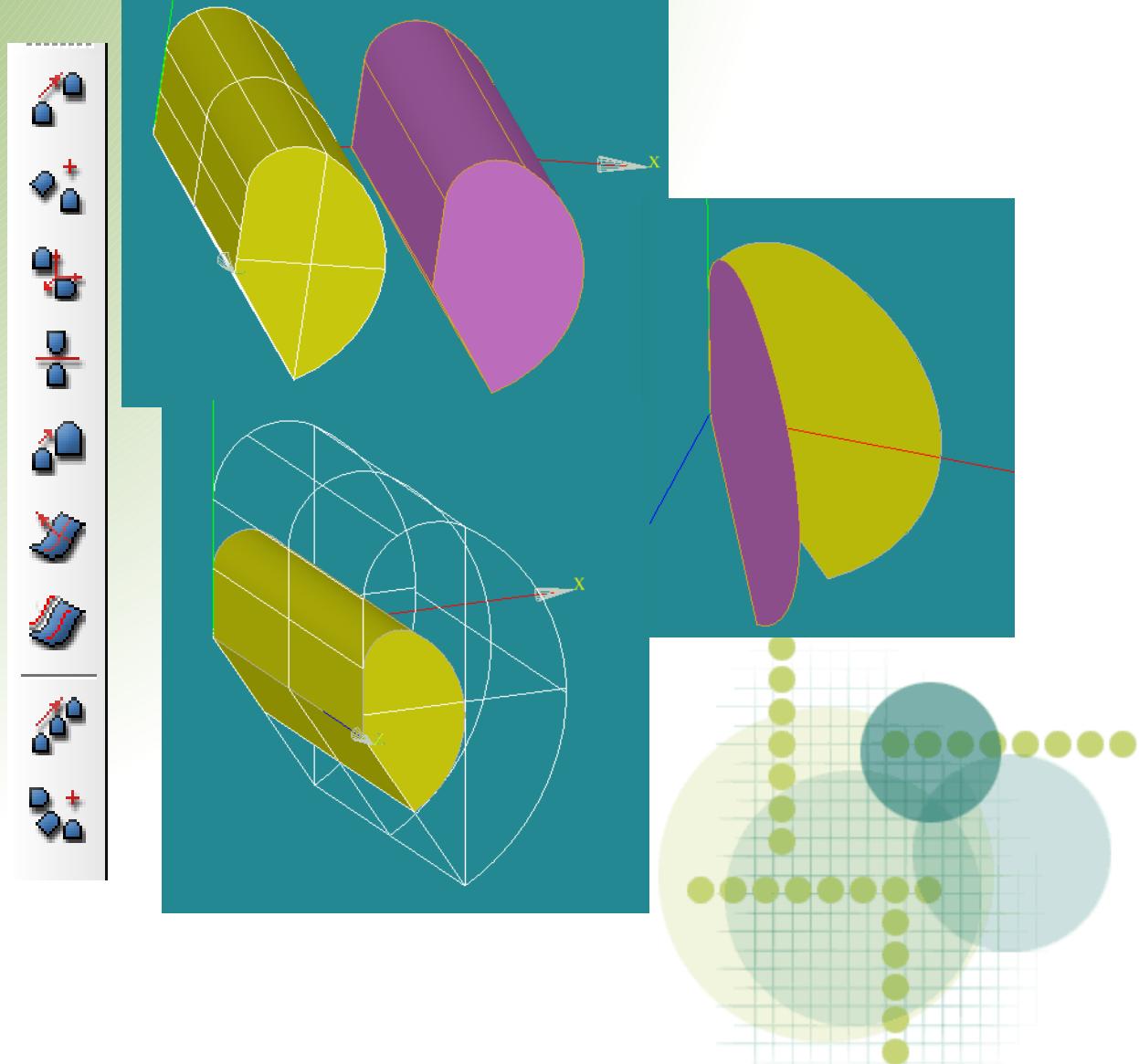


# SALOME, построение геометрии

## Операции преобразования координат.

Operations → Transformation.

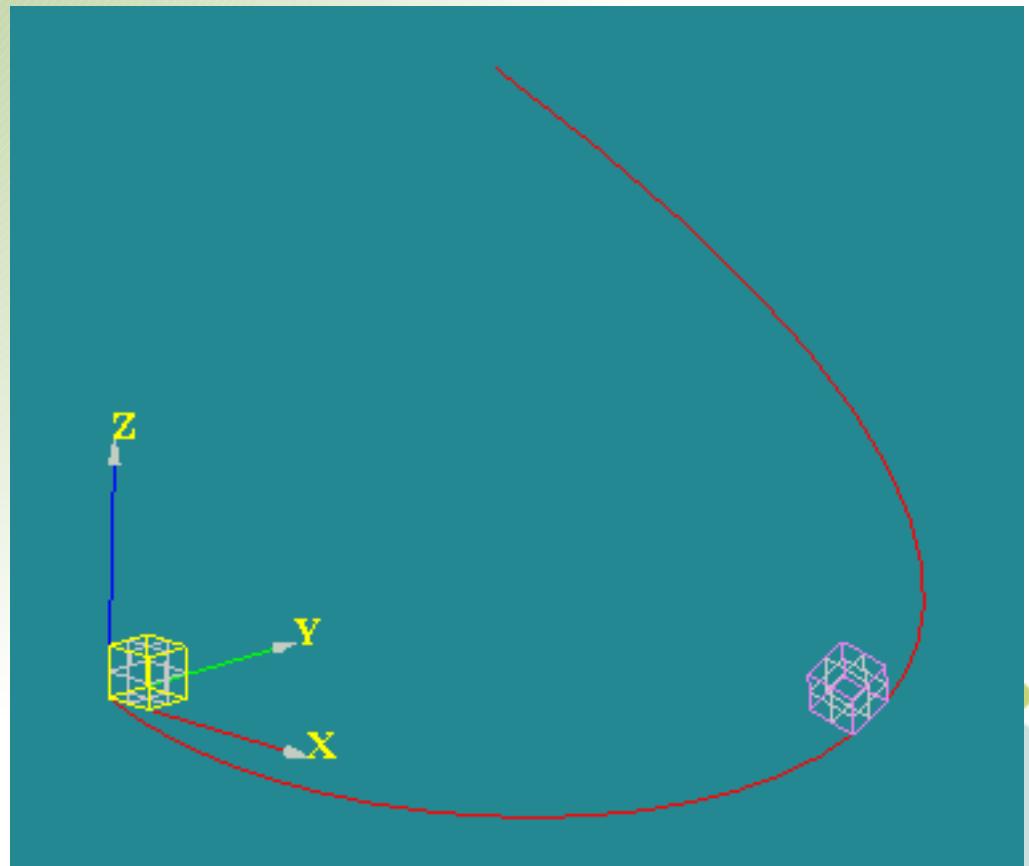
- Перемещение - Translation
- Поворот — Rotation
- Масштабирование - Scale
- Перемещение со сменой системы координат — Modify Location
- Зеркальное отображение — Mirror Image
- Смещение точек вдоль нормали к поверхности — Offset Surface
- Проекция на поверхность — Projection
- Многократное перемещение — Multi-Translation
- Многократный поворот — Multi-Rotation



# SALOME, построение геометрии

## Операции преобразования координат. Перемещение со сменой системы координат.

Может преобразовывать положение объекта по заданным исходной и и начальной системам координат, либо по заданной траектории пути.



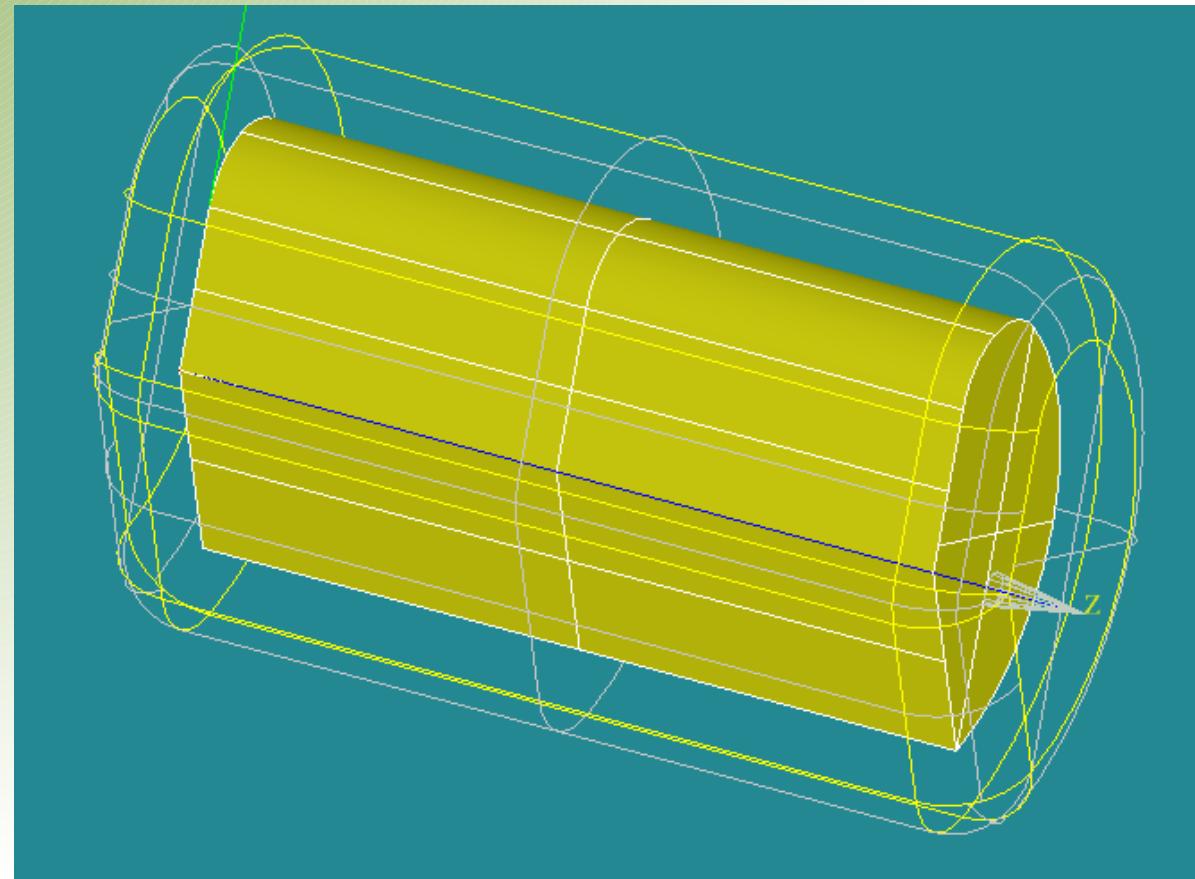
# SALOME, построение геометрии

Операции преобразования координат.

Перемещение со сменой координат.

Смещение точек вдоль нормали к поверхности.

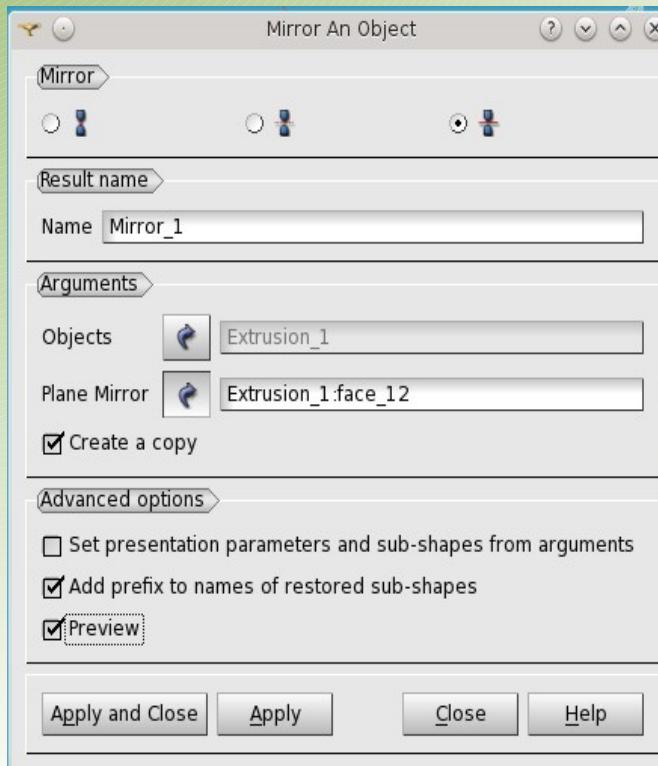
Производит смещение всех точек поверхности объекта вдоль нормали к поверхности в каждой точке.



# SALOME, построение геометрии

## Операции преобразования координат. Зеркальное отображение.

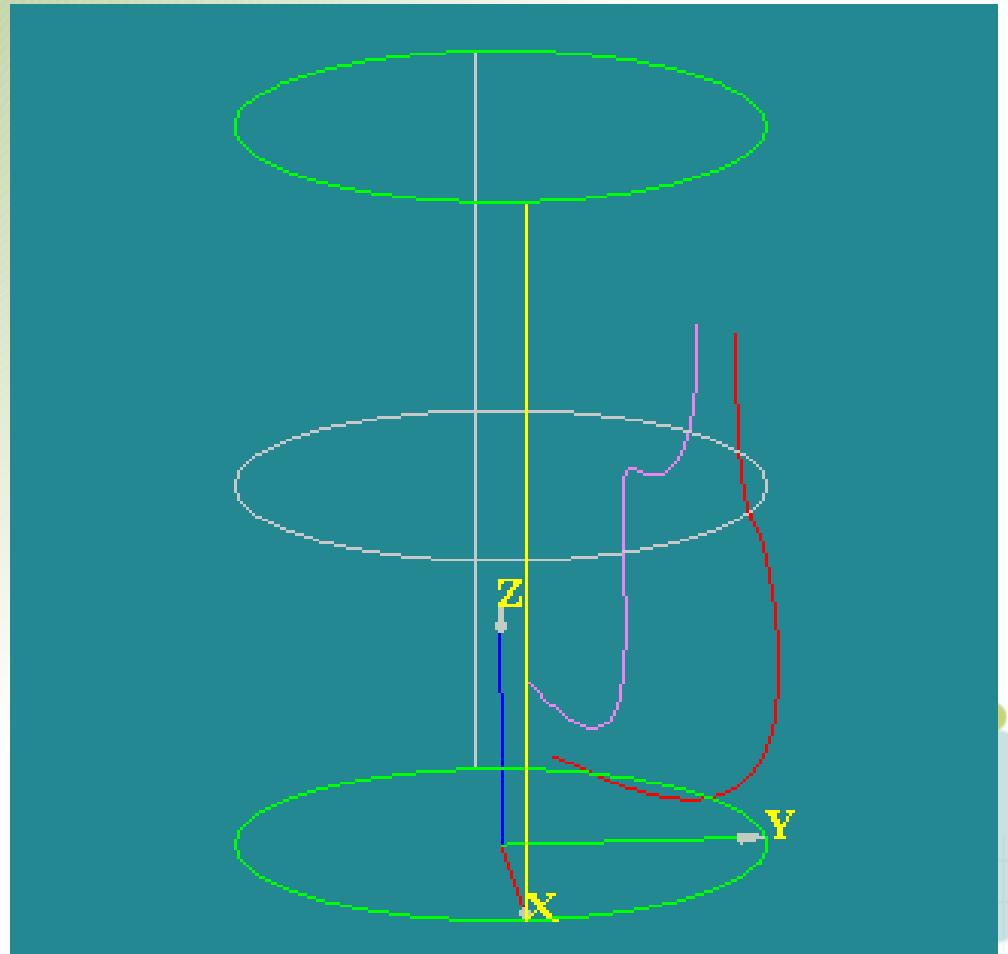
- Строит зеркальное отображение объекта относительно заданной точки, линии или плоскости.



# SALOME, построение геометрии

## Операции преобразования координат. Проектирование.

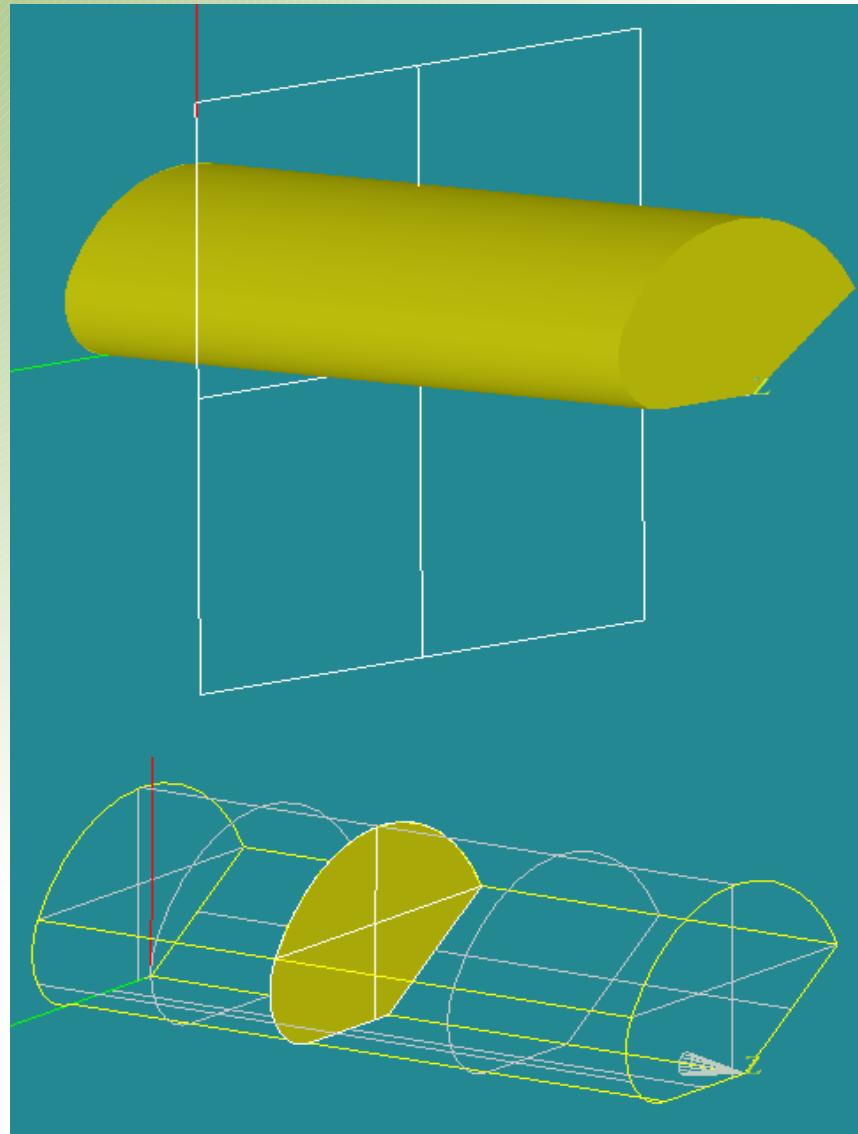
Проектирует точки, ребра и контуры на заданную поверхность.



# SALOME, построение геометрии

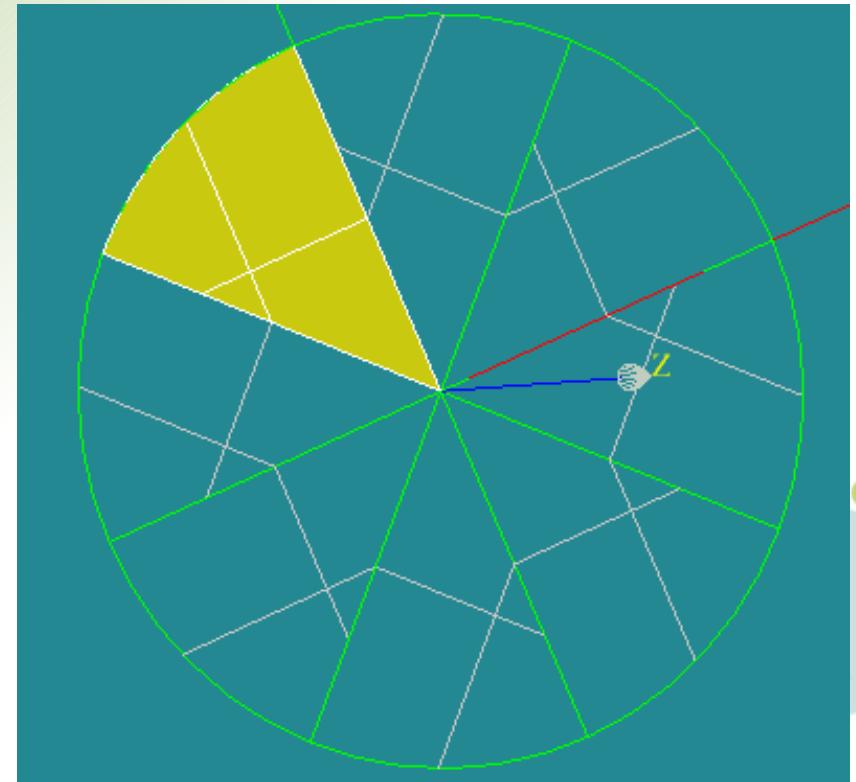
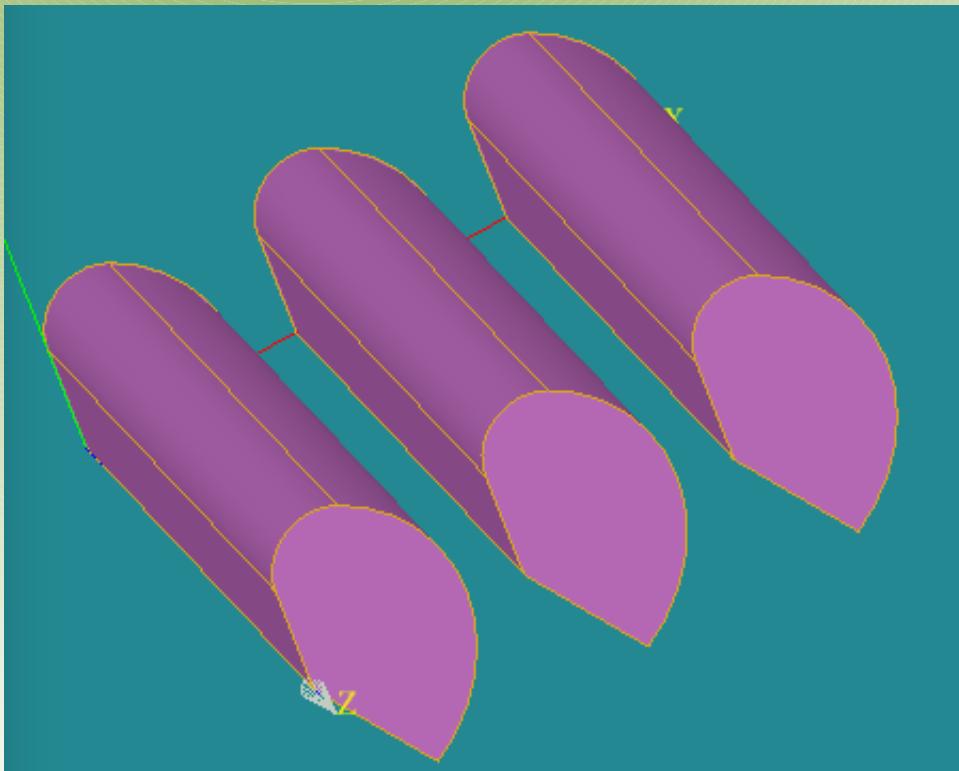
## Операция разбиения.

Operations → Partition.  
Разбивает один объект  
другими объектами.



# SALOME, построение геометрии

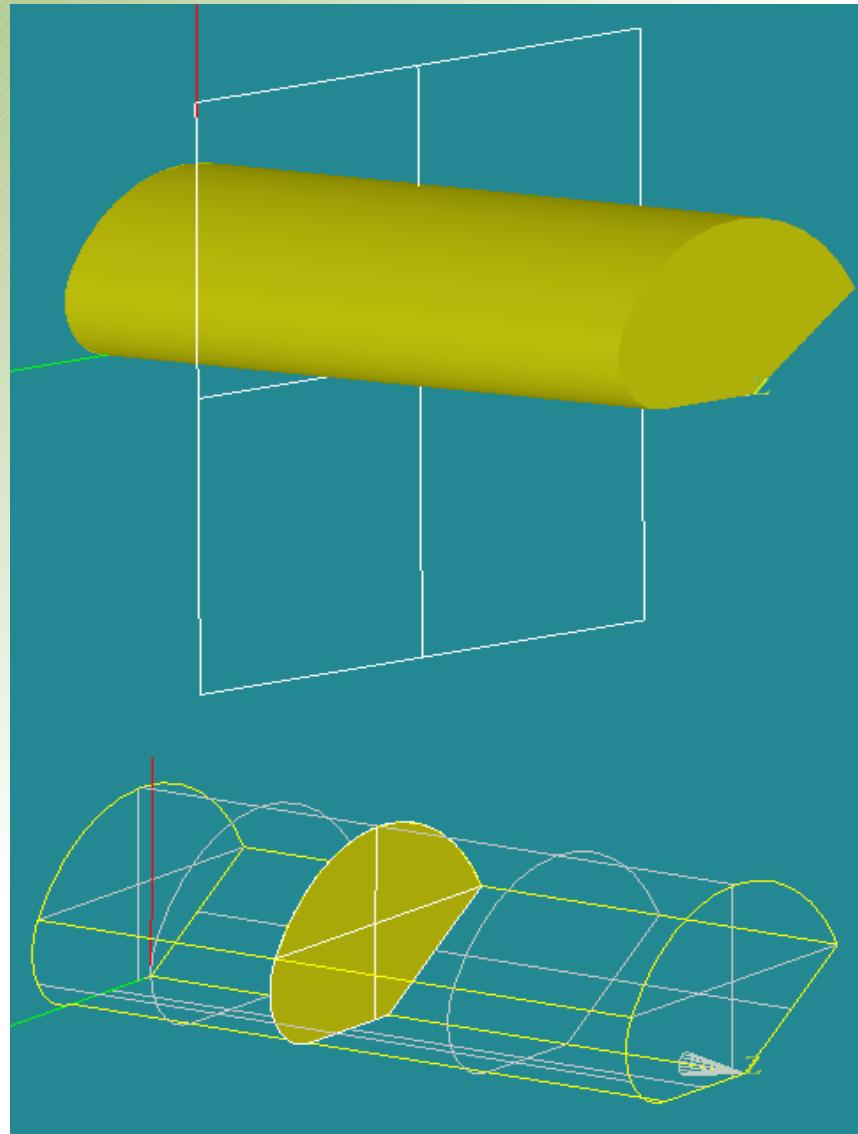
Операции преобразования координат.  
Многократное перемещение и поворот.



# SALOME, построение геометрии

## Операция разбиения.

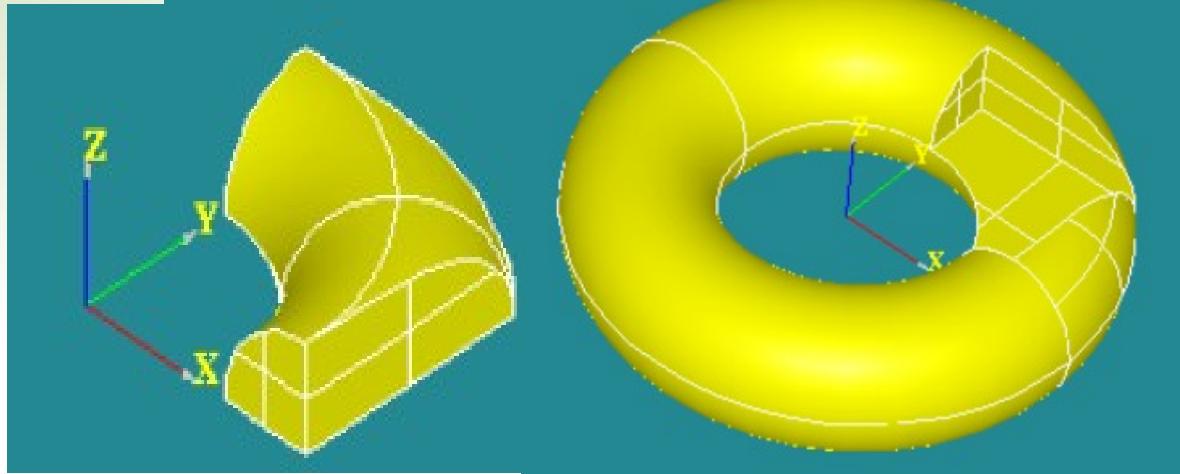
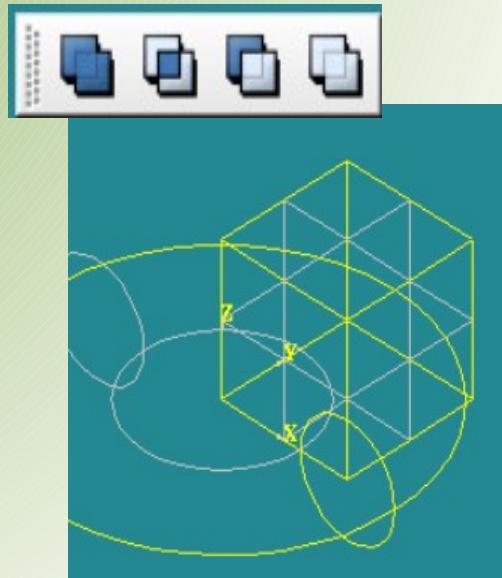
Operations → Partition.  
Разбивает один объект  
другими объектами.



## Логические операции.

Operations → Transformation

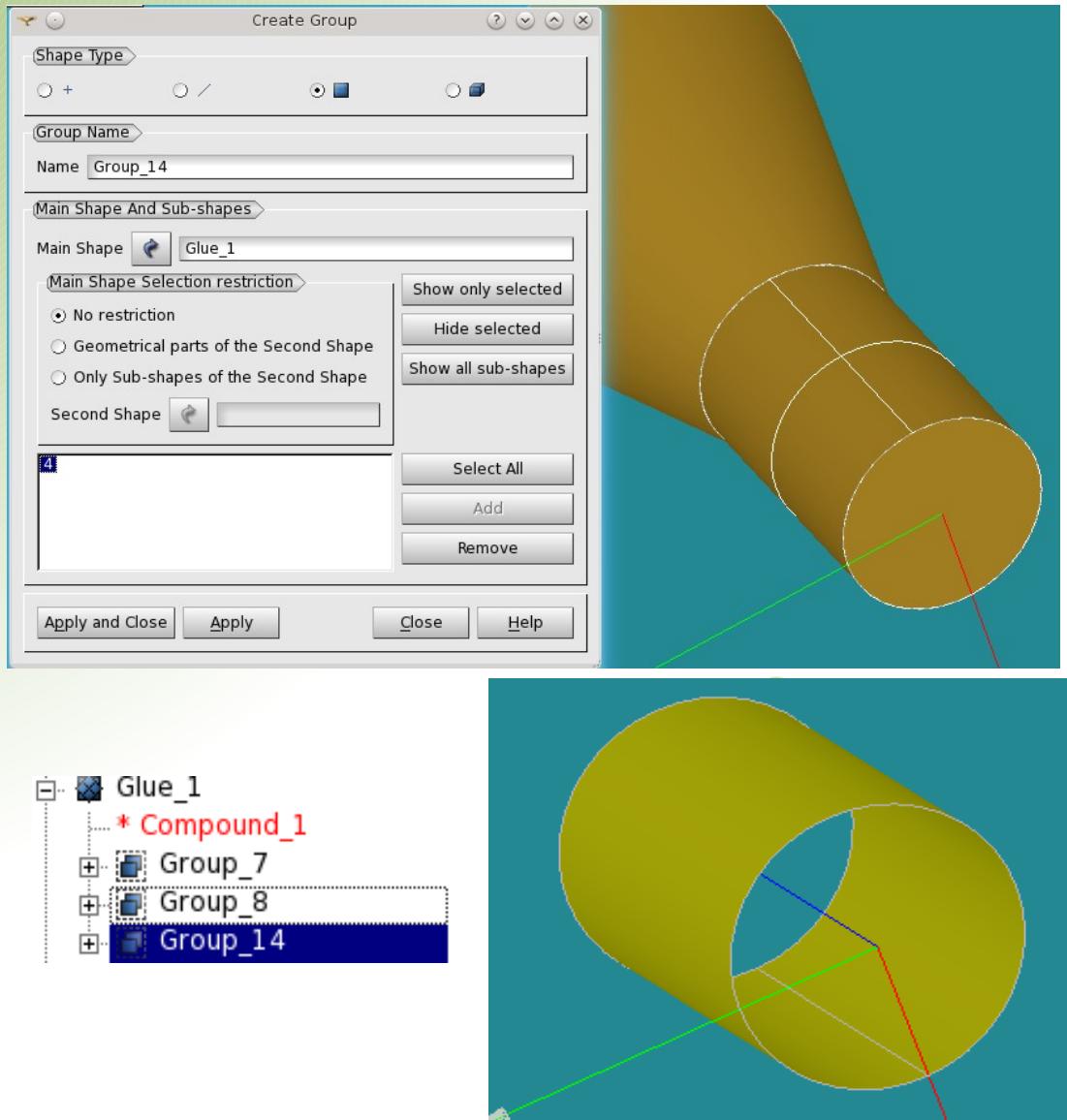
- Fuse — объединяет объекты объекты и склеивает их.
- Common — логическое «И», результатом будет общее пространство, занимаемое обоими объектами
- Cut — вырезание одного объекта из другого
- Section — результат операции — пересечение объектов



# SALOME, построение геометрии

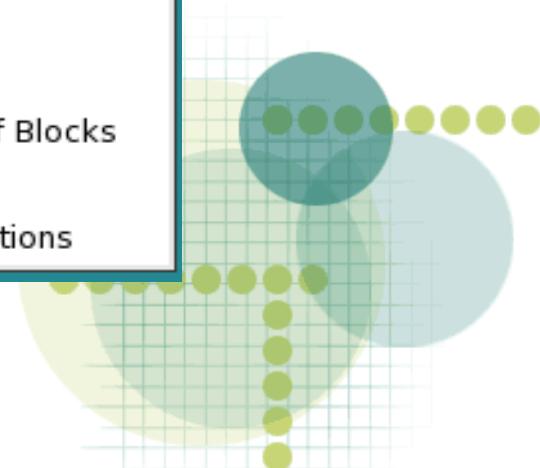
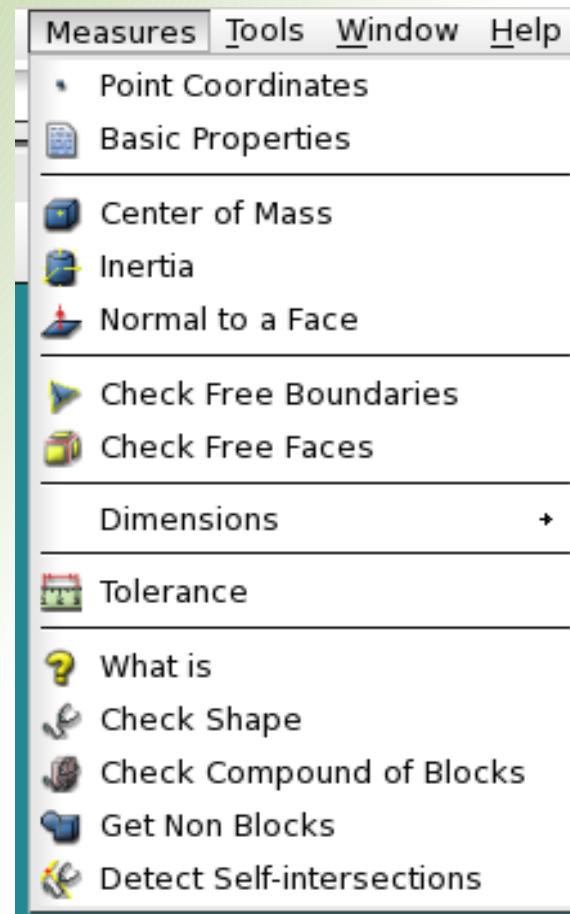
## Создание групп.

- Группа — поименованное множество примитивов одного типа, принадлежащих к одному объекту.
- Группы необходимы для создания подсеток и для выделения поверхностей с различными граничными условиями.
- Создание групп инициируется командой **New Entity → Group → Create**, либо командой **Create Group** в контекстном меню при клике правой кнопкой мыши на объекте в списке объектов.



## Контроль качества геометрии.

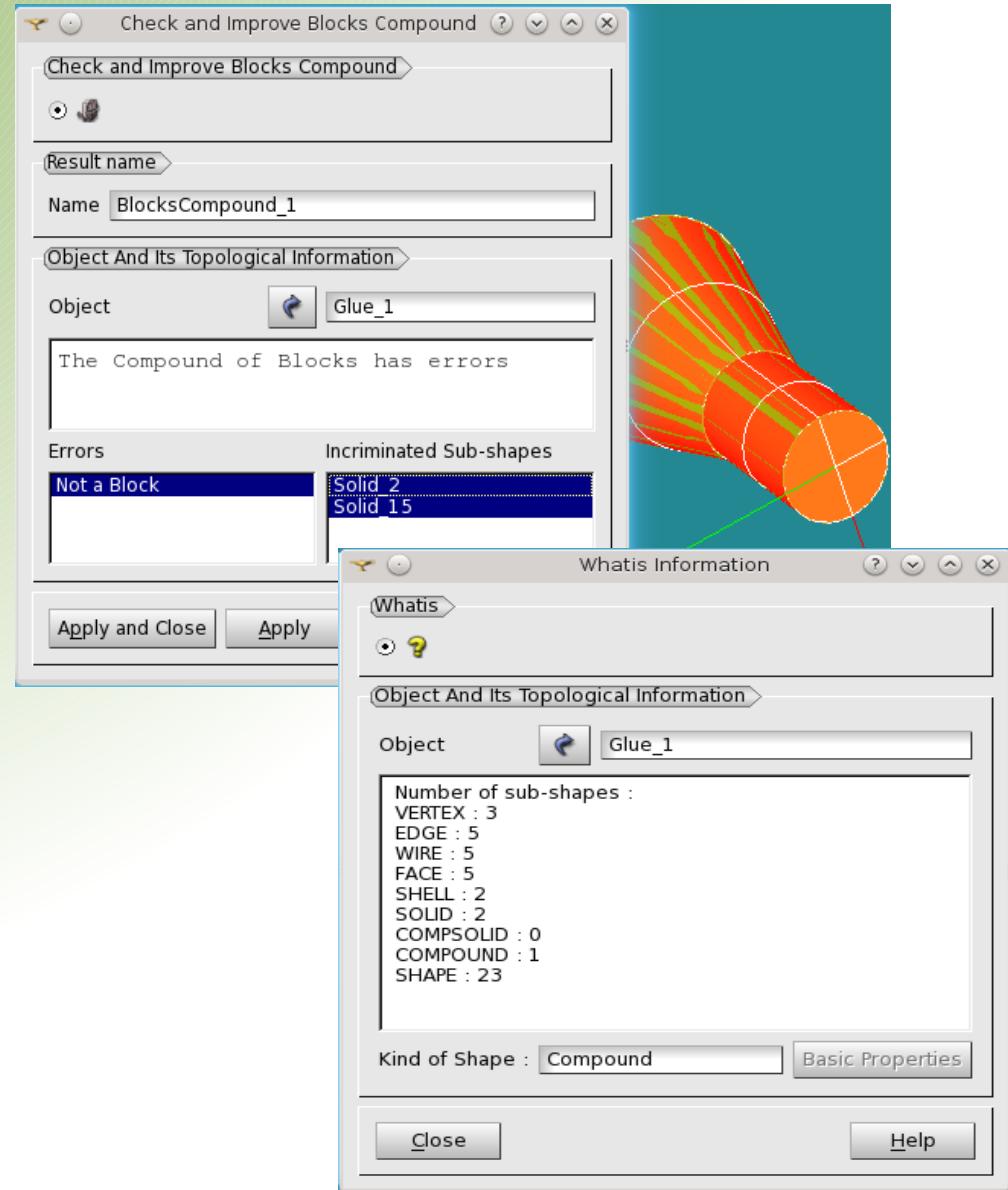
- Point Coordinates — координаты точки
- Basic Properties — выводит длину, площадь и объем объекта
- Center of Mass — центр массы
- Inertia — выводит моменты инерции
- Check Free Boundaries — выводит ребра, принадлежащие только одной поверхности
- Check Free Faces — выводит поверхности, принадлежащие только одному объему
- Dimensions — содержит команды по выводу наименьшего расстояния, габаритных размеров и угла между ребрами
- Tolerance — выводит точность



# SALOME, построение геометрии

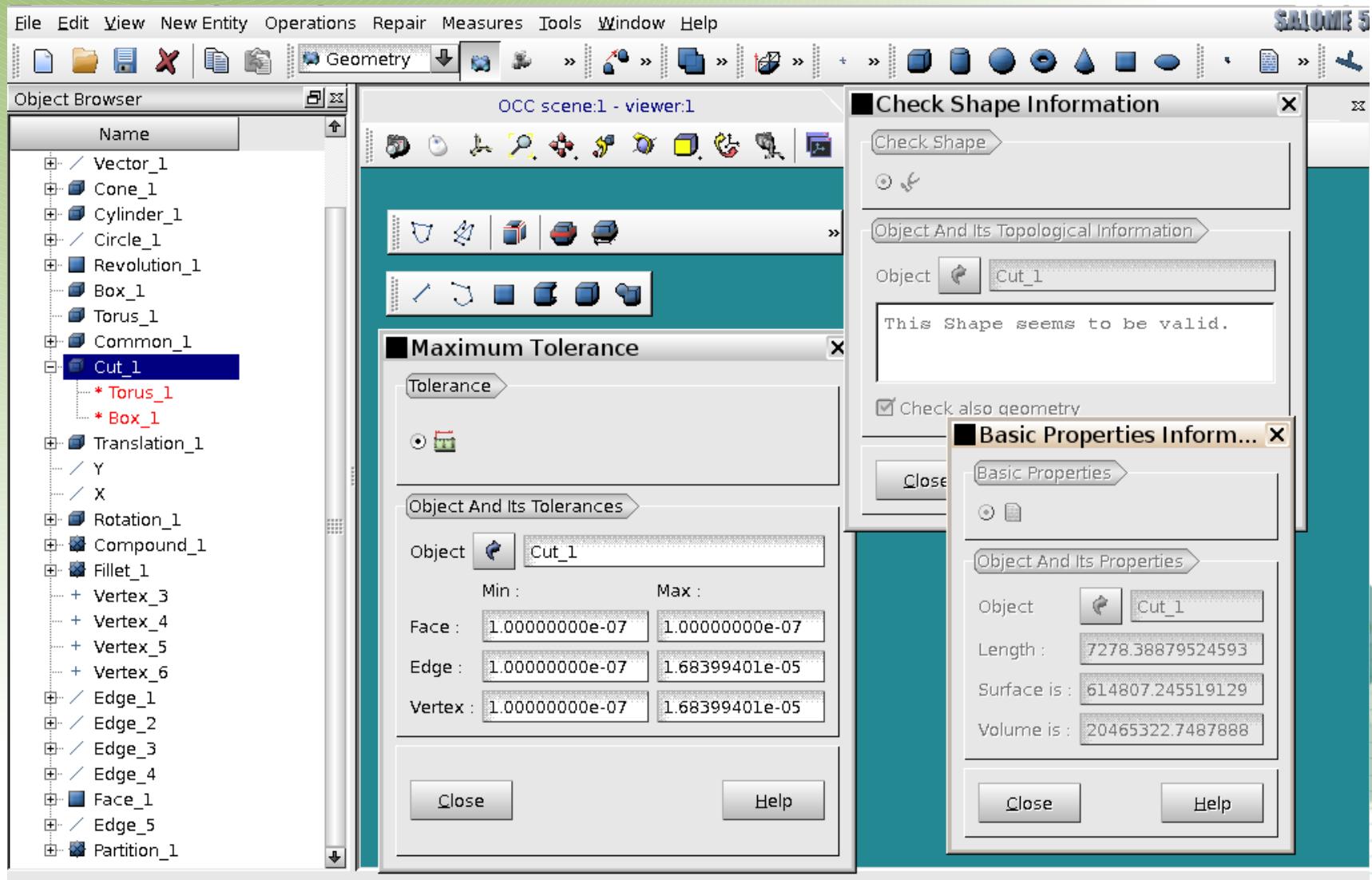
## Контроль качества геометрии.

- What is — выдает количество элементов всех типов (точек, ребер, объемов и т. д.) объекта
- Check Shape — проверяет топологию объекта на наличие ошибок (неправильная ориентация нормалей и т. д.)
- Check Compound of Blocks — проверяет, являются ли все объемы, входящие в составной объем, блоками. Так же, проверяет, склеены ли поверхности соседних блоков
- Get Non Blocks — выделяет объемы, не являющиеся гексаэдральными, и поверхности, не являющиеся квадратичными
- Detect Self Intersections — проверяет геометрию на наличие неправильно пересекающихся элементов.



# SALOME, построение геометрии

## Контроль качества геометрии.



## Улучшение качества геометрии.

- Shape Processing — исправление ошибок геометрии
- Suppress Faces -удаление граней
- Close Contour — замыкание контура
- Suppress Holes — заполнение пустот
- Sewing — сшивка поверхностей
- Glue Faces и Glue Edges — склеивание поверхностей и ребер
- Limit Tolerance — ограничение погрешности определения координат
- Add Point on Edge — разбиение ребра точкой в указанном месте
- Change Orientation — для поверхностей — разворот нормали, для ребер — разворот
- Remove Extra Edges — удаление лишних ребер
- Fuse Collinear Edges within a Wire — объединение плавно соединяющихся ребер в одно

