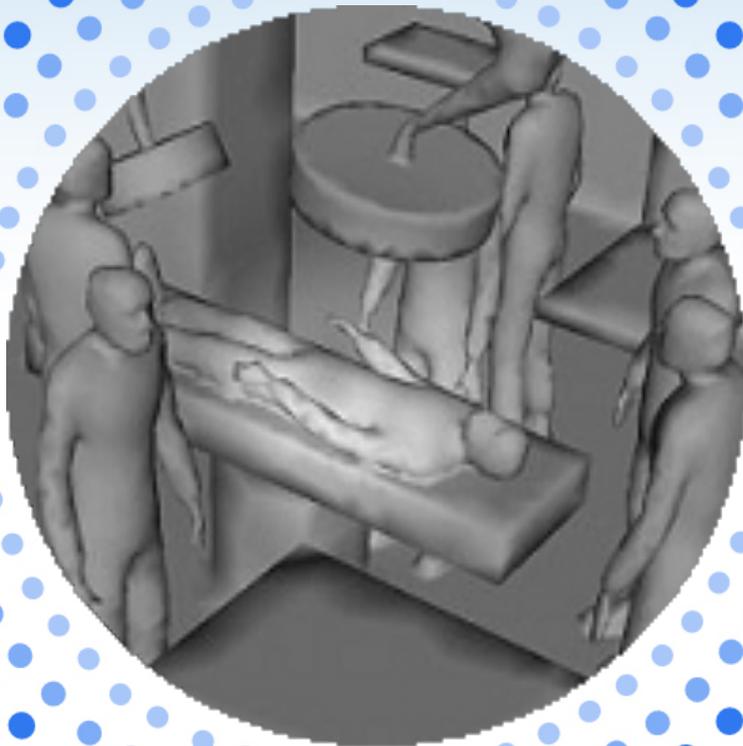


Centre de traitement des brûlés de l'hôpital Saint-Louis (AP-HP)

Apport de la simulation numérique
dans la maîtrise du risque de contamination aéroportée



ASSISTANCE
PUBLIQUE  HÔPITAUX
DE PARIS

Maurice Mimoun

Christian Beauchêne



53^{ème} journée IHF – Atelier 2 - Environnement Technique



Le Centre de Traitement des brûlés de l'Hôpital Saint-Louis





Le Centre de Traitement des brûlés de l'Hôpital Saint-Louis

- **Construction d'un nouveau Centre de Traitement des Brûlés à l'Hôpital Saint-Louis (AP-HP)**
- **Regroupe les structures de plusieurs hôpitaux parisiens**
- **Vise la meilleure prise en charge des patients et des équipes ...**
- **...à travers le concept du « presque tout dans la chambre »...**



Le concept du « presque tout dans la chambre »





Le concept du « presque tout dans la chambre »

- **Nouvelle façon de penser l'hôpital : la structure s'adapte au patient**
- **Structure d'accueil des grands brûlés à la phase aigüe**
- **Le patient ne change pas d'environnement**
- **Sous la protection permanente d'un plafond soufflant**
- **Chambre/réanimation/interventions chirurgicales/soins**
- **Les sas : une barrière contre la contamination entrante et sortante**



Le concept du « presque tout dans la chambre »

- Valider voire améliorer le fonctionnement aéraulique du concept
- Partenariat de recherche entre AP-HP et EDF-R&D
- Mission d'EDF R&D : « modéliser pour comprendre »





EDF R&D

Modélisation des écoulements d'air

- **S'appuie sur un code de calcul de CFD : *Code_Saturne***
- **développé et enrichit depuis plus de 30 ans**
- **pour répondre aux besoins des industries d'EDF**
- **principalement dans le domaine du nucléaire**
- **modélise toutes sortes d'écoulements**

CFD : Computational Fluid Dynamics



Pourquoi modéliser les écoulements d'air

- **Modéliser pour rendre visible l'invisible**
- **Modéliser pour comprendre**
- **Modéliser ce que l'on ne peut pas mesurer**
- **Modéliser pour détecter les dysfonctionnement aérauliques**
- **Modéliser pour détecter des situations à risques**

Détecter des risques de contamination aéroportée

Modéliser pour détecter les risques de dysfonctionnement aéraulique

Exemples





Modélisation des écoulements d'air

Détecter les risques de dysfonctionnement aéraulique

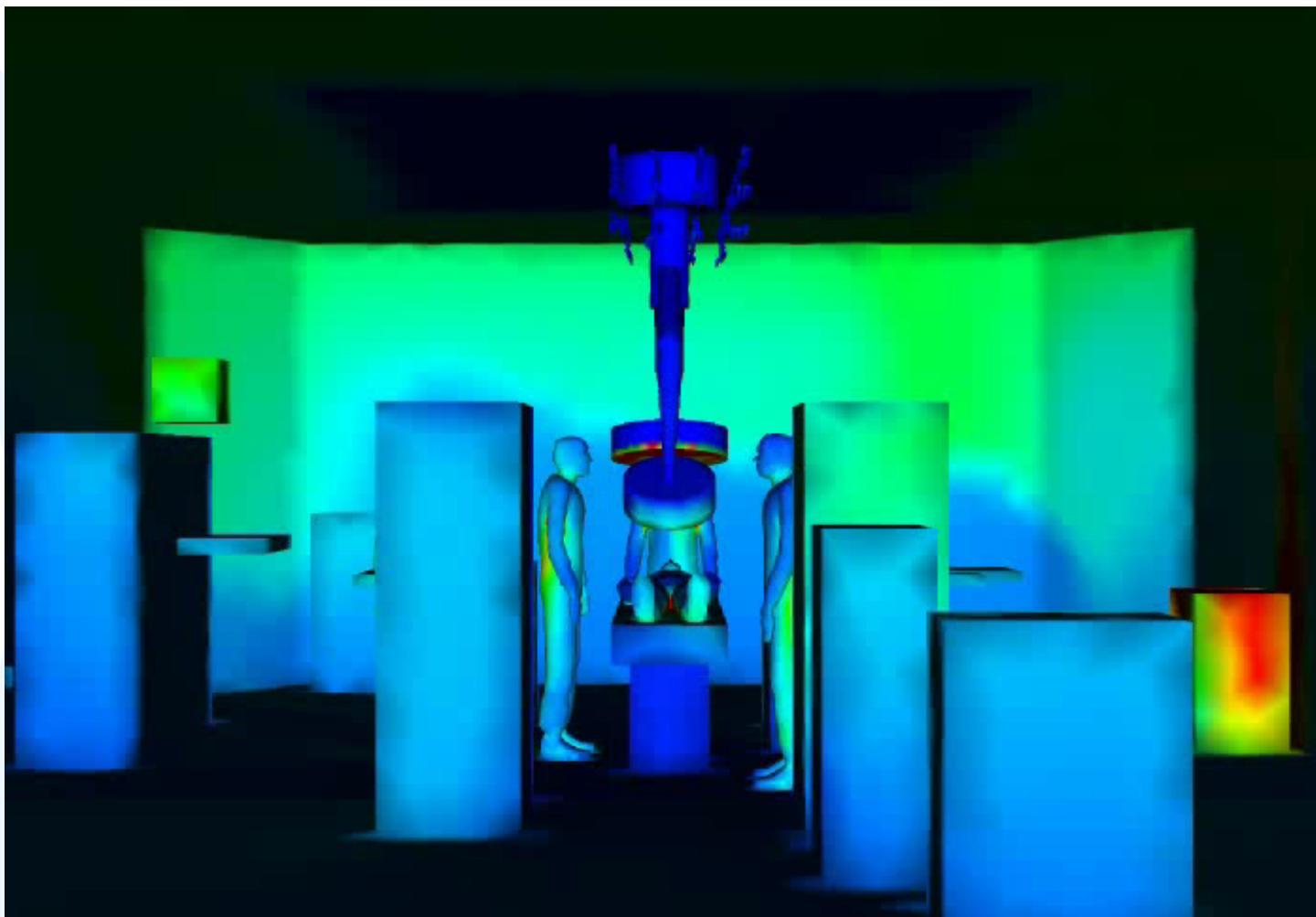
Visualisation des filets d'air issus du plafond





Modélisation des écoulements d'air

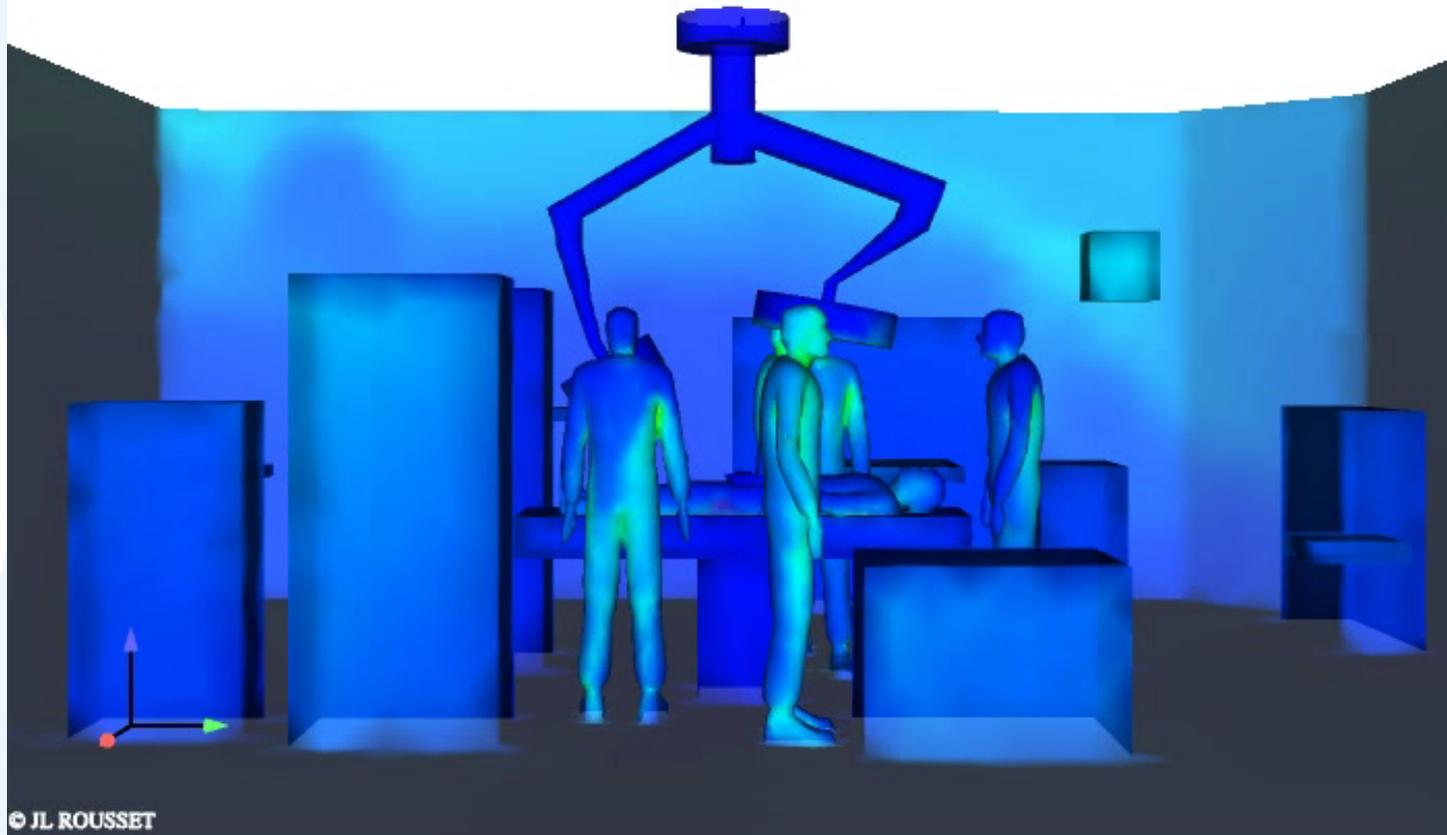
Détecter les risques de dysfonctionnement aéraulique





Modélisation des écoulements d'air

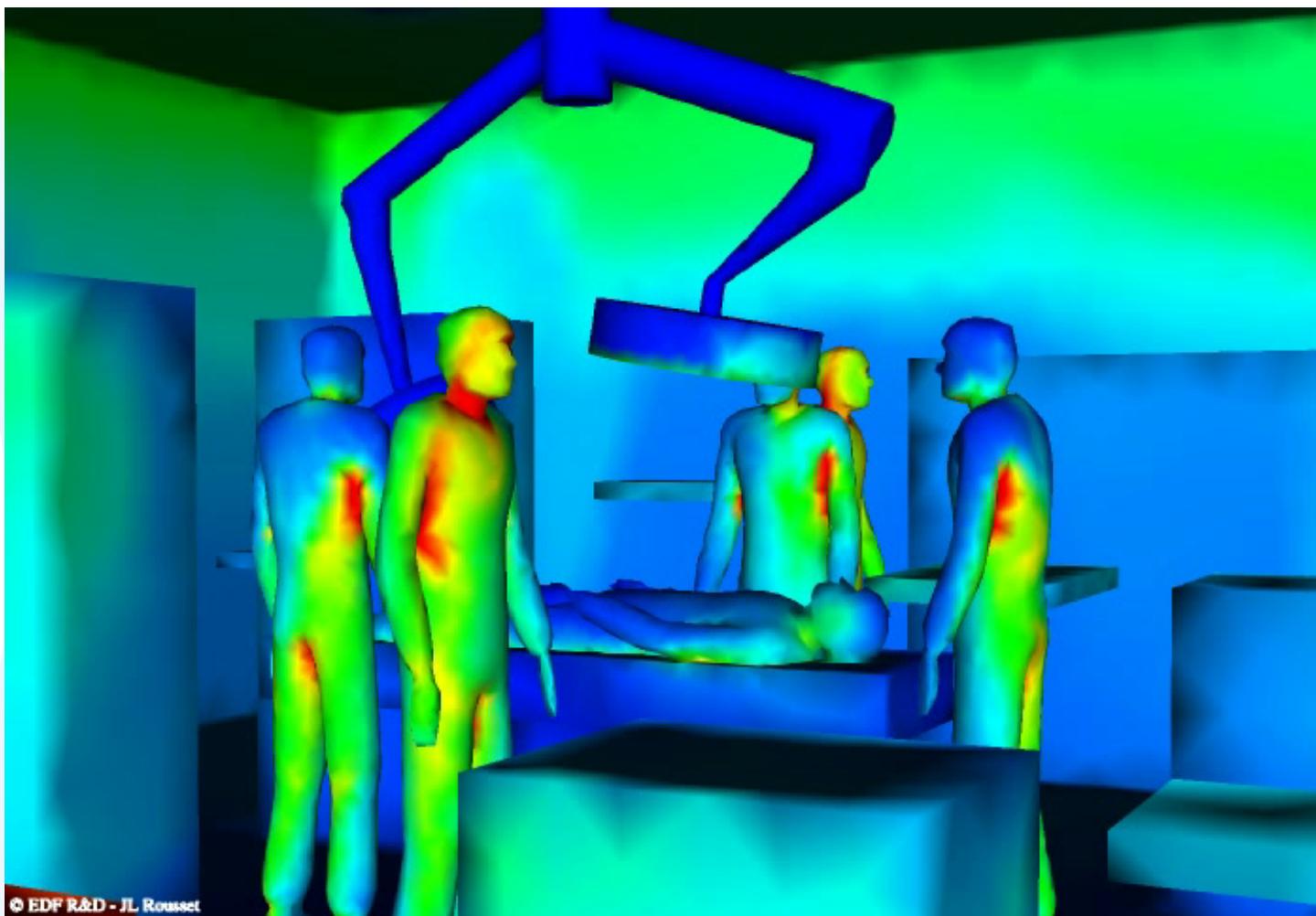
Détecter les risques de dysfonctionnement aéraulique





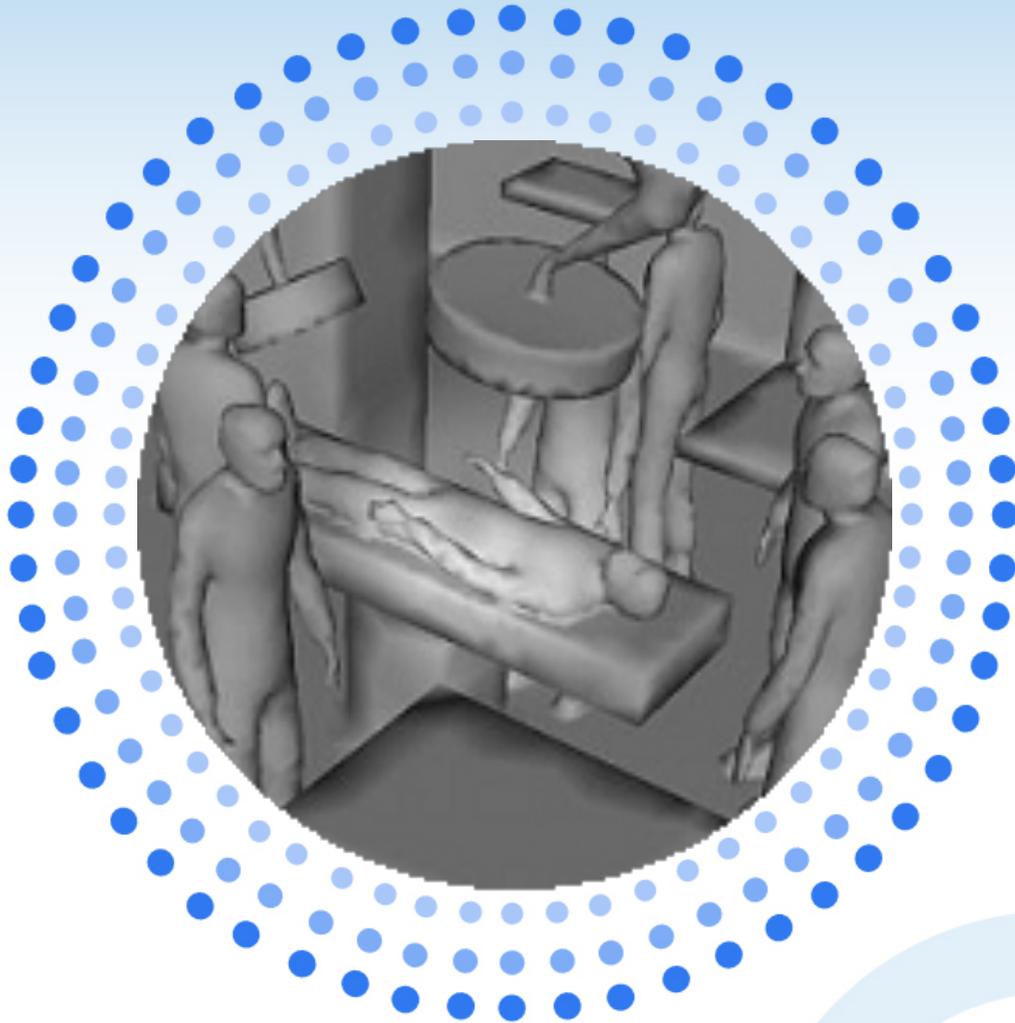
Modélisation des écoulements d'air

Détecter les risques de dysfonctionnement aéraulique

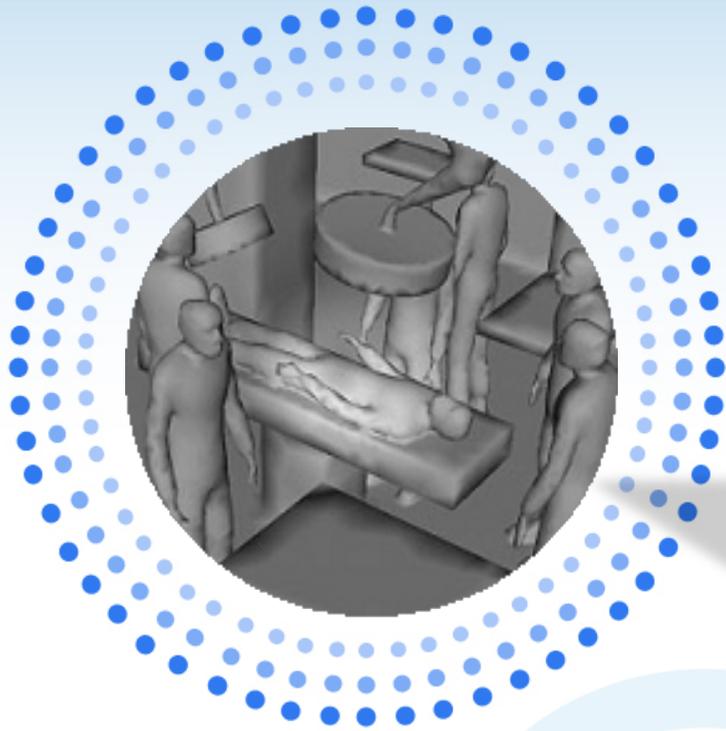


Centre de traitement
des brûlés
de l'hôpital Saint-Louis
(AP-HP)

MODELISATIONS



Projet « Grands Brûlés »
AP-HP
Hôpital Saint-Louis



**Etude préliminaire : schéma
aéraulique du plafond soufflant**





Étude plafond soufflant

- Réponse à la norme NF S90-351 v2003 (zone 4)
et
- Réponse à la future norme européenne EN XXX¹



Overzicht meetopstelling in het GZO-Spital Wetzikon (Zwitserland)
t.b.v. de kwalificatie meting.



Meetopstelling t.b.v. standaard test voor een gegenereerd aerosol in GZO-Spital te Wetzikon.



Versuchsaufbau im Labor-OP an der Hochschule für Technik + Architektur in Luzern

¹ Le CEN souhaite créer une norme européenne sur la ventilation dans les hôpitaux. Le groupe de travail CEN TC156 WG 13 est présidé par Kurt. Ce projet de norme est basé sur la directive suisse SWKI 99-3 et la directive allemande VDI 2167



Étude plafond soufflant : choix de la géométrie octogonale

La géométrie octogonale permet d'éviter les turbulences et de générer de la MDE

Optimisation de la géométrie: 10,5 m² à 9,0 m² (-15%)

10 000 m³/h à 8 500 m³/h

⇒ **gain sur le chauffage de l'air injecté (chambre à 30° en permanence) et sur la ventilation:**

à 50 V/h : 31 MWh/an * 6 chambres = 186 MWh/an

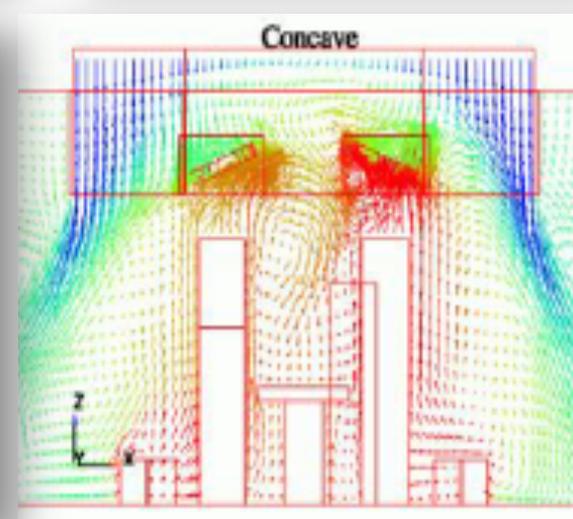
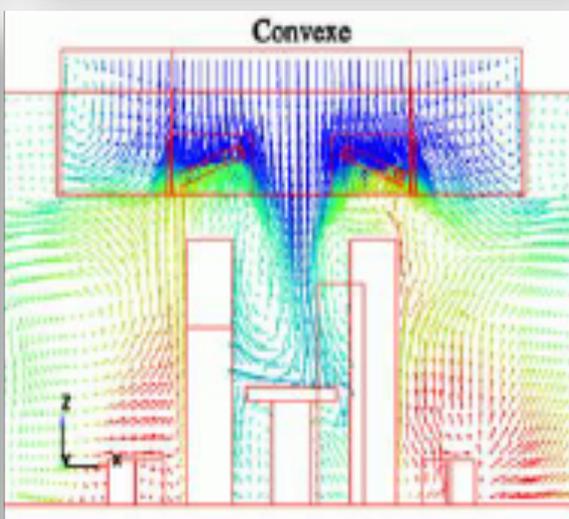
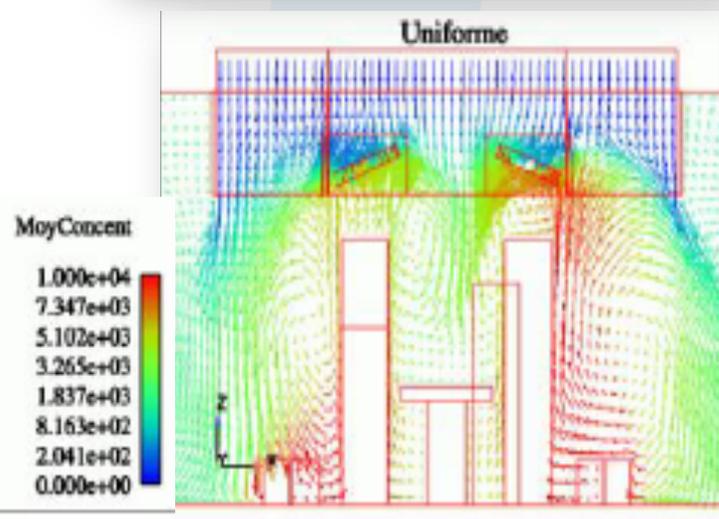
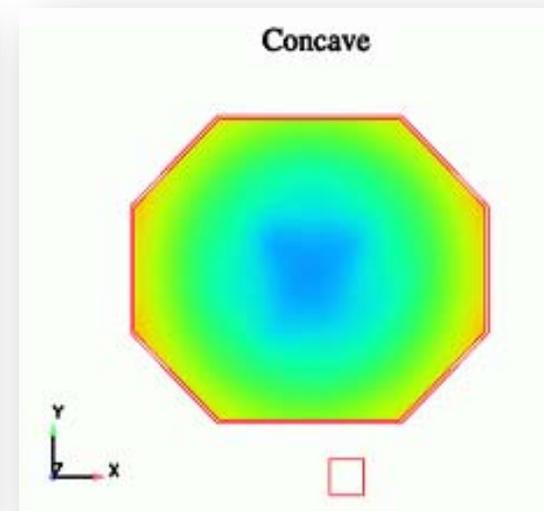
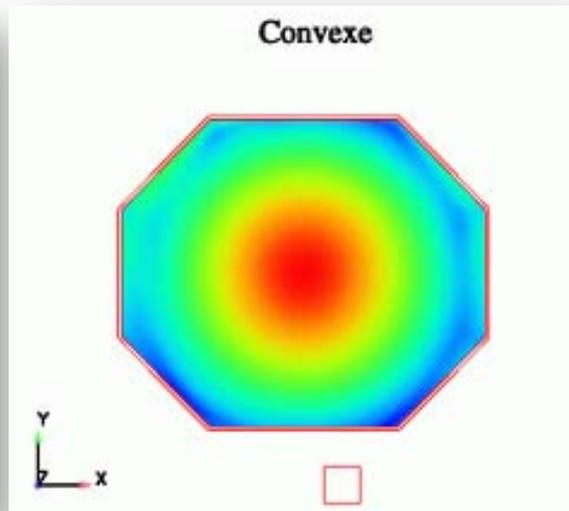
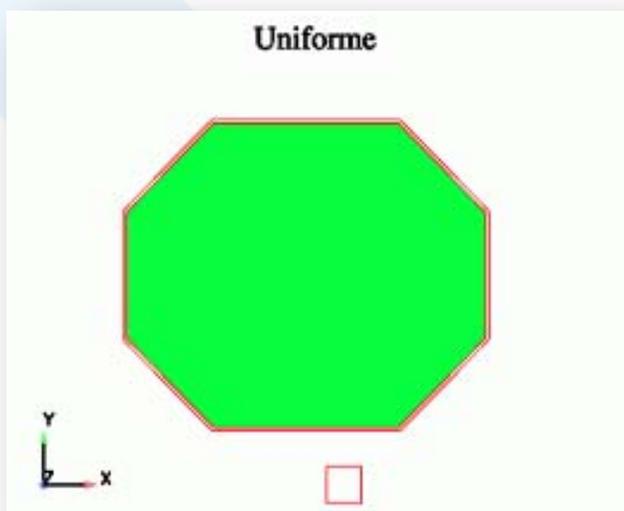
à 130 V/h : 80 MWh/an * 6 chambres = 480 MWh/an

MDE comprise entre 186 MWh/an et 480 MWh/an¹

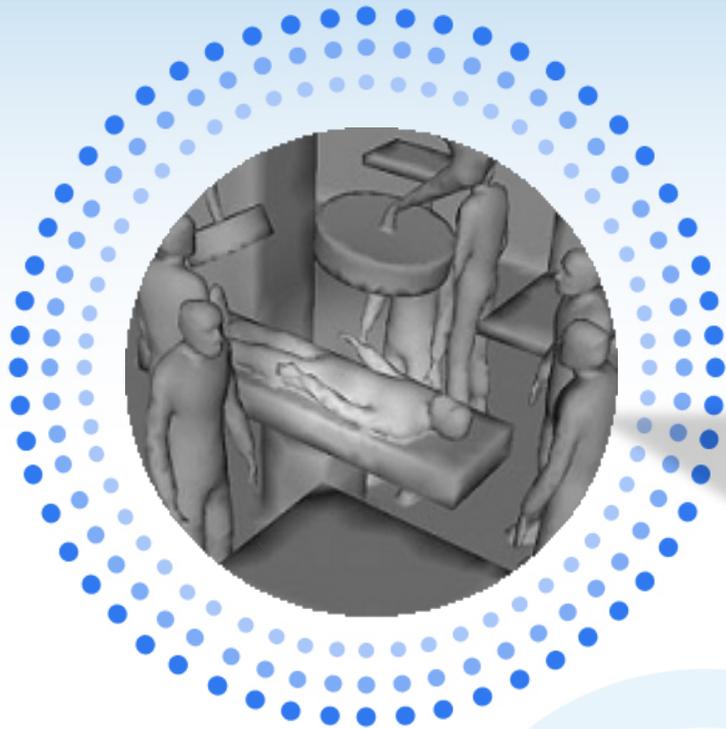


Étude plafond soufflant : choix du profil de vitesse (1)

⇒ Choix du profil de vitesse: Protection optimale du patient et de l'équipe



Programme Hospitalier de Recherche Clinique AOR06059 Hôpital Saint-Louis



**1^{ère} étude du PHRC:
modélisation des flux d'air
chambre/sas/couloir**

ASSISTANCE PUBLIQUE  HÔPITAUX DE PARIS

 DIRC ILE-DE-FRANCE
DEPARTEMENT DE LA RECHERCHE CLINIQUE ET DU DEVELOPPEMENT DE L'AP-HP





Modélisation des flux d'air chambre/ sas/couloir

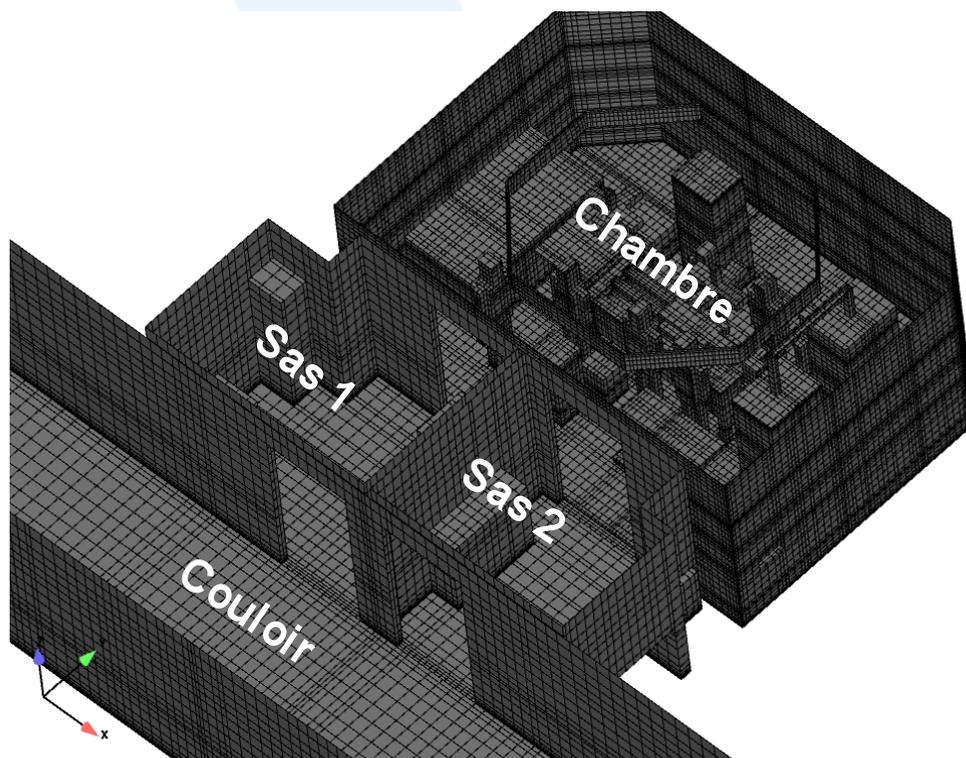
***Traquer les dysfonctionnements aérauliques
=
traquer les risques de contamination aéroportée***



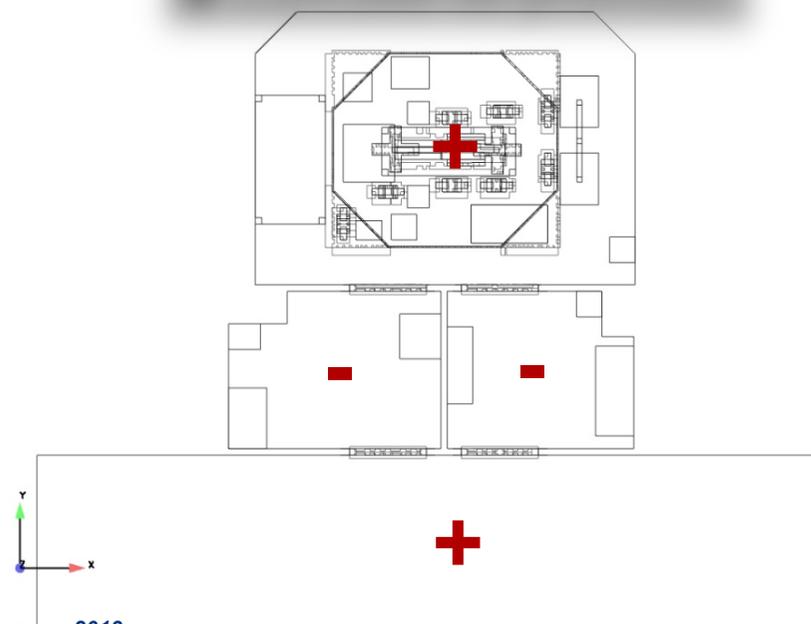
Modélisation des flux d'air chambre/ sas/couloir (1)

Création d'un ensemble architectural virtuel

- Maillage : 330 000 cellules
- Température d'air en sortie plafond soufflant : 32 °C
- Vitesse de l'air en sortie de plafond soufflant : 0,25 m/s (basse vitesse)
- Température de l'air dans les sas : 25°C
- Température du couloir : 27°C
- Vitesse de l'air en sortie de bouche de soufflage dans les sas : 0,25 m/s



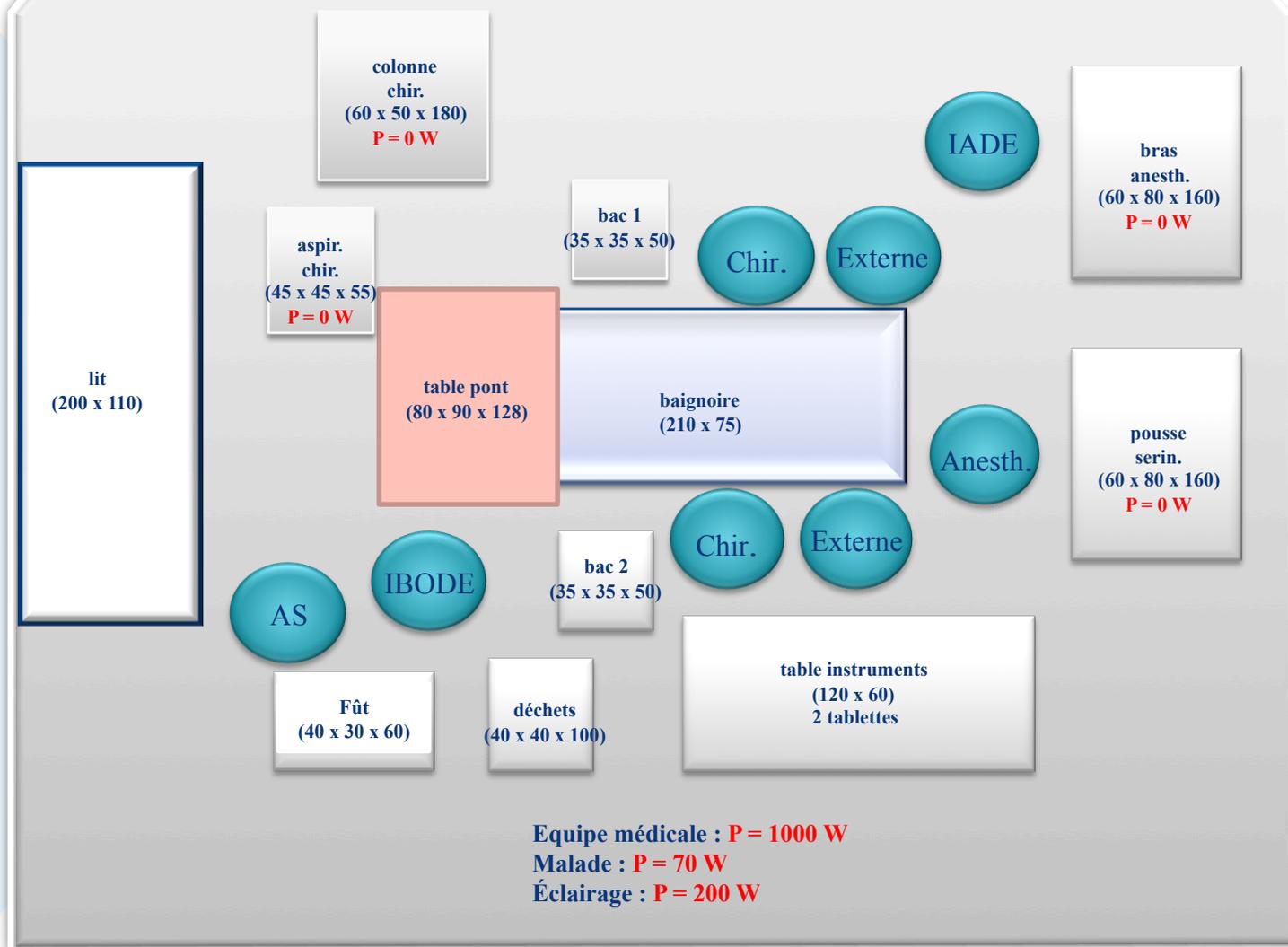
➔ Cascade de pression





Modélisation des flux d'air chambre/sas/couloir (2)

Position de l'équipe médicale et du matériel





Modélisation des flux d'air chambre/ sas/couloir (3)

Visualisation du domaine de calcul



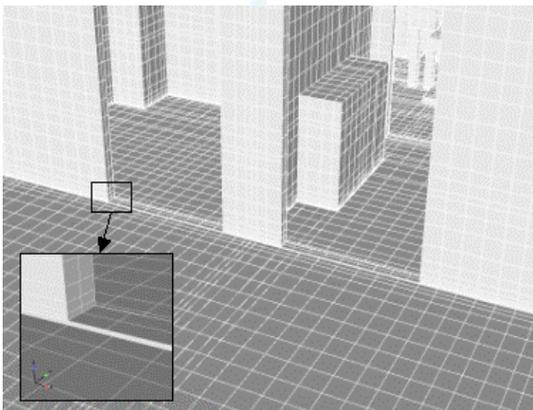
Modélisation des flux d'air chambre/ sas/couloir (4)

Visualisation des filets d'air issus du plafond



Modélisation des flux d'air chambre/ sas/couloir (5)

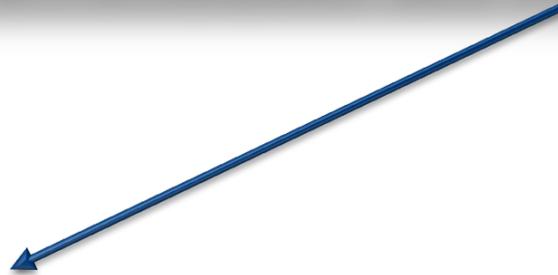
Visualisation de fuites dans les sas





Modélisation des flux d'air chambre/ sas/couloir (6)

Risque d'accumulation des contaminants en partie haute

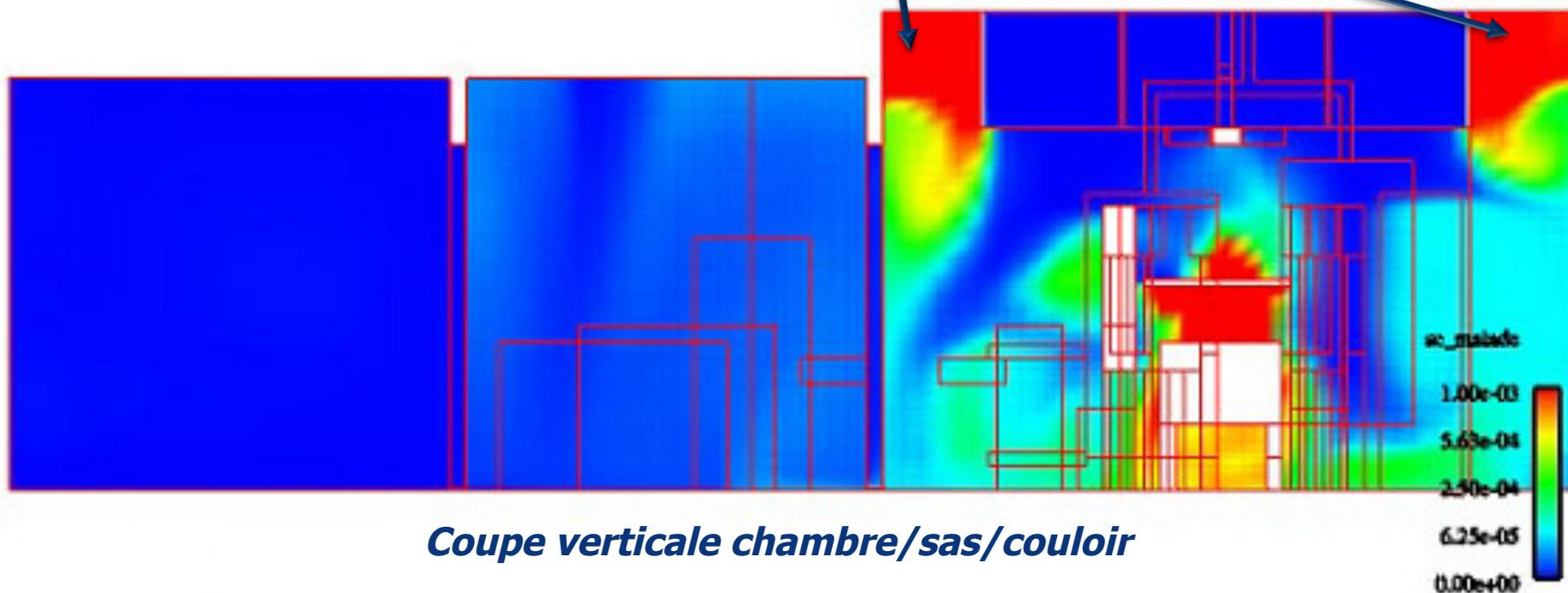


Contamination simulée à partir du patient



Modélisation des flux d'air chambre/ sas/couloir (7)

Risque d'accumulation des contaminants en partie haute



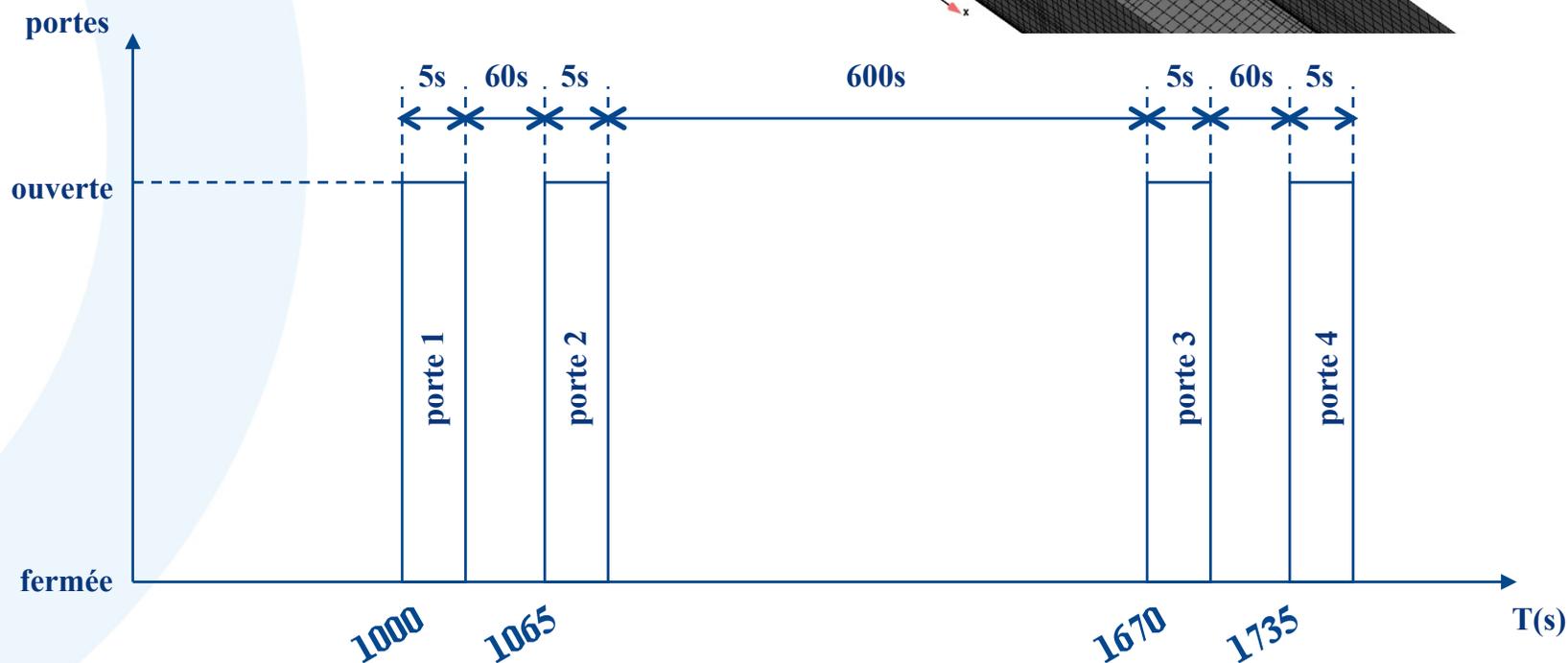
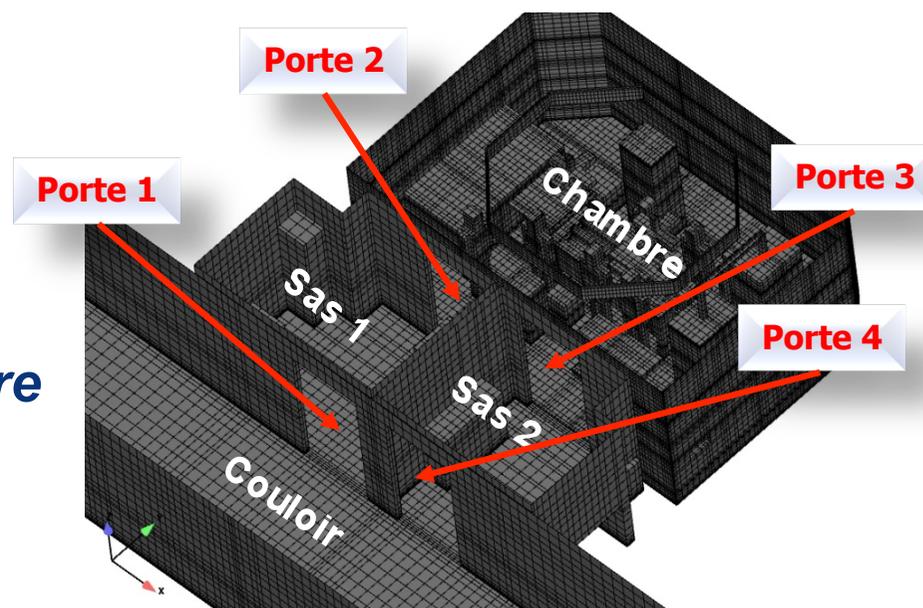
Coupe verticale chambre/sas/couloir

Concentration de contaminant émis par le patient dans la chambre



Modélisation des flux d'air chambre/ sas/couloir (8)

Séquence d'ouverture et de fermeture des portes





Modélisation des flux d'air chambre/ sas/couloir (9)

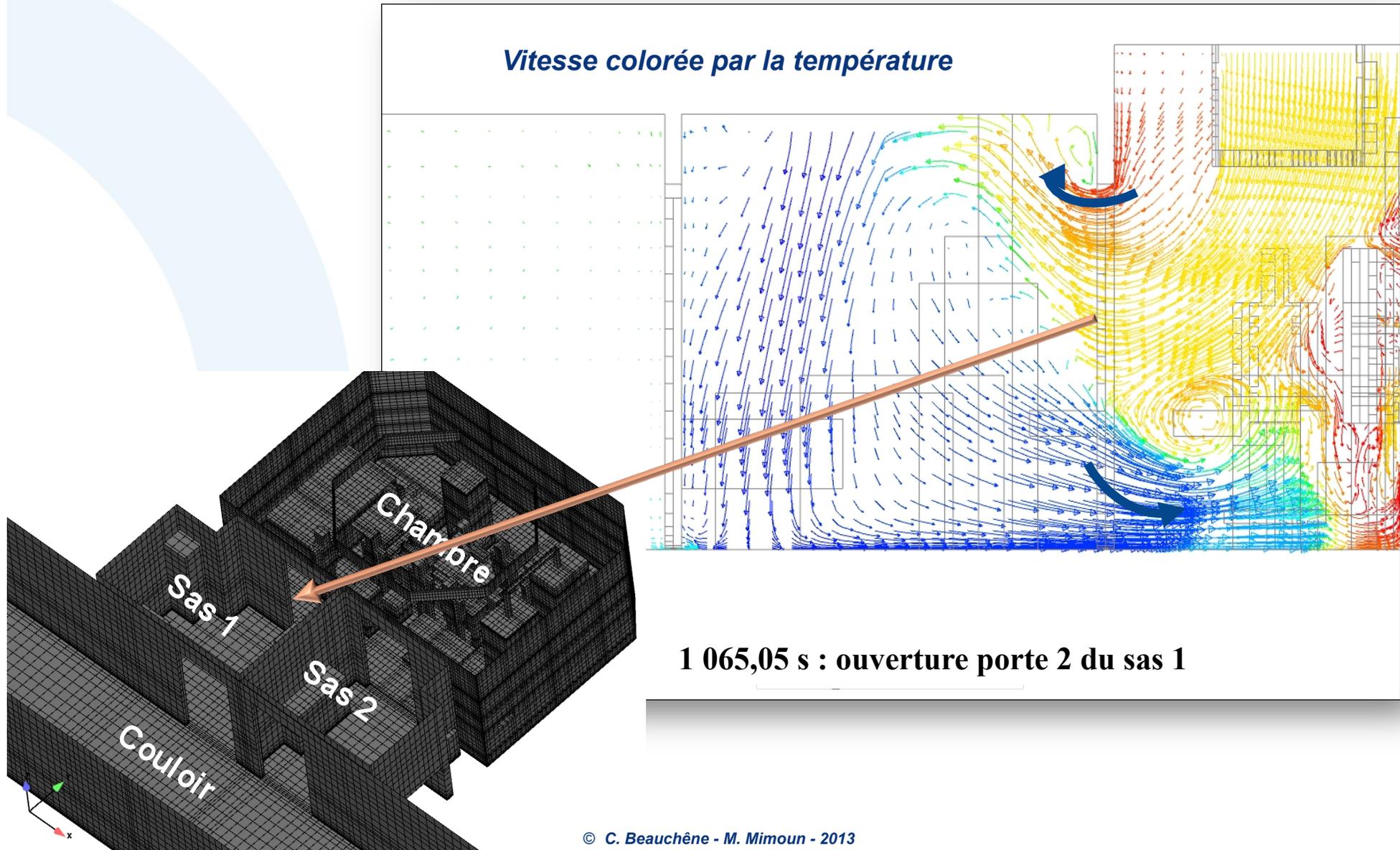
**Mise à jour d'un phénomène contre-intuitif:
Mouvement convectif (sas 1 – porte chambre)**

1 000 s : ouverture de la porte 1 pendant 5 s
1 065 s : ouverture de la porte 2 pendant 5 s

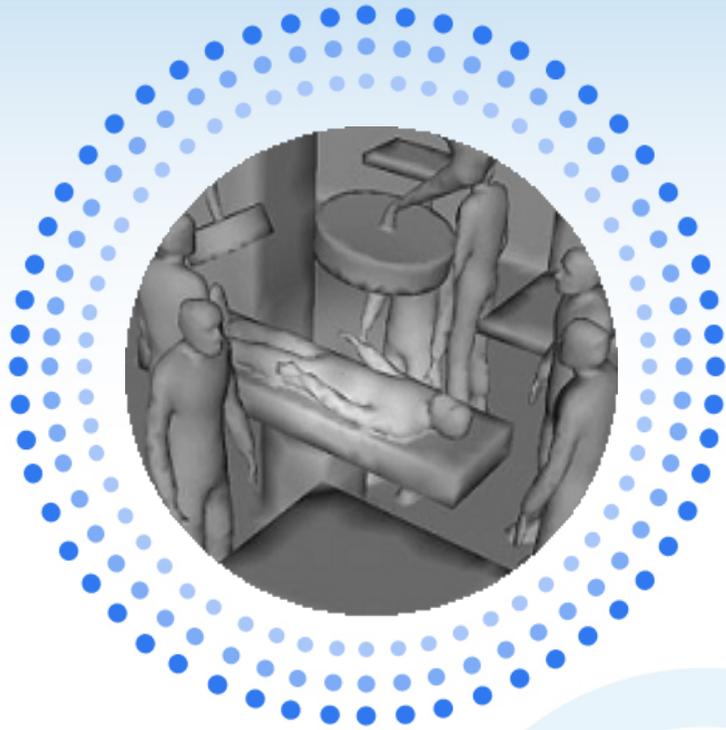


Modélisation des flux d'air chambre/ sas/couloir (10)

La bascule thermo-aéraulique (sas 1 – porte chambre)



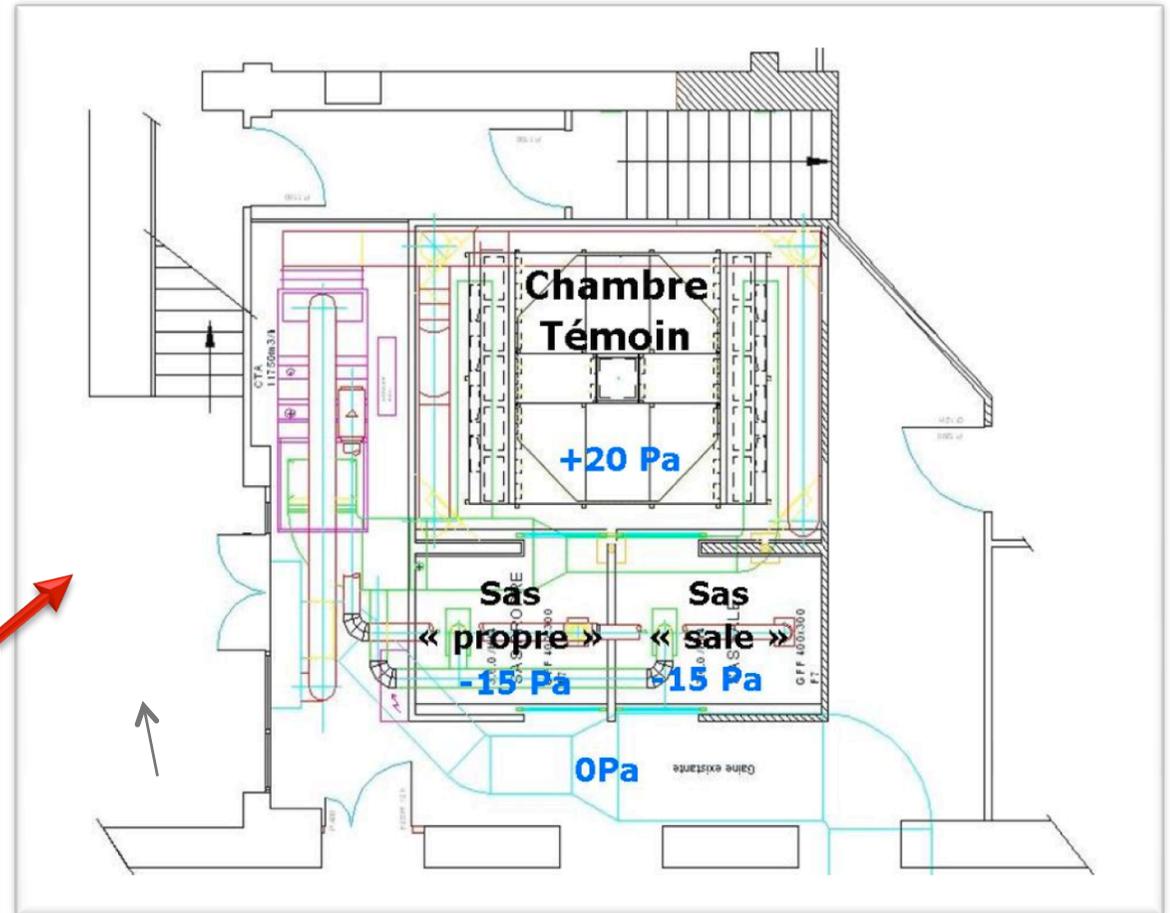
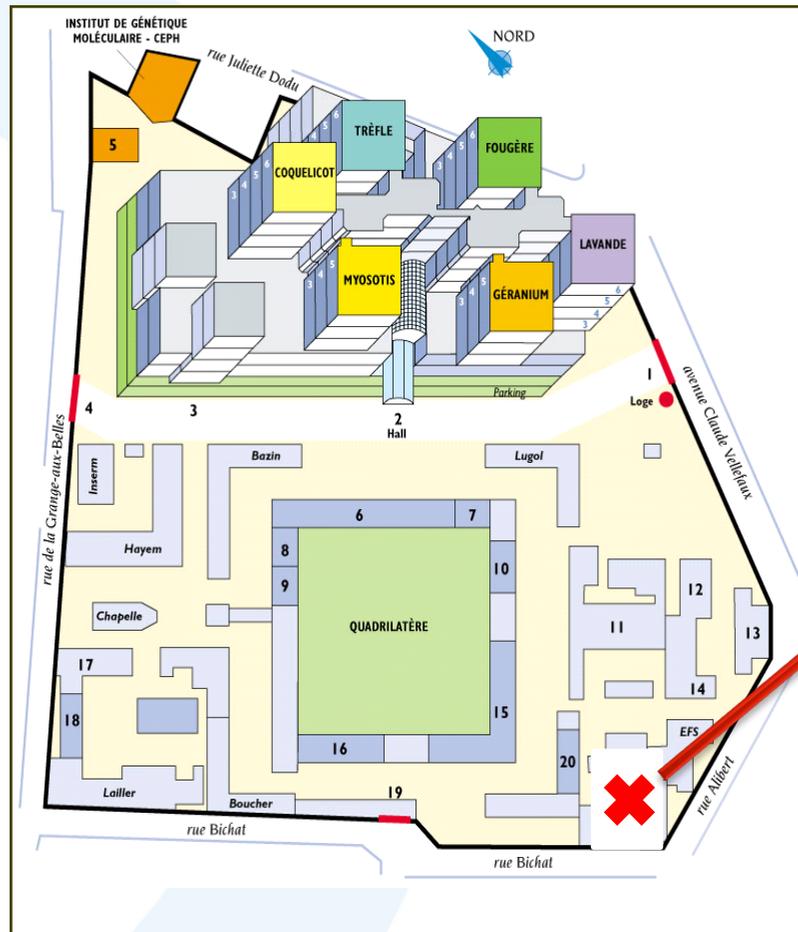
Programme Hospitalier de Recherche Clinique AOR06059 Hôpital Saint-Louis



Chambre « pilote »



Chambre « pilote » (1) Situation





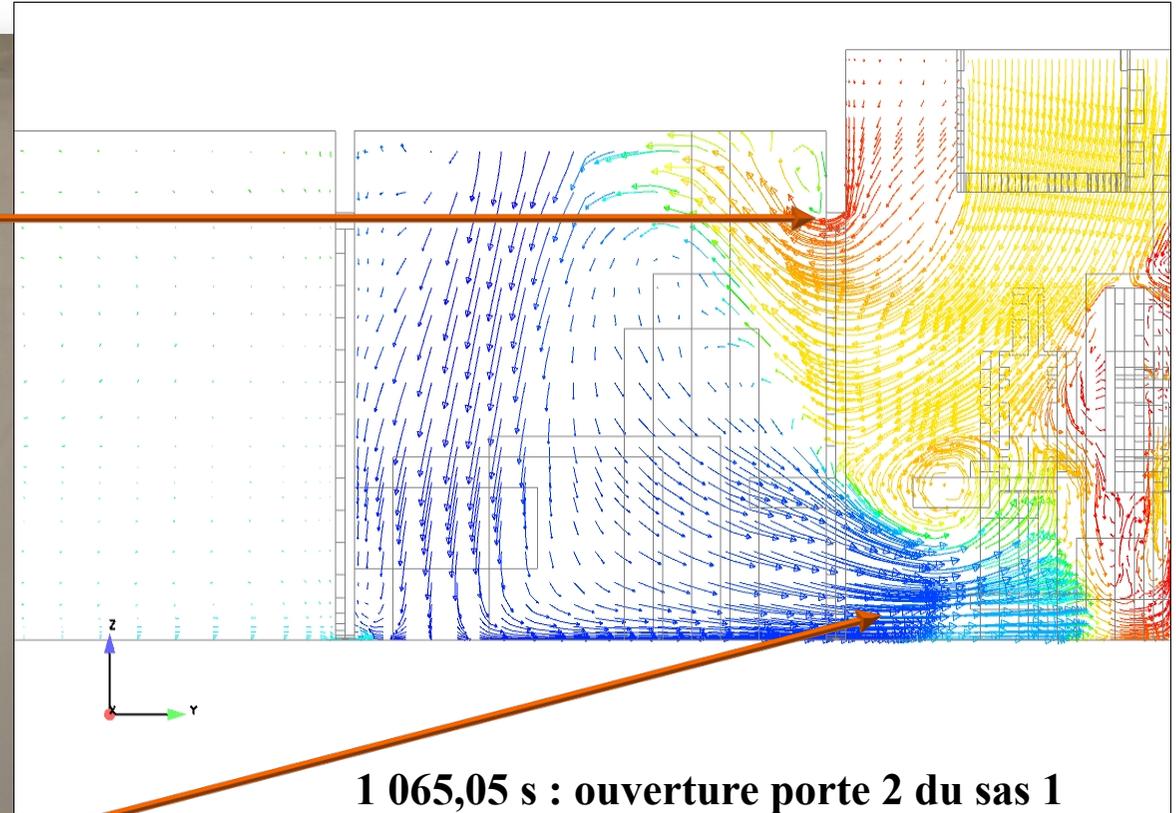
Chambre « pilote » (2)



**Simulation d'équipement et sources de chaleur
(appareils, mannequins)**

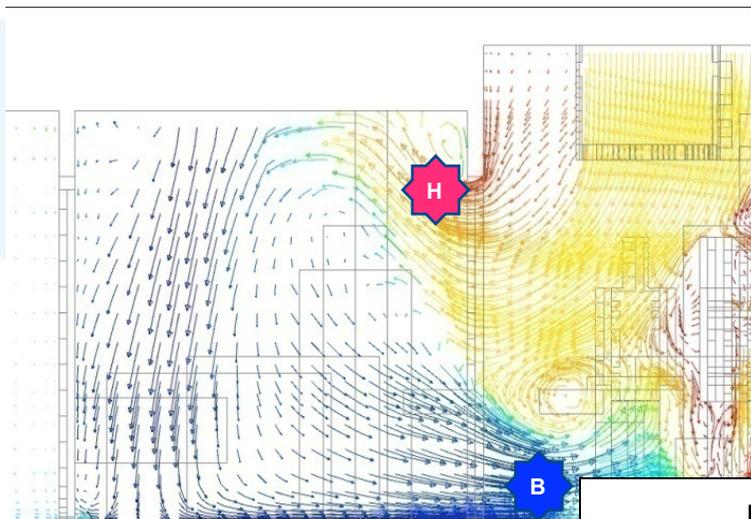


Chambre « pilote » (3) Comparaison simulation/mesure

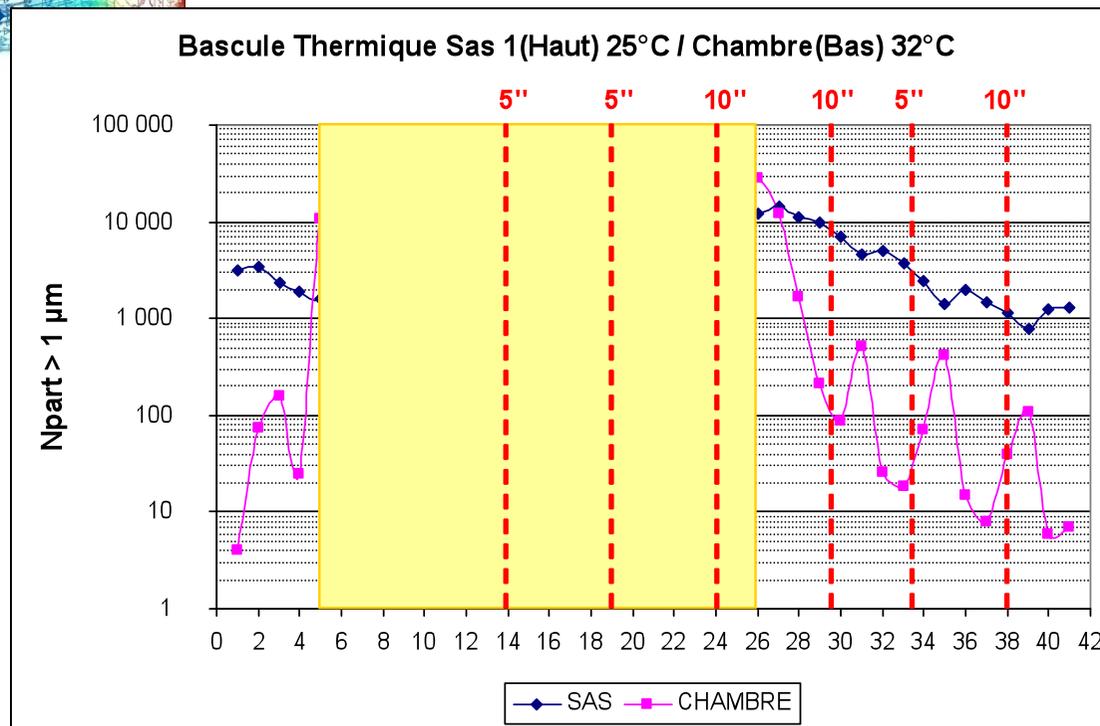




Corrélation modèle numérique : bascule thermo-aéraulique sas-chambre

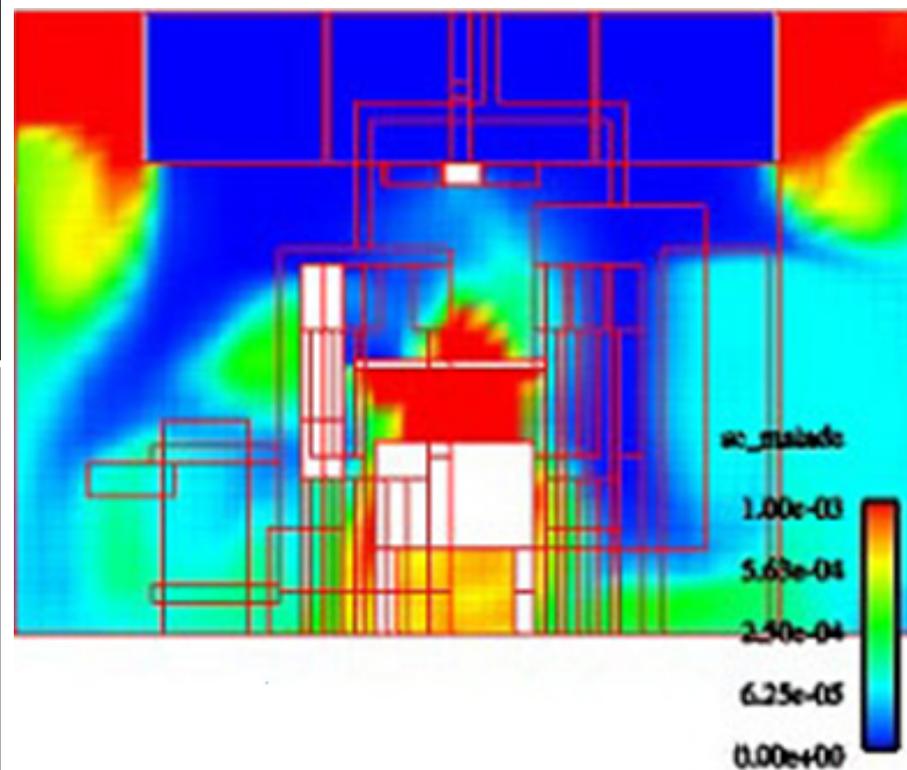
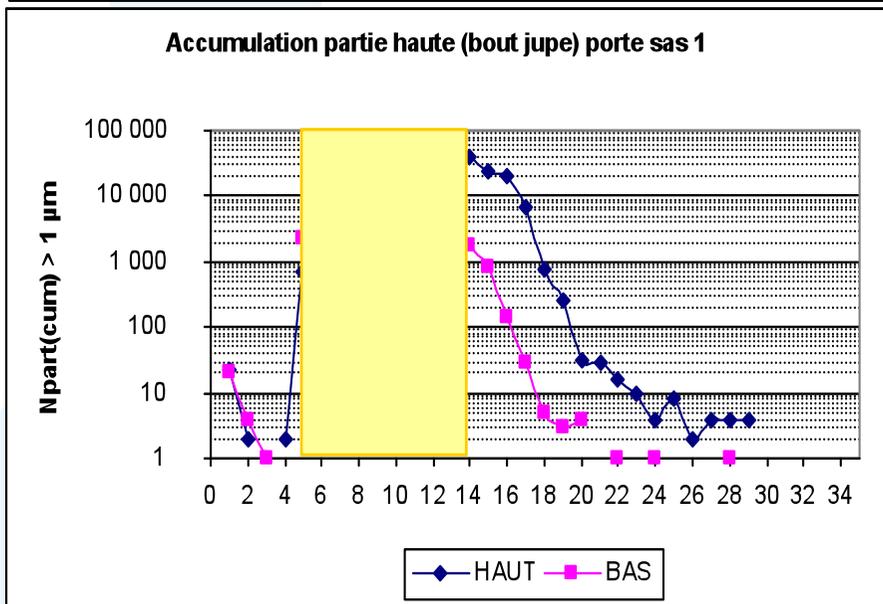
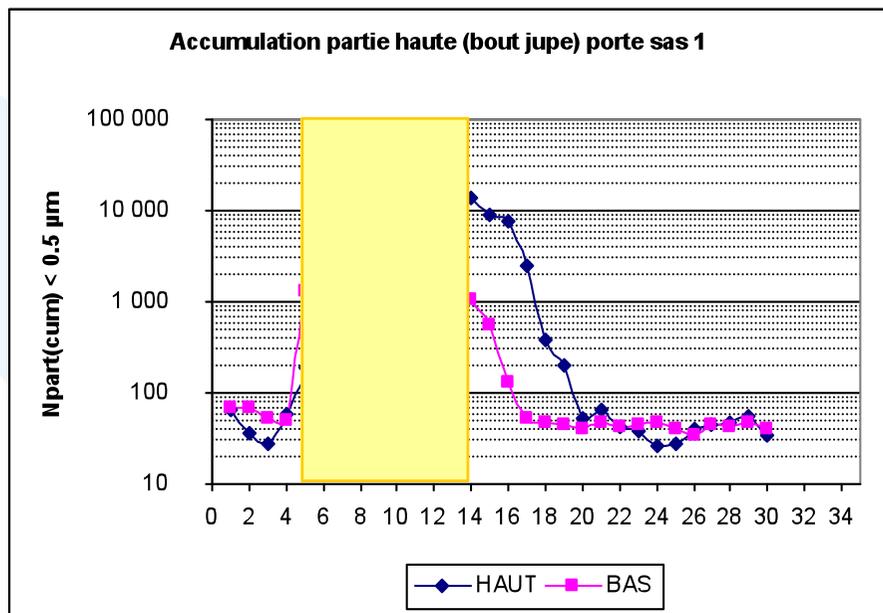


Sas 25°C / Chambre 32°C

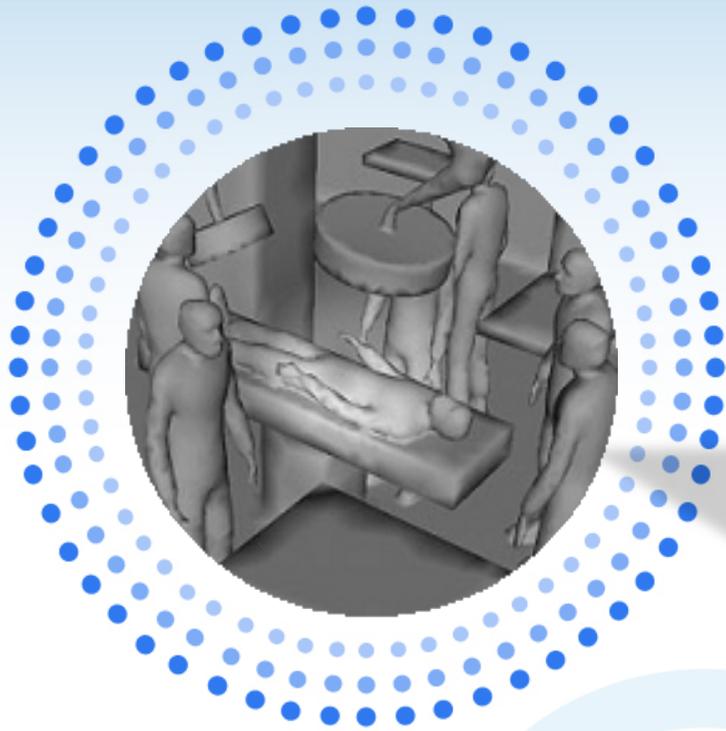




Corrélation modèle numérique : accumulation partie haute



Programme Hospitalier de Recherche Clinique AOR06059 Hôpital Saint-Louis



2^{ème} étude du PHRC:

- bascule thermo-aéraulique**
- contamination du couloir**



Questions

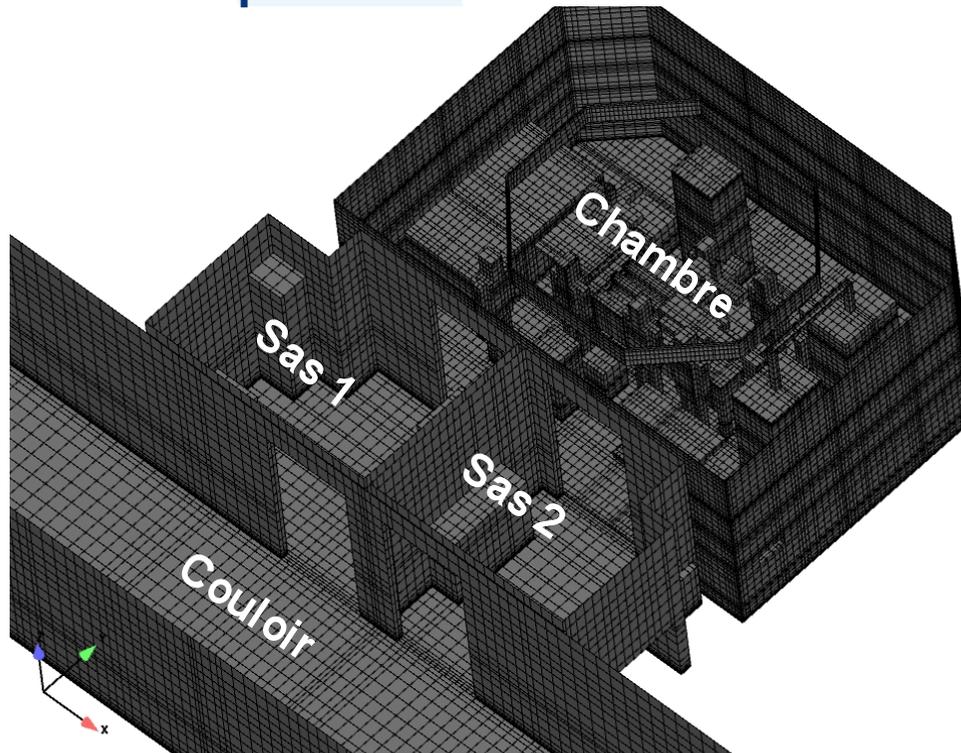
- **Comment supprimer la bascule thermo-aéraulique ?**
- **Que se passe t'il en cas de contamination majeure du couloir ?**



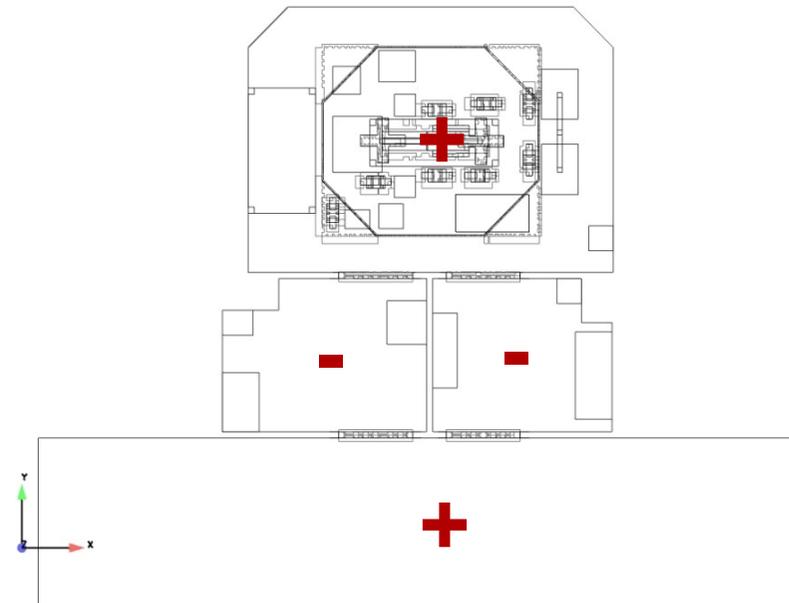
Modélisation des flux d'air chambre/sas/couloir contamination du couloir

Maillage et conditions de calcul

- Maillage : **484 459 cellules** (330 000 précédent calcul)
- Température d'air en sortie de plafond soufflant : 32 °C
- Vitesse de l'air en sortie de plafond soufflant : 0,25 m/s (basse vitesse)
- Température de soufflage dans les sas : **32°C** (25°C précédent calcul)
- Vitesse de l'air en sortie de bouche de soufflage dans les sas : 0,25 m/s
- Chauffage **lave-bassin sas2 supprimé** (965 w)
- Température du couloir : 27°C



➔ Cascade de pression simulées

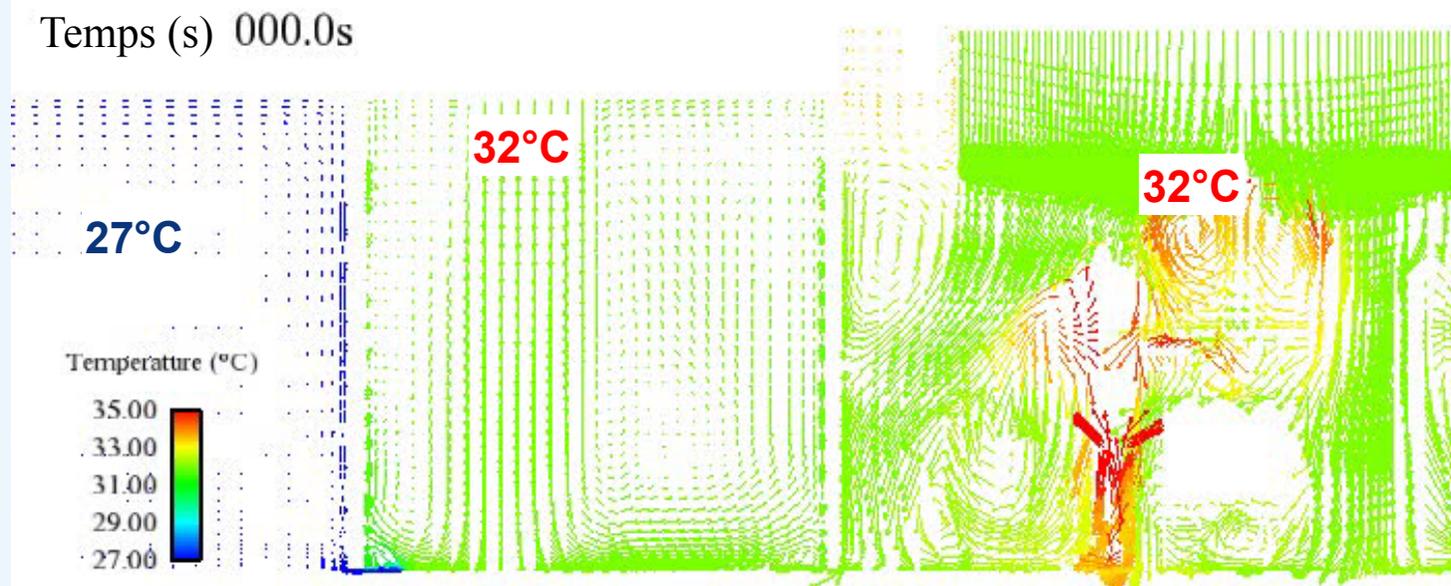




Contamination du couloir

Ouverture des portes SAS 1

Champs de vecteurs vitesse colorés par la **température**



© EDF-Recherche et développement 2009

1 000 s : ouverture de la porte 1 pendant 5 s

1 065 s : ouverture de la porte 2 pendant 5 s



Valorisation des résultats

Congrès

- Apport de la simulation numérique dans la maîtrise de la contamination aéroportée - Application aux centres de grands brûlés. Maurice Mimoun, Christian Beauchêne

29^{ème} Congrès de la Société Française d'Étude et de Traitement des Brûlures. Arcachon, Juin 2009

- Airflow modelization by Computational Fluid dynamics for optimizing control for airborne microbial contamination in an intensive care room for severely burned patients - Christian Beauchêne, Nicolas Laudinet, Firas Choukri, Jean-Luc Rousset Juliette Larbre, Marc Chaouat Marc Benbunan, Maurice Mimoun, Jean-Patrick Lajonchère , Vance Bergeron, Francis Derouin

European congress of clinical microbiology and infectious diseases. Vienne (Autriche), avril 2010

- Maîtrise du risque de contamination aéroportée dans une chambre pour grands-brûlés

Maurice Mimoun, Christian Beauchêne

1^{er} Congrès Franco Marocain de brûlologie – Société Marocaine de Brûlologie Marrakech, octobre 2011

- Maîtrise du risque de contamination aspergillaire. Amine Metahni, Vance Bergeron ,Christian Beauchêne, Sofiane Benhamadouche, Franis Deouin, Maurice Mimoun.

32^{ème} Congrès de la Société Française d'Étude et de Traitement des Brûlures. Nantes , juin 2012

Publication

Accumulation and Transport of Microbial-Size Particles in a Pressure Protected Intensive Care Room: CFD Modelization and Experimental Evidence . Christian Beauchêne, Nicolas Laudinet, Firas Choukri, Jean-Luc Rousset Juliette Larbre, Marc Chaouat Marc Benbunan, Maurice Mimoun, Jean-Patrick Lajonchère , Vance Bergeron, Francis Derouin

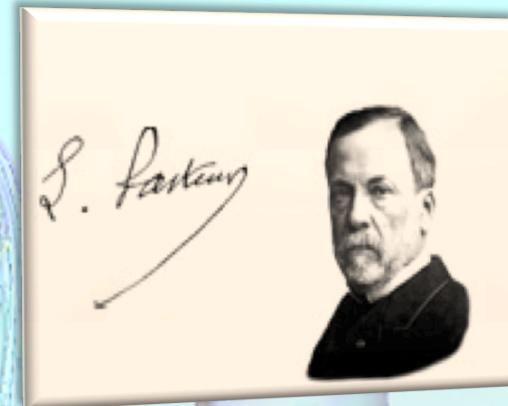
BioMed Central 2011



Conclusion

- **La maîtrise de la contamination aéroportée progresse au rythme de la compréhension des phénomènes physiques complexes qui la caractérise**
- **La CFD permet de donner accès à des informations difficiles voire impossible à envisager sur un plan expérimental**
- **La CFD permet de rendre visible l'invisible donc de mieux comprendre les risques et donc de mieux les maîtriser**
- **La CFD est un outil d'aide à la conception mais également d'investigation scientifique**
- **La CFD permet de multiplier à l'envie des géométries, des paramètres de fonctionnement mais aussi de comportements humains**

« Au lieu de s'ingénier à tuer les microbes dans les plaies, ne serait-il pas plus raisonnable de ne pas en introduire ? »



MERCI