

# Primetime IRE

Outils numériques pour  
l'évaluation et l'amélioration  
de la procédure d'IRE en  
pratique clinique

Luc LAFITTE, INRIA Bordeaux

# 01

## Problématiques rencontrées en IRE clinique

# Principe de traitement

## Électroporation Irréversible (IRE)

- Champ électrique très intense ( $\sim 1000\text{V/cm}$ ) et très court ( $100\mu\text{s}$ )
- Mécanisme essentiellement non-thermique
- Au delà d'une certaine amplitude > mort cellulaire (provoquée par homéostasie cellulaire qui mène à l'apoptose)
- Les plus :
  - Respect des structures avoisinantes
  - Très peu d'effet thermique
  - Utilisable en cas de contre indication aux thermo-ablations

# Procédure de traitement

*Avant*

## Identification

et segmentation de  
la tumeur (CT, CBCT)

Patient sous  
anesthésie générale,

*Procédure*

## Placement

des aiguilles guidé par  
imagerie (échographie  
+ fluoroscopie,  
guide aiguille)

Contrôle des positions  
par rapport à la tumeur  
(CT, CBCT)

## IRE

Traitement effectif par  
électroporation.

Durée de quelques minutes.

*Après*

## Évaluations

Imageries de contrôle  
T+ 30 minutes max  
(CT, CBCT)

T+ 3 / 30 / 90 jours  
(IRM)

# Procédure de traitement

*Avant*

**Identification**  
et segmentation de  
la tumeur (CT, CBCT)

Patient sous  
anesthésie générale,

*Procédure*

**Placement**  
des aiguilles guidé par  
imagerie (échographie  
+ fluoroscopie,  
guide aiguille)

Contrôle des positions  
par rapport à la tumeur  
(CT, CBCT)

**IRE**

Traitement effectif par  
électroporation.

Durée de quelques minutes.

*Après*

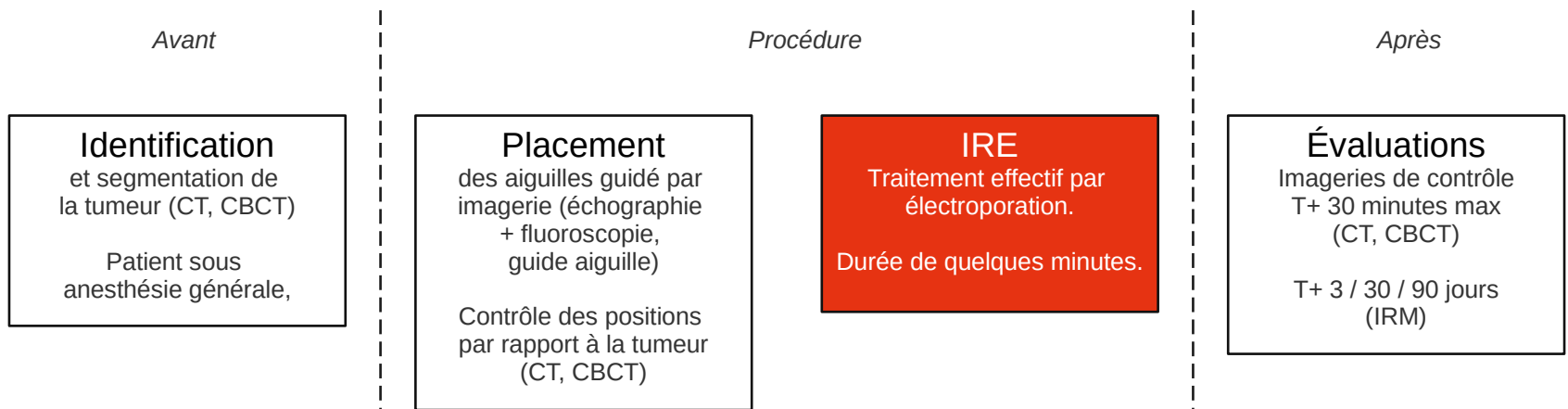
**Évaluations**

Imageries de contrôle  
T+ 30 minutes max  
(CT, CBCT)

T+ 3 / 30 / 90 jours  
(IRM)

- Tumeur non visible aiguilles en place
- Difficile de suivre les recommandations constructeur (contraintes anatomiques)

# Procédure de traitement



- Conductivité tissulaire inconnue
- Impossibilité de prévoir à l'avance l'importance et l'étendue du champ électrique

# Procédure de traitement

Avant

## Identification

et segmentation de  
la tumeur (CT, CBCT)

Patient sous  
anesthésie générale,

Procédure

## Placement

des aiguilles guidé par  
imagerie (échographie  
+ fluoroscopie,  
guide aiguille)

Contrôle des positions  
par rapport à la tumeur  
(CT, CBCT)

## IRE

Traitement effectif par  
électroporation.

Durée de quelques minutes.

Après

## Évaluations

Imageries de contrôle  
T+ 30 minutes max  
(CT, CBCT)

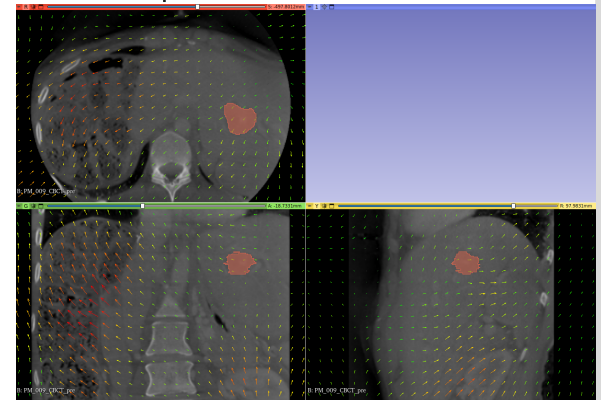
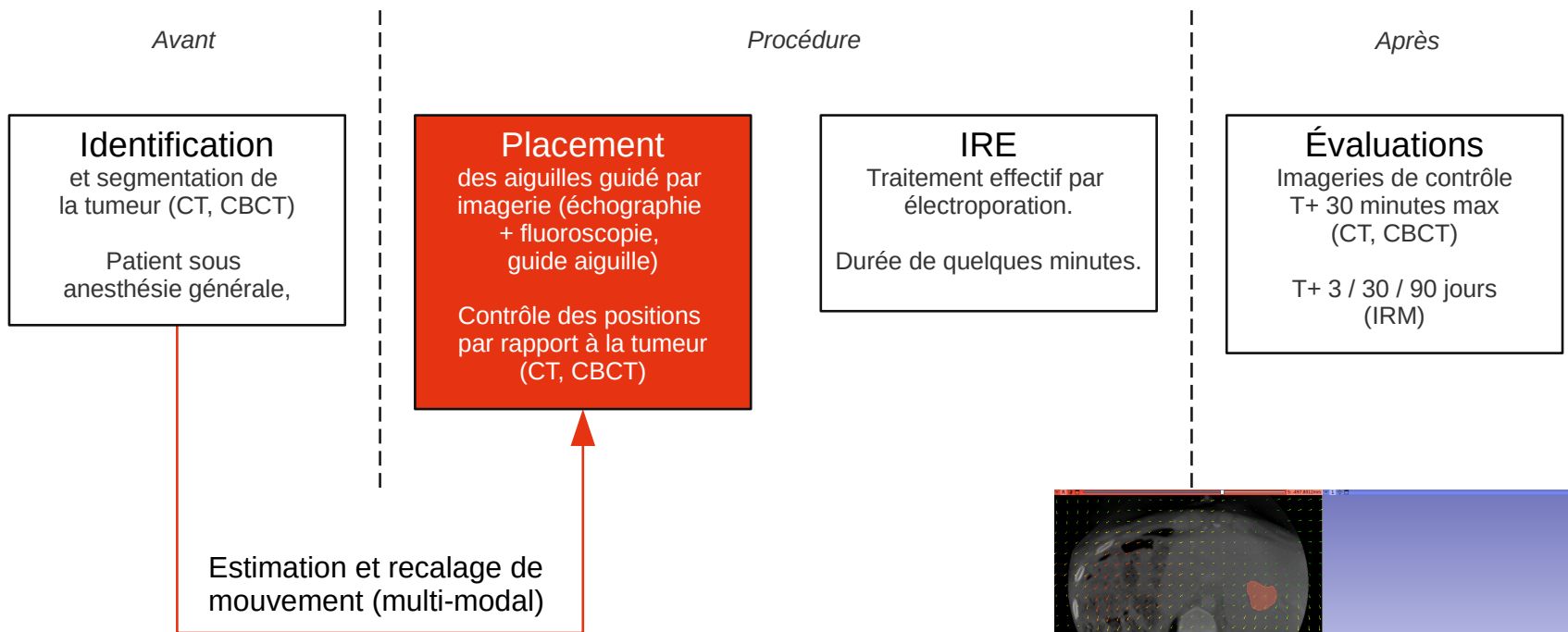
T+ 3 / 30 / 90 jours  
(IRM)

- Zone visible mais quelles significations ?
- Quelle corrélation avec le champ électrique?
- Traitement suffisant ?

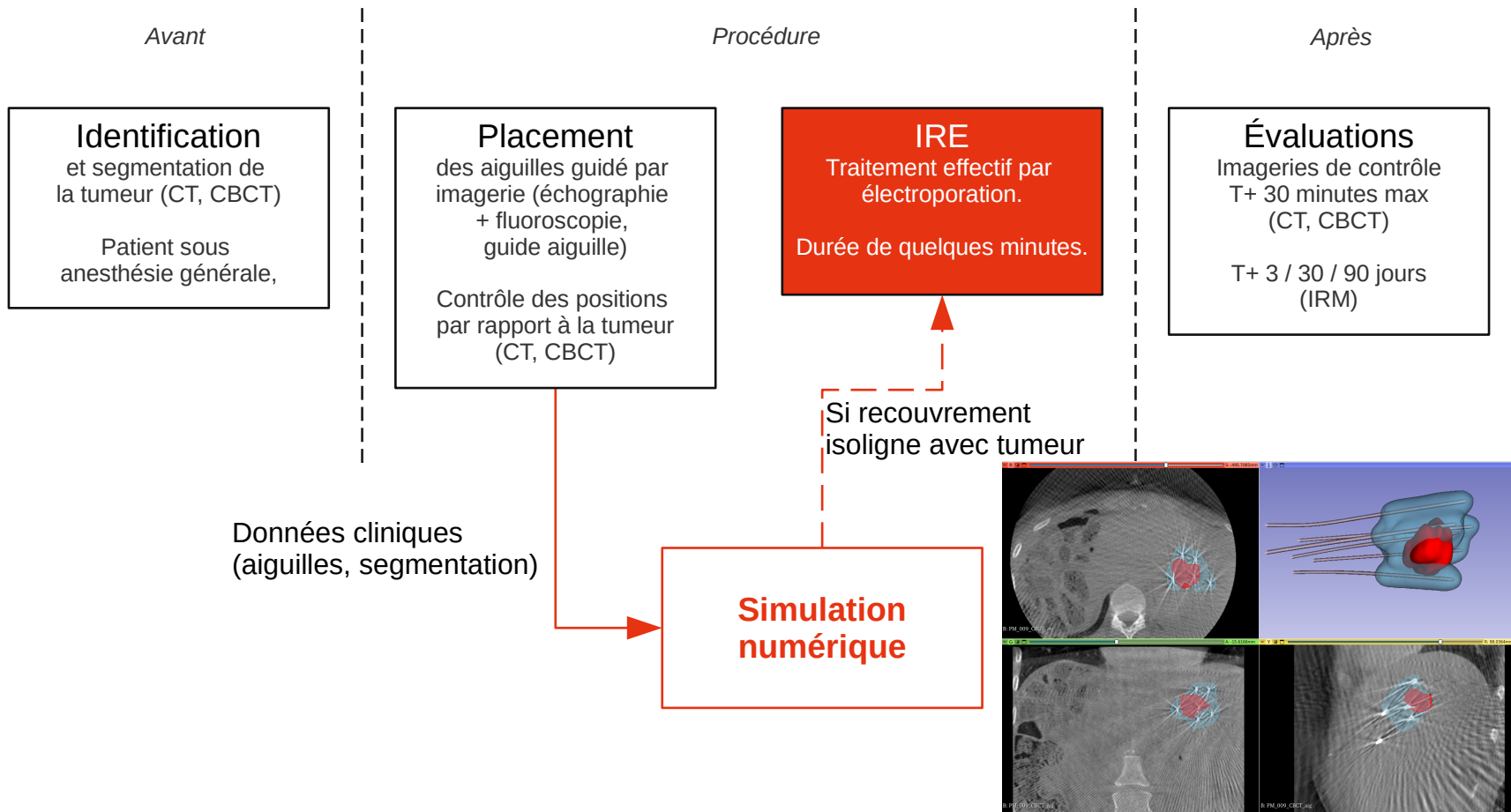
# 02

## Solutions numériques aux problématiques cliniques

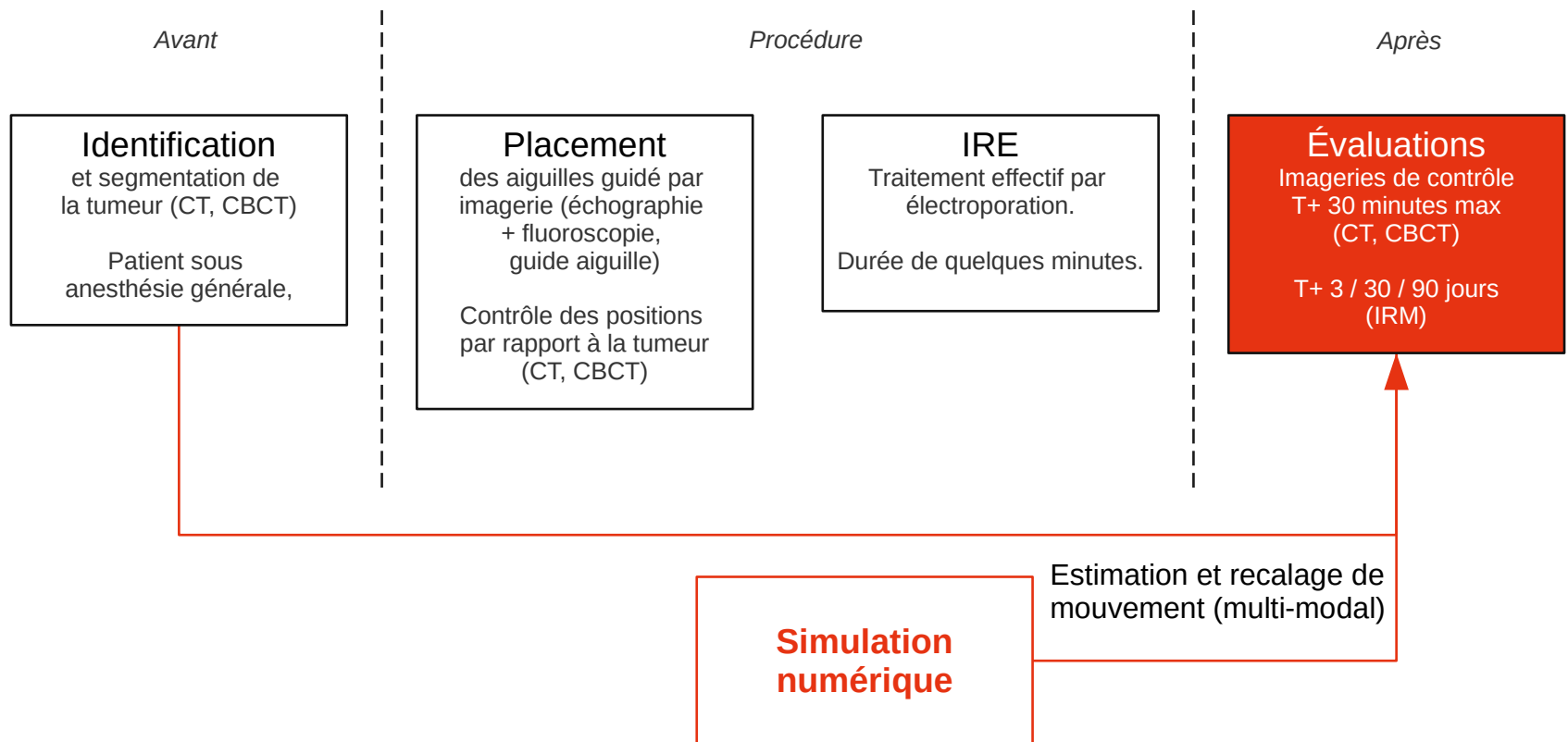
# Quelles solutions ?



# Quelles solutions ?



# Quelles solutions ?



# 03

## PrimetimeIRE

# Outils

## EVolution :

- Bibliothèque et outils d'estimation et recalage de mouvement multi-modal
- Baudouin Denis de Senneville, CNRS Bordeaux et Luc Lafitte, INRIA Bordeaux

## Irena:

- Bibliothèque et outils de simulation numérique d'électroporation
- Olivier Gallinato, Clair Poignard et Luc Lafitte, INRIA Bordeaux

# Architecture

## Bibliothèque

- C++ (17)
- std:thread / Cuda (EVoLution)
- Eigen (irena)
- CMake
- Gtest

```

int main(int argc, char *argv[])
{
    std::cout << std::endl
              << "===== IRE SIMULATION EXAMPLE =====" << std::endl;

    ire::utils::Timer tSimu;
    tSimu.start();

    ire::IREbuilder builder;
    builder.setExternConductivities(std::vector({1.2e-04, 4.8e-04}));
    builder.setNeedsConductivities(std::vector({1.33e+03, 0.0}));

    builder.setComputationGrid(
        std::vector({100, 100, 100}),
        std::vector({100.0, 100.0, 100.0}),
        std::vector({0.0, 0.0, 0.0}),
        ire::ComputationGridOriginType::TipsShift, -20.0);

    builder.addNeedle(1, ire::Point({67.34, 129.44, 171.49}), ire::Point({30.94, 83.74, 141.09}));
    builder.addNeedle(2, ire::Point({93.64, 129.64, 162.39}), ire::Point({46.74, 56.54, 122.49}));
    builder.addNeedle(3, ire::Point({89.94, 123.44, 176.39}), ire::Point({50.40, 62.24, 149.29}));

    builder.setParameter(IRE_PARAM_PULSE_TYPE, ire::PulseType::lin);
    builder.setParameter(IRE_PARAM_PULSE_ETH, 30.0);
    builder.setParameter(IRE_PARAM_PULSE_SLOPE, 0.25);
    builder.setParameter(IRE_PARAM_PULSE_DURATION, 70.0e-06);
    builder.setParameter(IRE_PARAM_PULSE_HEARTPULSE, 80);

    auto procedure = builder.buildProcedure();
    procedure->get_config_info();

    std::vector<ire::Serie> series;
    for (auto serieId : {1, 2})
    {
        auto serie = ire::Serie(serieId);
        serie.initializeCombinaison(3, 1, 3000.0);
        series.push_back(serie);
    }

    procedure->run(series);

    tSimu.end("IRE simulation time : ");
    std::cout << "End" << std::endl;

    // save results
    ire::GridVect<int> dose;
    procedure->compute_cumulative_dose(500, dose);
    // dose.second.save("dose.nll.gz");

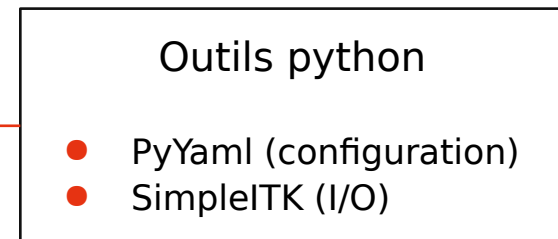
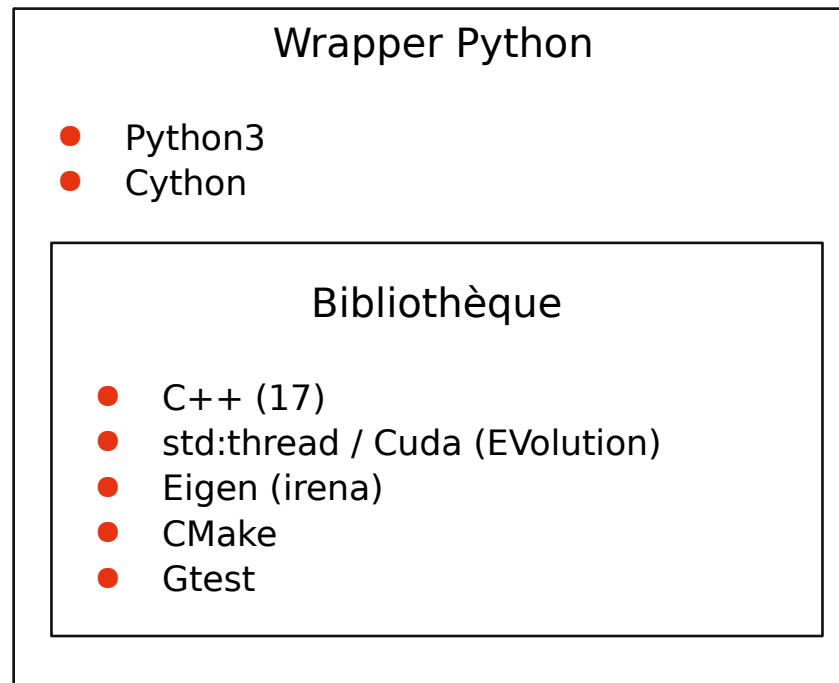
    ire::utils::ChronogramFile chronogramFile("./chronogram.dat");
    auto chronogram = procedure->get_chronogram();
    // chronogramFile.write(chronogram);

    return EXIT_SUCCESS;
}

```

Programme C++ pour la simulation IRE

# Architecture



```

conductivities:
  ext: [1.2e-04, 4.8e-04]
  needles: [1.33e+03, 0.0]

grid:
  sizes: [100, 100, 100]
  spacing: [1.0, 1.0, 1.0]
  origin:
    algorithm: ${___.ComputationGridOriginType.TipsShift}
    shift: -20.0

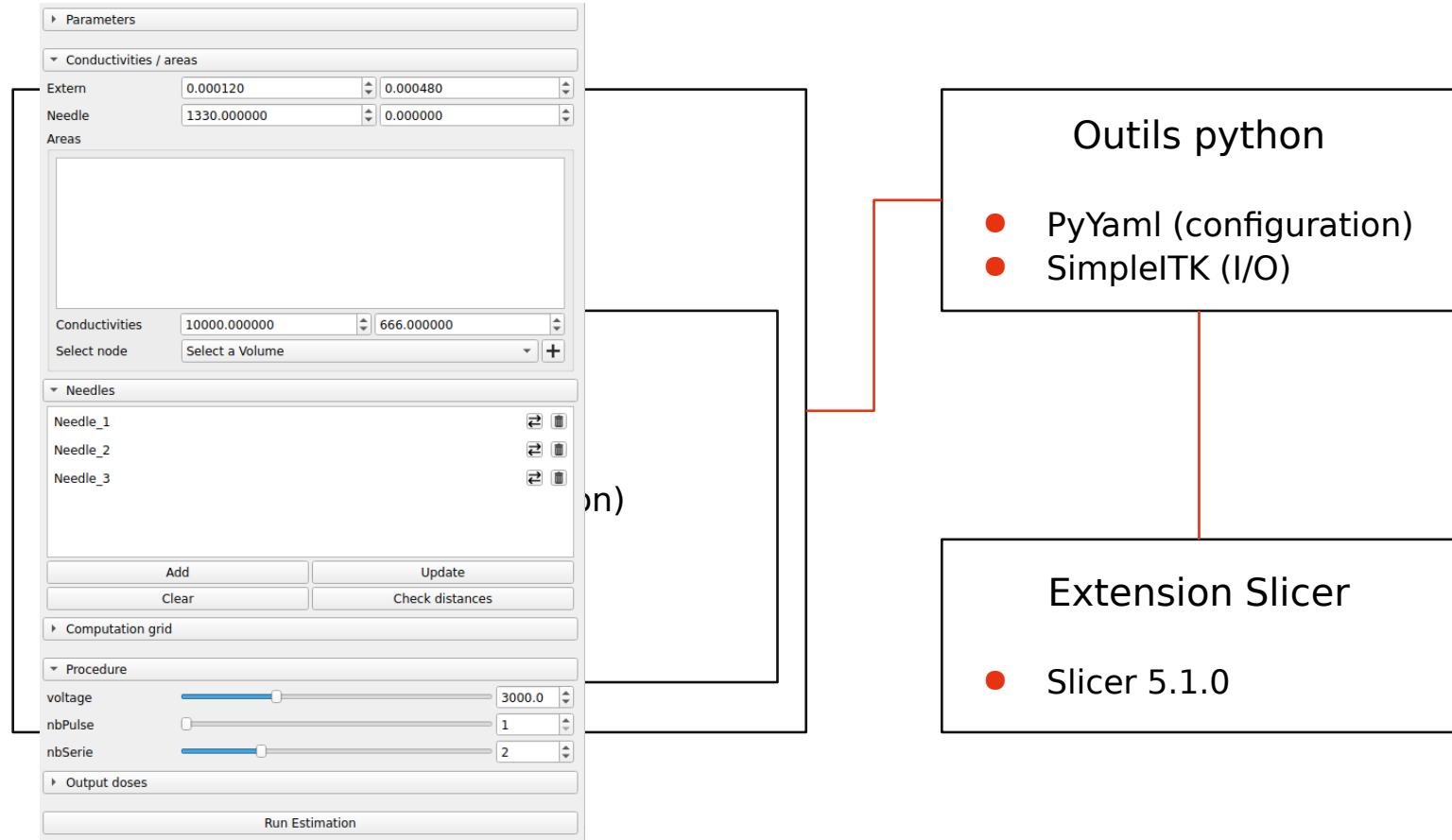
needsles:
  algorithm: ${___.Needles.Coords}
  coords:
    - [[67.34, 129.44, 171.49], [30.94, 83.74, 141.09]]
    - [[93.64, 129.64, 162.39], [46.74, 56.54, 122.49]]
    - [[89.94, 123.44, 176.39], [50.40, 62.24, 149.29]]

procedure:
  algorithm: ${___.Procedure.Combinaisons}
  voltage: 3000.0
  pulse_number: 1
  serie_number: 2

cumulativeDoses:
  values: [500]
  save: True
  
```

Configuration YAML pour la simulation IRE

# Architecture



*Extension Slicer pour la simulation IRE*

# Utilisateurs

## Développement / contributeurs :

- Développement sous Linux (portage Windows en cours)
- Dépôts privés (gitlab.inria.fr)
- B. Denis de Senneville (EVoLution), C. Poignard (Irena), L. L
- + invités (ex : Florent Leray)

## Partenaires :

- Installation : machine dédiée, utilisation via slicer
- O. Sutter (PH Avicenne, en poste accueil chez Monc)
- Service radiologie interventionnelle (Avicenne APHP, CHU Poitiers)

# Ressources

## Données :

- Contexte : plan Cancer, Projets NUMEP et MECI
- Bernouilli Lab APHP-Inria, Projet NEPA
- Données anonymisées
- Format NifTI (données anatomiques, segmentations)
- Objectif pour la routine clinique via PACS

## Calcul :

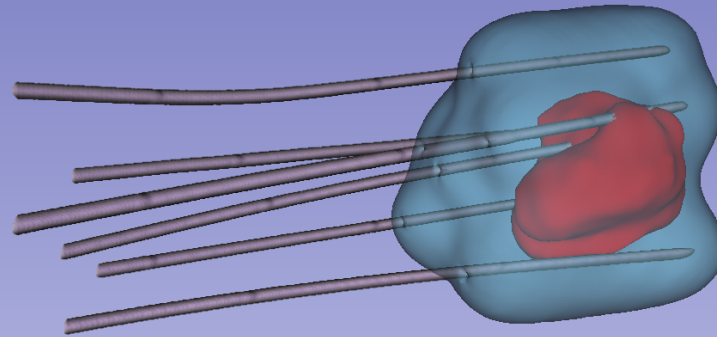
- Machine « classique » : I7 (GPU+) / RAM : 16Go
- Durées :
  - Estimation mouvement : 1-2 min
  - Simulation IRE : 2-5 min
  - (*procédure clinique IRE : 2-5 heures*)

# En cours / à venir

## Pistes de valorisation :

- Dépôts publics (bibliothèque compilées)
- Version libre pour la formation des radiologues à l'IRE
- Intégration dans une machine d'IRE ou d'imagerie (voir avec les constructeurs, brevet soumis)
- Extension aux autres organes : prostate, cœur (projet en cours avec l'IHU Liryc)

Merci



Des questions ?