



Modélisation et Simulation des processus industriels du CERN

LMCS 2014

*Journée nationale pour la modélisation et la simulation 0D/1D
Chatou, France*

Benjamin BRADU

*CERN, Genève, Suisse
Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire*

Sommaire

- Le CERN et le LHC

- Principe de modélisation/simulation

- Simulations de processus industriels au CERN
 - ✓ Cryogénie
 - ✓ Systèmes de gaz
 - ✓ Systèmes de refroidissement à eau
 - ✓ Systèmes de ventilation

- Conclusion

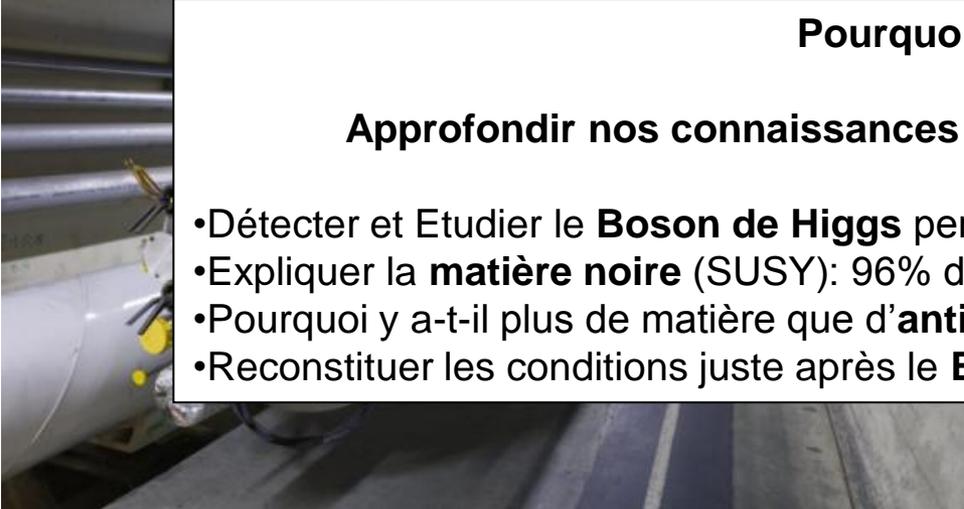
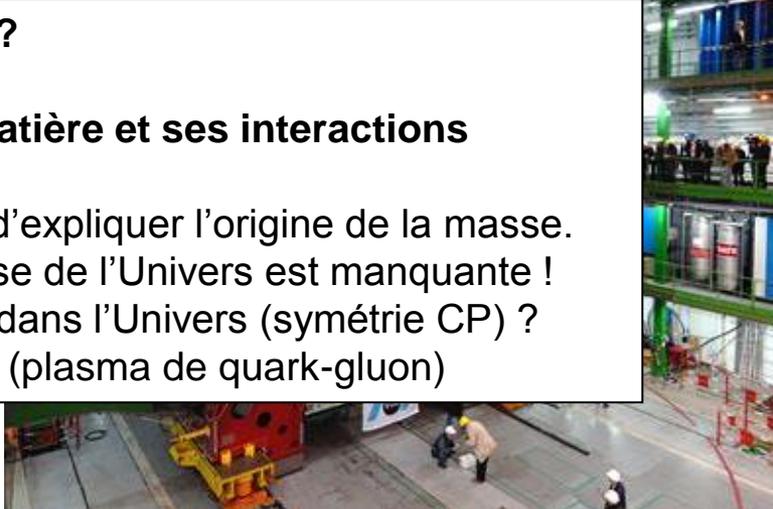
Le plus grand accélérateur du monde

- **CERN** : Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire, Genève
 - ✓ Laboratoire européen pour la physique des particules
 - ✓ 21 pays membres, 2 400 employés + 9 000 utilisateurs de 40 pays
- **LHC** : Grand Collisionneur de Hadrons (« *Large Hadron Collider* »)
 - ✓ Accélère 2 faisceaux de protons proches de la vitesse de la lumière sur 27km (7 TeV)
 - ✓ Environ 600 millions de collisions par seconde dans 4 détecteurs situés en 4 points de l'accélérateur (ATLAS, CMS, ALICE, LHCb)



Pourquoi le LHC ?

Approfondir nos connaissances sur la matière et ses interactions

- Détecter et Etudier le **Boson de Higgs** permettant d'expliquer l'origine de la masse.
 - Expliquer la **matière noire** (SUSY): 96% de la masse de l'Univers est manquante !
 - Pourquoi y a-t-il plus de matière que d'**antimatière** dans l'Univers (symétrie CP) ?
 - Reconstituer les conditions juste après le **Big-bang** (plasma de quark-gluon)
- 
- 

LHC = Supraconductivité + Cryogénie

Courber et focaliser
des faisceaux de protons à 7 TeV sur 27 km

Champs magnétiques (8 teslas)

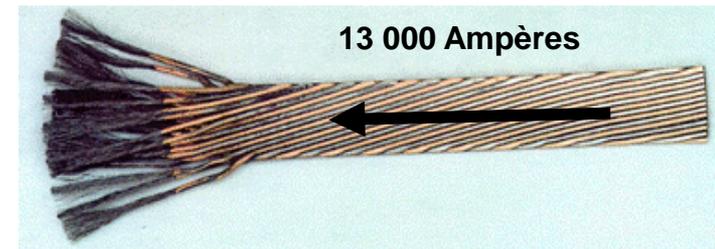
Utilisation d'**électro-aimants**
Pour 8 teslas dans LHC : 13 000 A

Utilisation d'aimants **supraconducteurs** :
Pas de résistance électrique
→ Pas de pertes Joules et peu encombrant

Température pour le LHC: **1,9 K (-271°C)**

CRYOGENIE à l'hélium (seul liquide à cette T°)

Refroidir 40 000 tonnes à 1,9 K avec 90 tonnes d'hélium superfluide



Systemes industriels du CERN

1. Cryogénie

- ✓ Cryogénie à Hélium pour les aimants supraconducteurs
- Accélérateurs et Détecteurs de particules
 - *LHC: 20 kW à extraire à 1,9 K (40 MW électrique): 80 PLC pour 40 000 I/O (5 000 régulateurs PID)*

2. Systemes de gaz

- ✓ Gestion de mélange et de purification de différents gaz
- Détecteurs de particules
 - *4 expériences LHC: 30 PLC pour 14 000 I/O.*

3. Systemes de refroidissement à eau

- ✓ Tours de refroidissement et systemes de distribution d'eau
- ✓ Accélérateurs, Détecteurs de particules, Centre de calcul
 - *LHC: 160 MW à extraire entre 24 C et 34 C: 21 PLC pour 15 000 I/O*

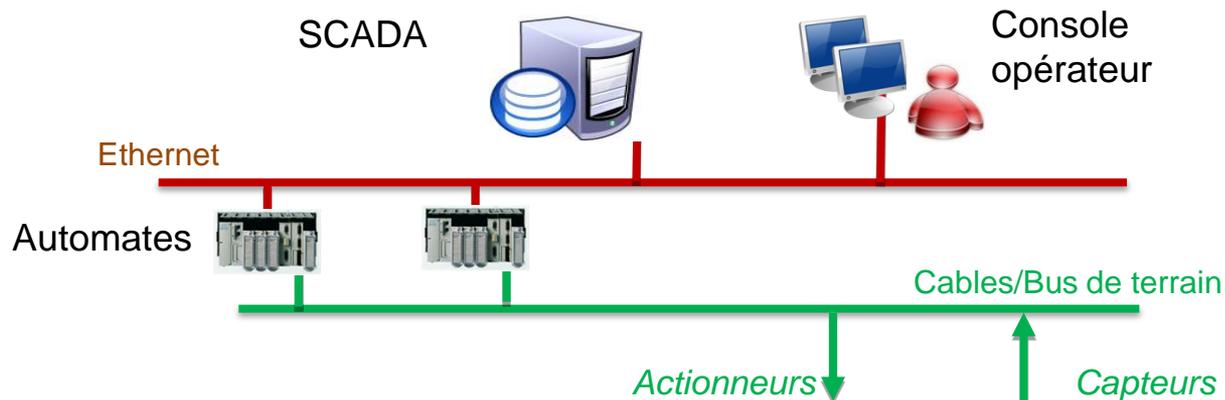
4. Systemes de ventilation

- ✓ Chauffage, Ventilation et air conditionné (HVAC)
- ✓ Tunnels, Cavernes, Grands bâtiments expérimentaux, Centre de calcul
 - *LHC: 27 km de tunnel à ventiler entre 18 000 et 45 000 m³/h: 32 PLC*

Contrôle et simulation de processus industriels

Besoins:

- Former les opérateurs aux systèmes de supervision et aux processus
- Tester les systèmes de contrôle avant la mise en service
- Optimiser les stratégies de contrôle sans perturber l'opération



Simulateur de



Temps réel ou accéléré

- Cryogénie
- Systèmes de gaz
- Vide
- Refroidissement
- Ventilation
- ...

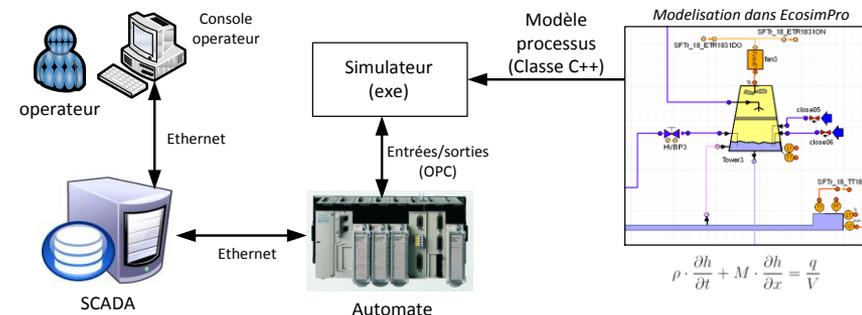
Principes de Modélisation/Simulation

- Modélisation processus macroscopique en 0D/1D
 - ✓ Modèle de connaissance à partir des équations de la physique
 - Thermodynamique
 - Mécanique des fluides
 - ...

- Choix d'un logiciel commercial: **EcosimPro**
 - ✓ Modélisation orientée objet (1 composant = 1 entité processus)
 - Modélisation des fluides (eau, air, hélium...)
 - Modélisation des actionneurs (vannes, pompes, compresseurs...)
 - Modélisation des équipement passifs (tuyaux, réservoirs...)
 - Modélisation des capteurs (température, pression, débit...)
 - ✓ Modélisation non causale des composants
 - ✓ Utilisation d'équations algébro-différentielles (DAE)
 - ✓ Discrétisation spatiale des EDP « à la main » pour les composants 1D
 - ✓ Interface graphique conviviale et facile



- Mise en place de simulateurs
 - ✓ Génération de classe C++ des modèles
 - ✓ Communication OPC avec automates

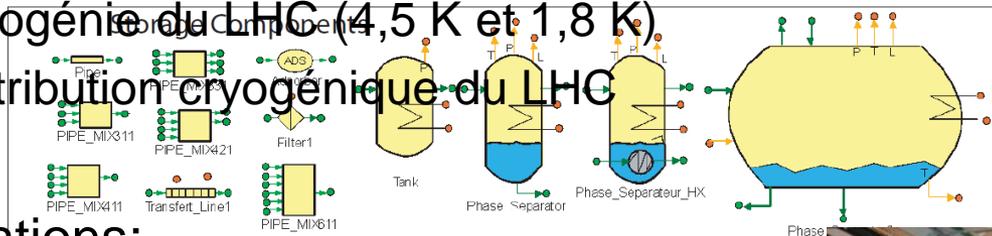


1. Cryogénie

- Une bibliothèque de composant a été développée (*CRYOLIB*)

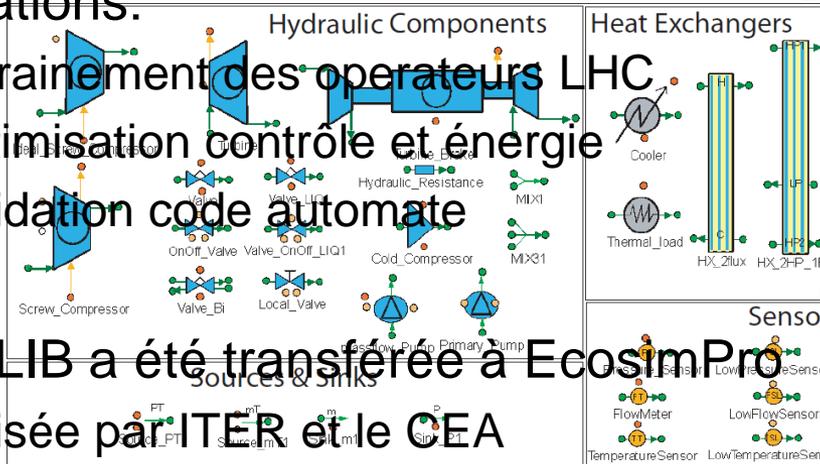
- Plusieurs installations cryogéniques ont été simulées

- Cryoplant du détecteur de particule CMS
- Liquéfacteur à hélium central du CERN
- Cryogénie du LHC (4,5 K et 1,8 K)
- Distribution cryogénique du LHC



- Applications:

- Entraînement des operateurs LHC
- Optimisation contrôle et énergie
- Validation code automate



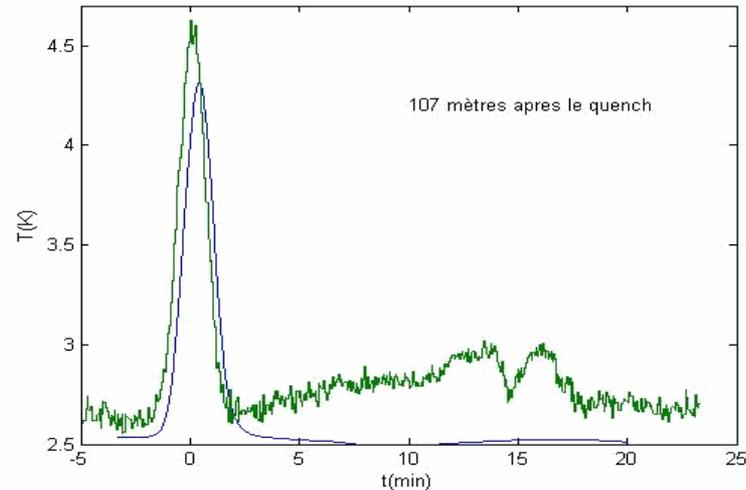
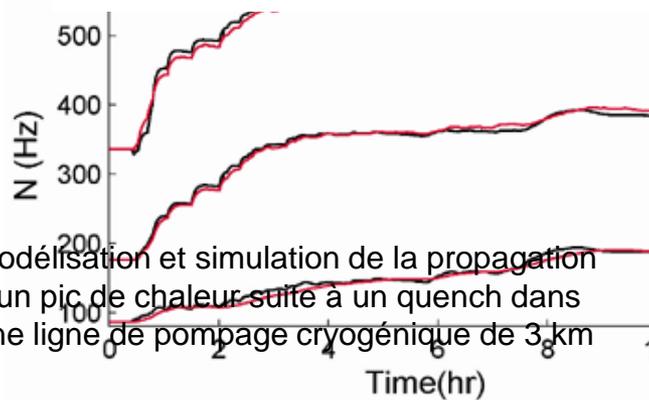
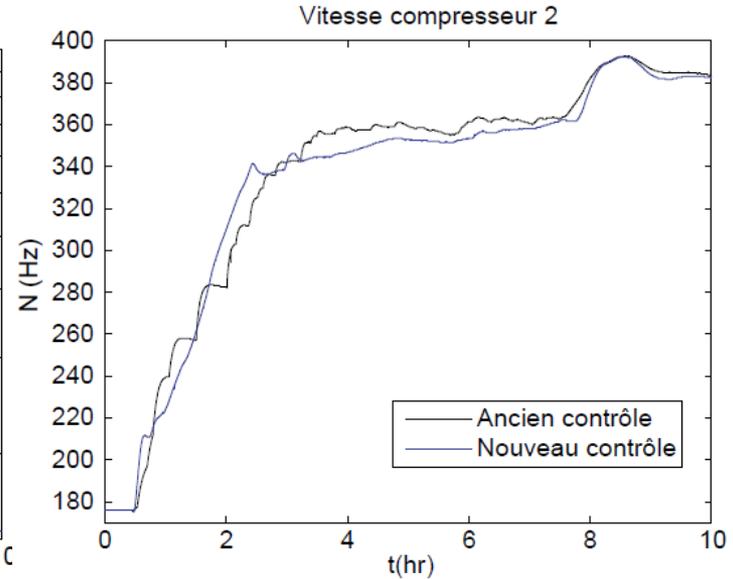
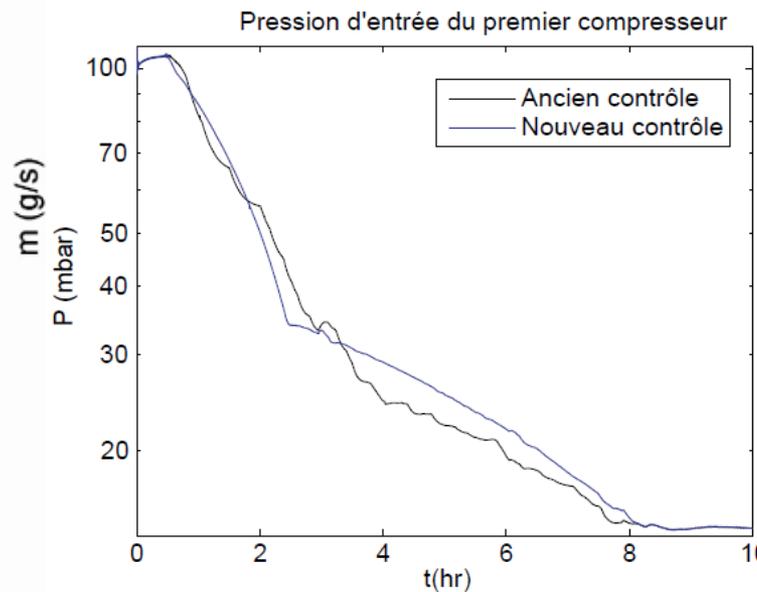
- *CRYOLIB* a été transférée à EcosimPro

- Utilisée par ITER et le CEA



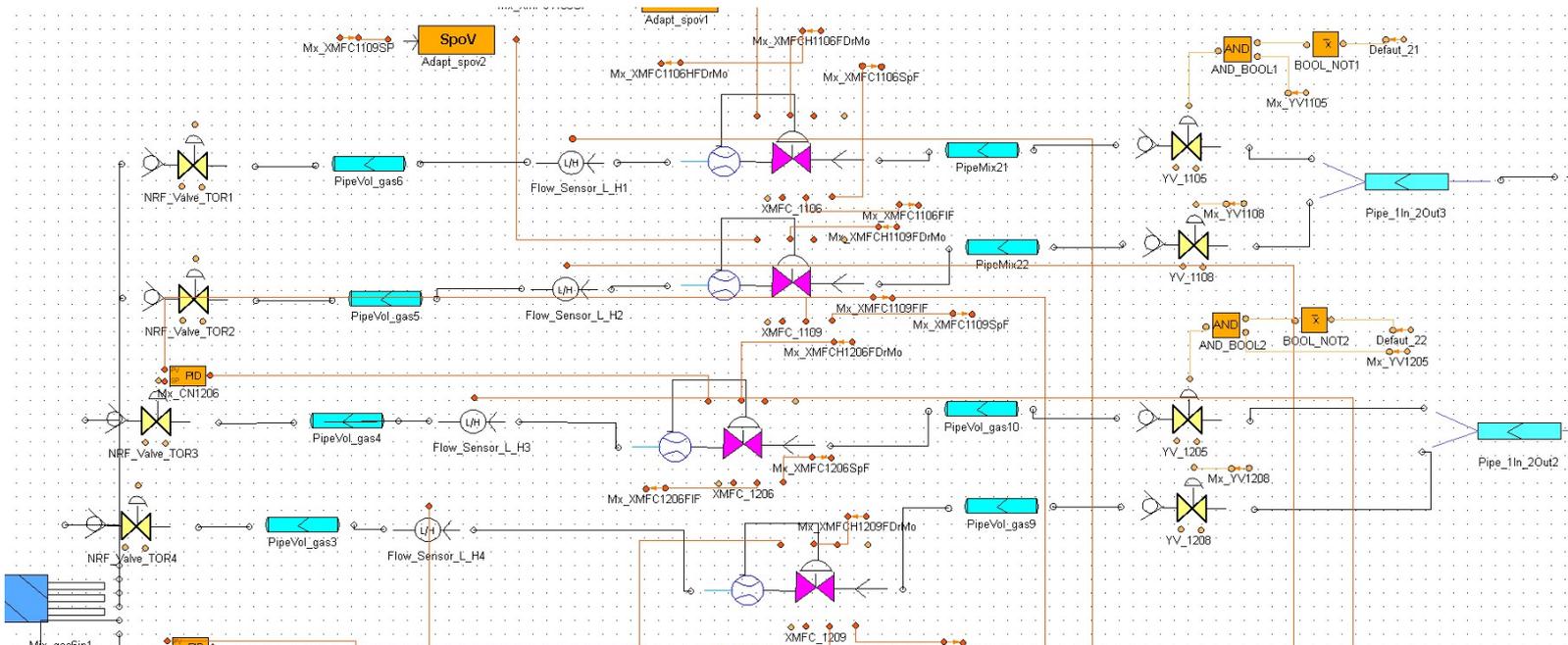
Résultats de simulation: réfrigérateur à 1,8 K

Amélioration du contrôle des compresseurs froids du LHC



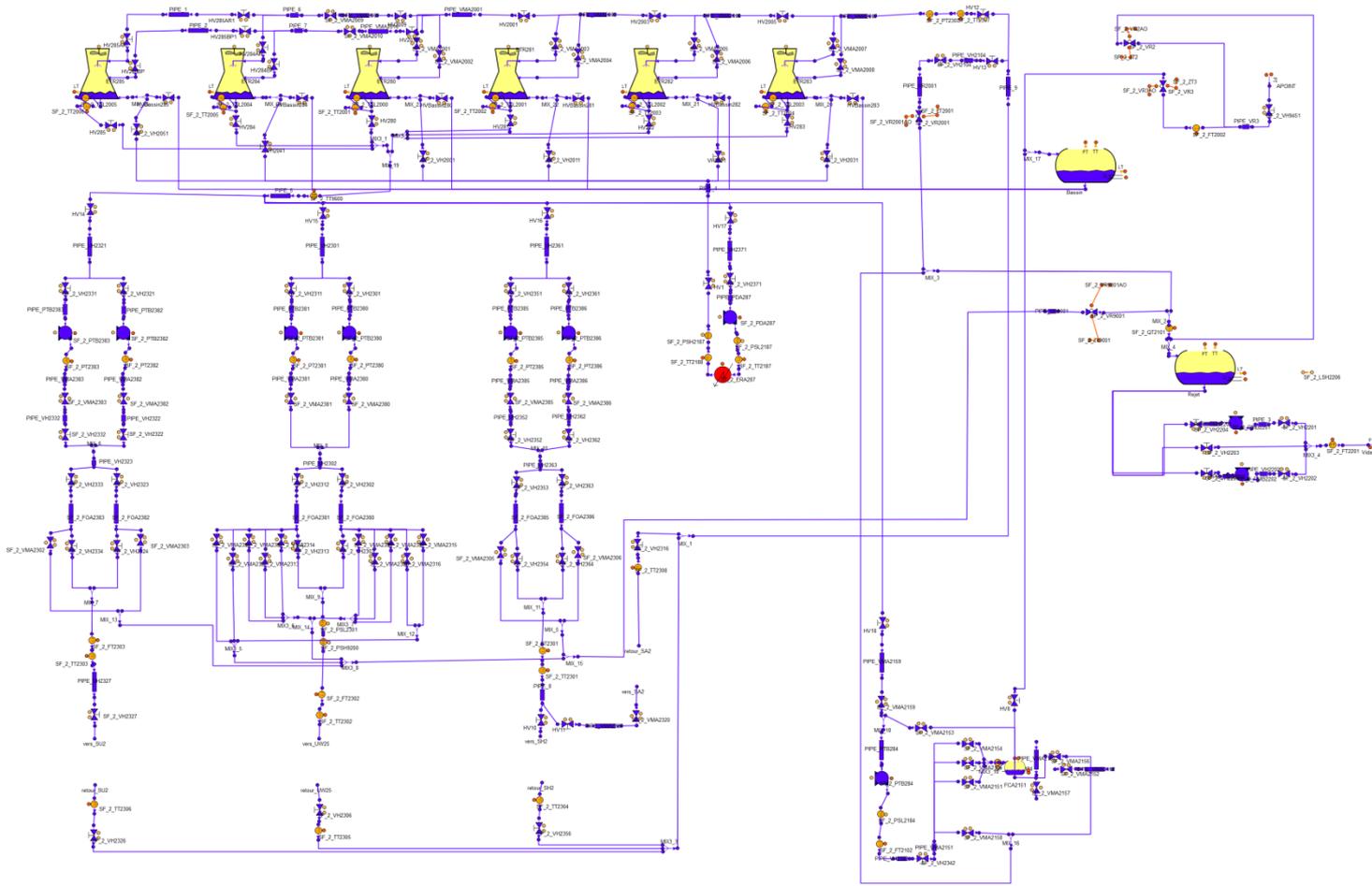
2. Systèmes de gaz

- Système de gaz: réalise des mélanges de gaz pour les détecteurs
- Bibliothèque de composant développée au CERN
- Un sous-détecteur du LHC a été modélisé/simulé (CMS-CSC)
- Le simulateur a permis la validation d'un nouveau système de gestion des alarmes et de détection de défauts.



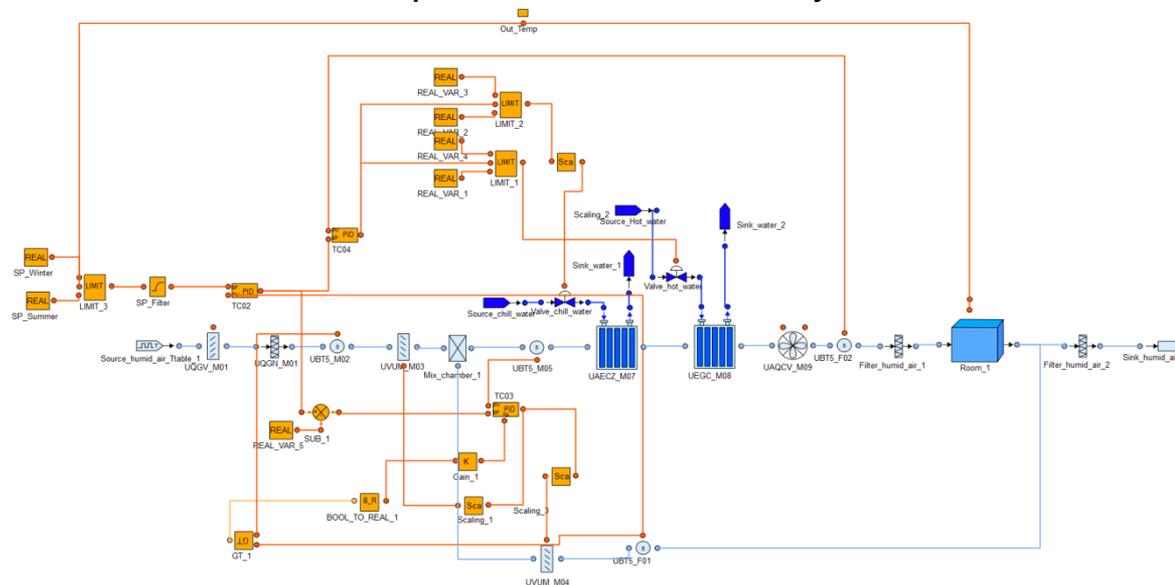
3. Tours de refroidissement

- Bibliothèque de composants développée au CERN
- Toutes les tours du LHC ont été modélisées
- Utilisée pour valider tous les nouveaux systèmes de contrôle



4. Systèmes de ventilation

- Systèmes de chauffage, Ventilation et air-conditionné (HVAC)
 - ✓ Assure la qualité de l'air (température, pression, oxygène, humidité)
 - ✓ Appliqué à de grandes infrastructures (tunnel, caverne/Hall expérimental...)
- Bibliothèque développée au CERN avec université de Valladolid
- Va être utilisé pour:
 - ✓ Valider de nouveaux schémas de régulation
 - ✓ Simuler la ventilation du LHC pour valider le futur système de contrôle en 2018.



Conclusion

La modélisation et la simulation sont utilisées dans de nombreux domaines tout au long de la vie des projets

■ Phase de spécification

- Vérification comportement global
 - Ex: cryogénie ITER

■ Mise en service

- Virtual commissioning
 - Ex: Tours du LHC

■ Phase d'opération

- **Entraînement d'opérateurs**
 - Ex: Cryogénie LHC
- **Optimisation du contrôle**
 - Ex: Compresseurs froids du LHC à 1,8 K

