



## Une nouvelle buse pour le jet d'eau de Genève : 30 m plus haut et avec 20% de consommation en moins

**Patrick Haas, Prof. Ord.**

Resp. groupe mécanique des fluides (cmefe)

Filière de Génie mécanique

*hepia Geneva Wind Tunnels*



CADFEM ANSYS SIMULATION CONFERENCE  
SWITZERLAND

Lausanne, 11 septembre 2019

## LE JET D'EAU DE GENEVE

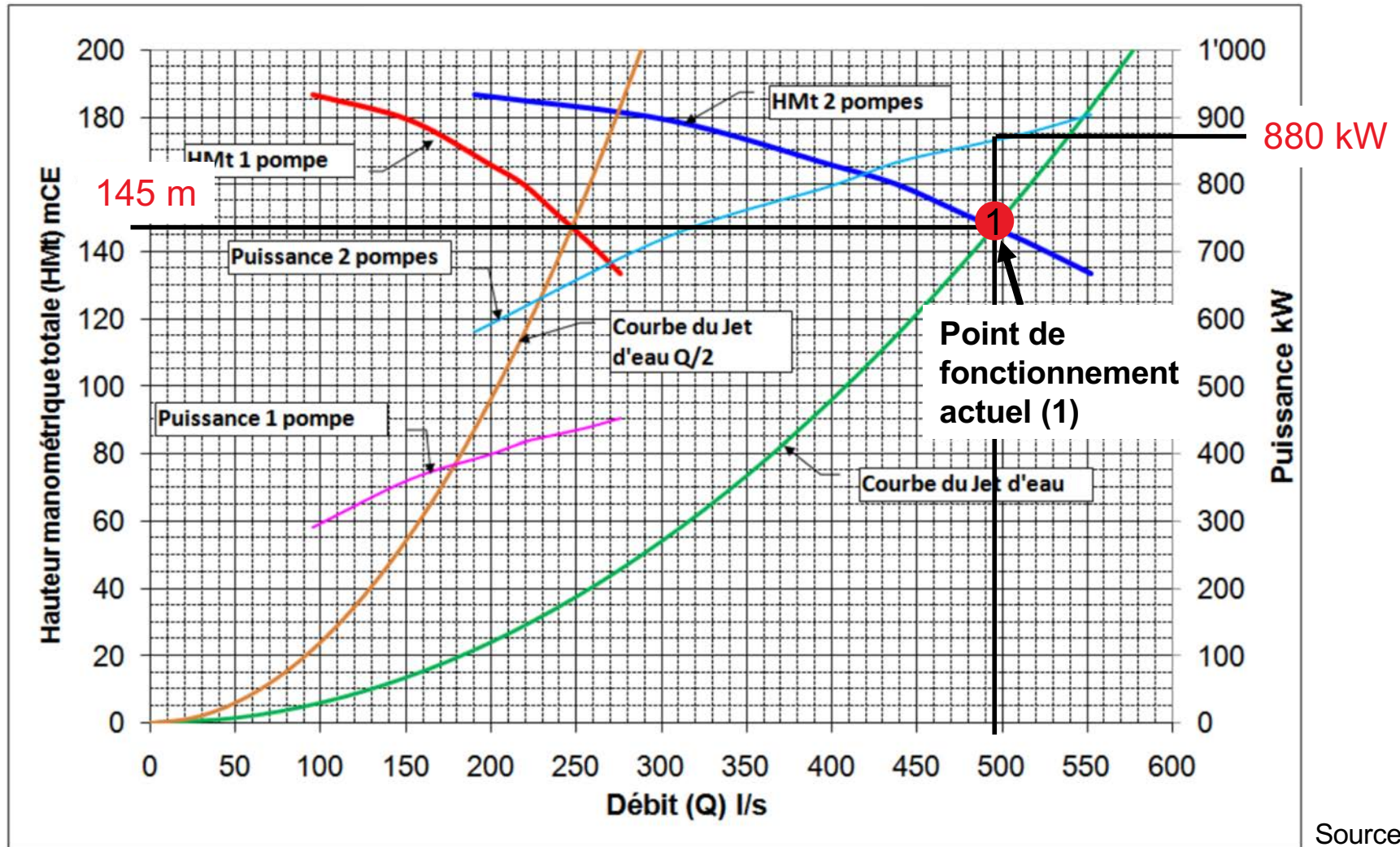
- Hauteur du jet : 140 m
- Débit d'eau : 500 lts/s
- Pression des pompes : 16 bars
- Vitesse à la buse : 200 km/h
- Puissances sur l'arbre : 2 x 500 kW = 1 MW



- Jet d'eau annulaire
- Aspiration d'air au centre du jet générée par l'eau
- Coûts d'exploitation : 600 kCHF / an (électricité + maintenance)

L'avenir est à créer

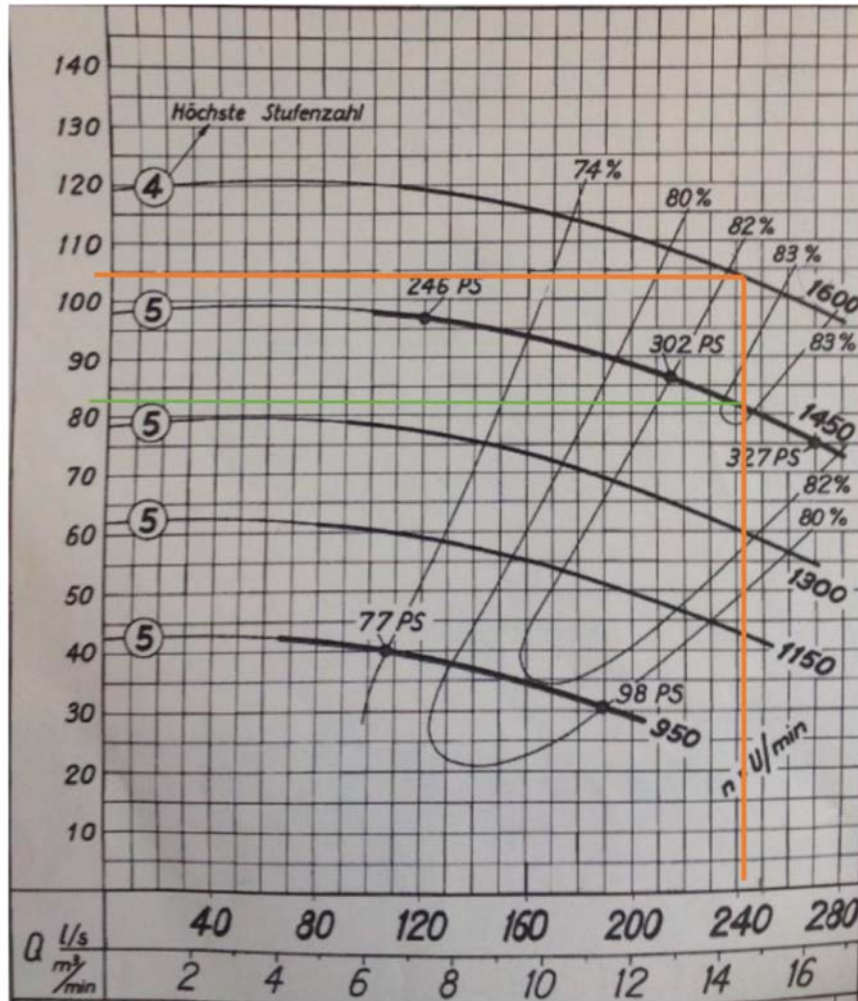
# COURBES CARACTERISTIQUES DU SYSTEME



Source SIG

L'avenir est à créer

# PROJET SIG / HEPIA (PART 1) : UNE POMPE + BUSE DEMI-SECTION



## Idée SIG :

- Réduction de la section annulaire d'eau de 50%
- Une seule des deux pompes
- Puissance / 2
- Rendement identique (même point de fonctionnement de la pompe)

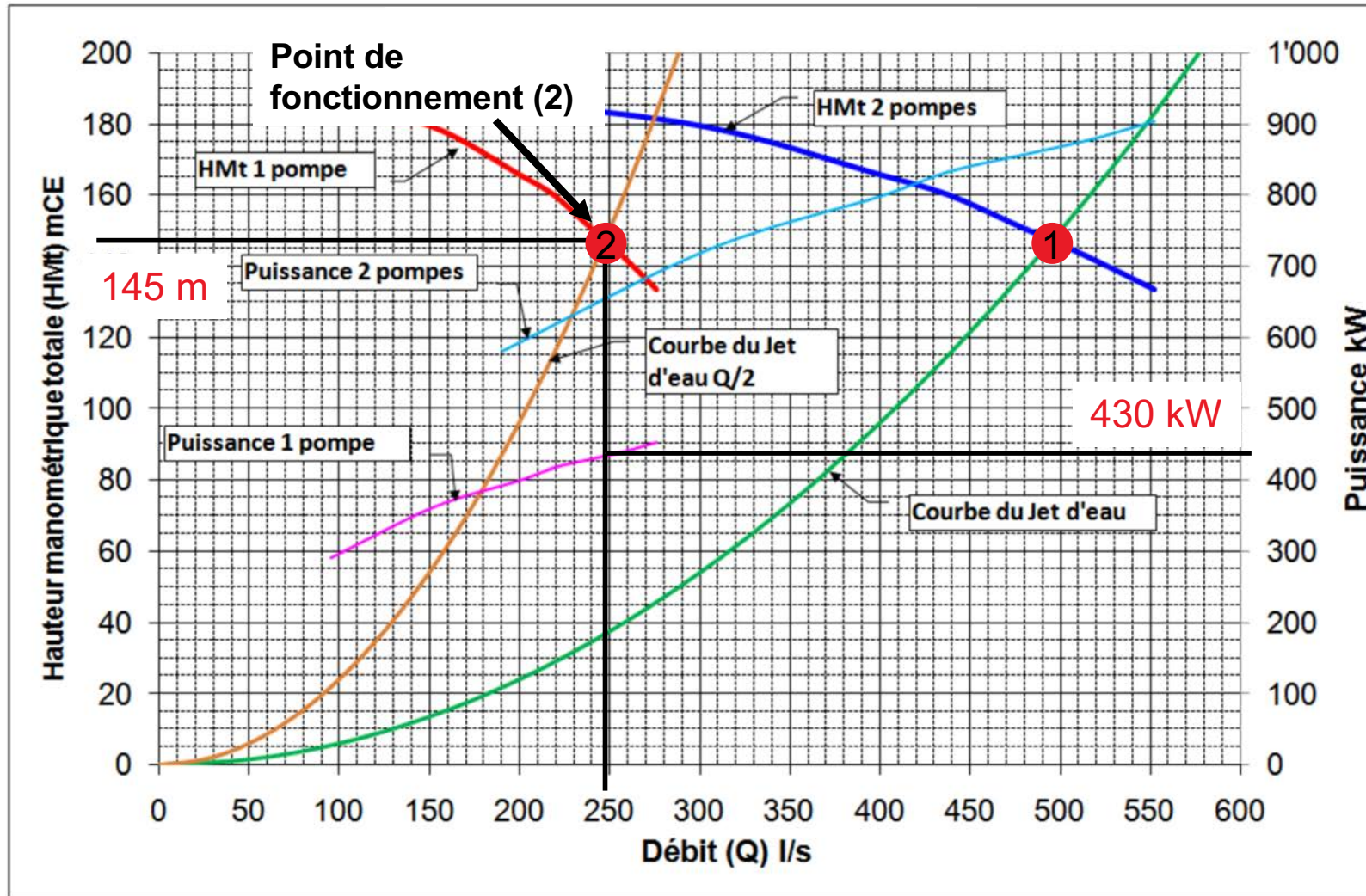
L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie  
et d'architecture de Genève

# PROJET SIG / HEPIA (PART 1) :

## UNE POMPE + BUSE DEMI-SECTION

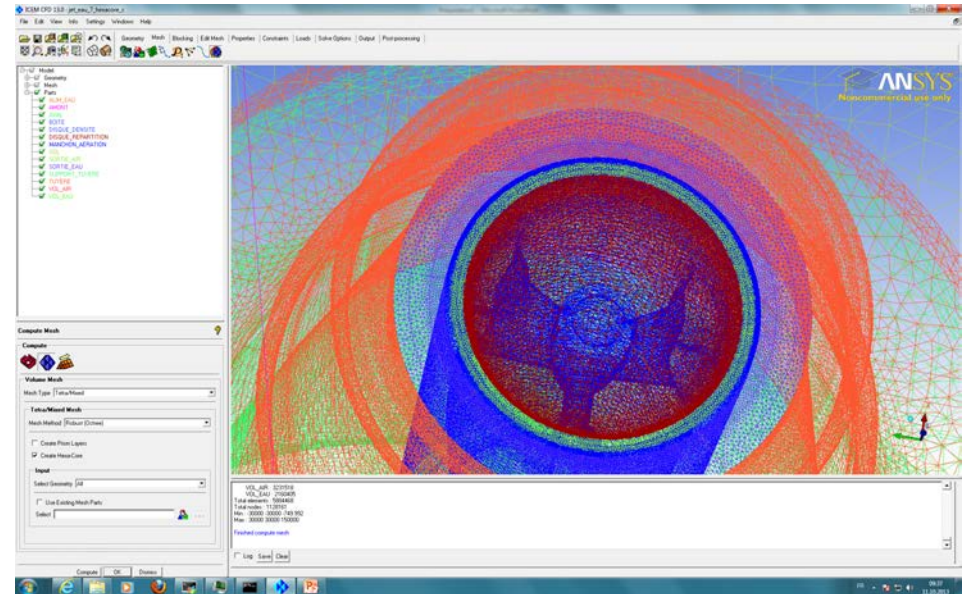
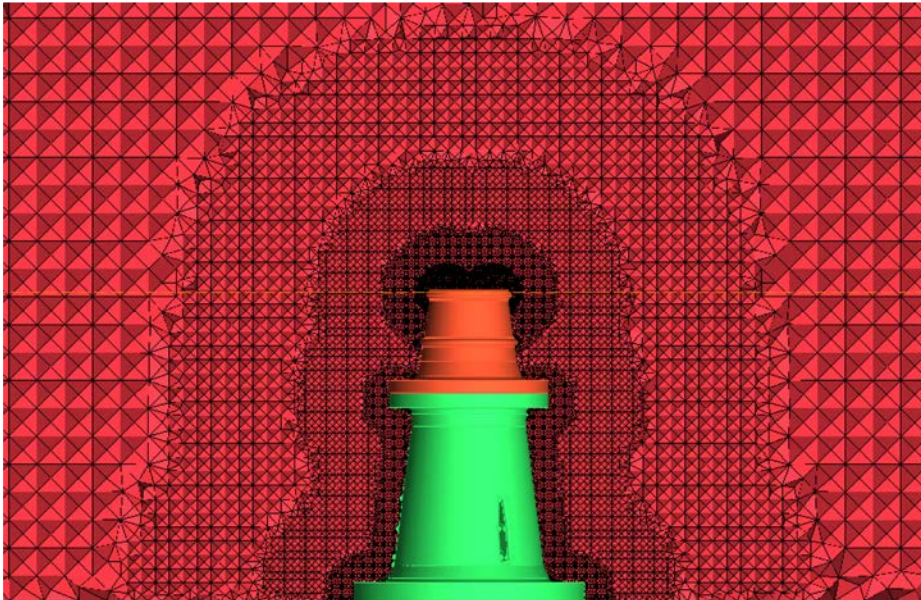


Source SIG

L'avenir est à créer

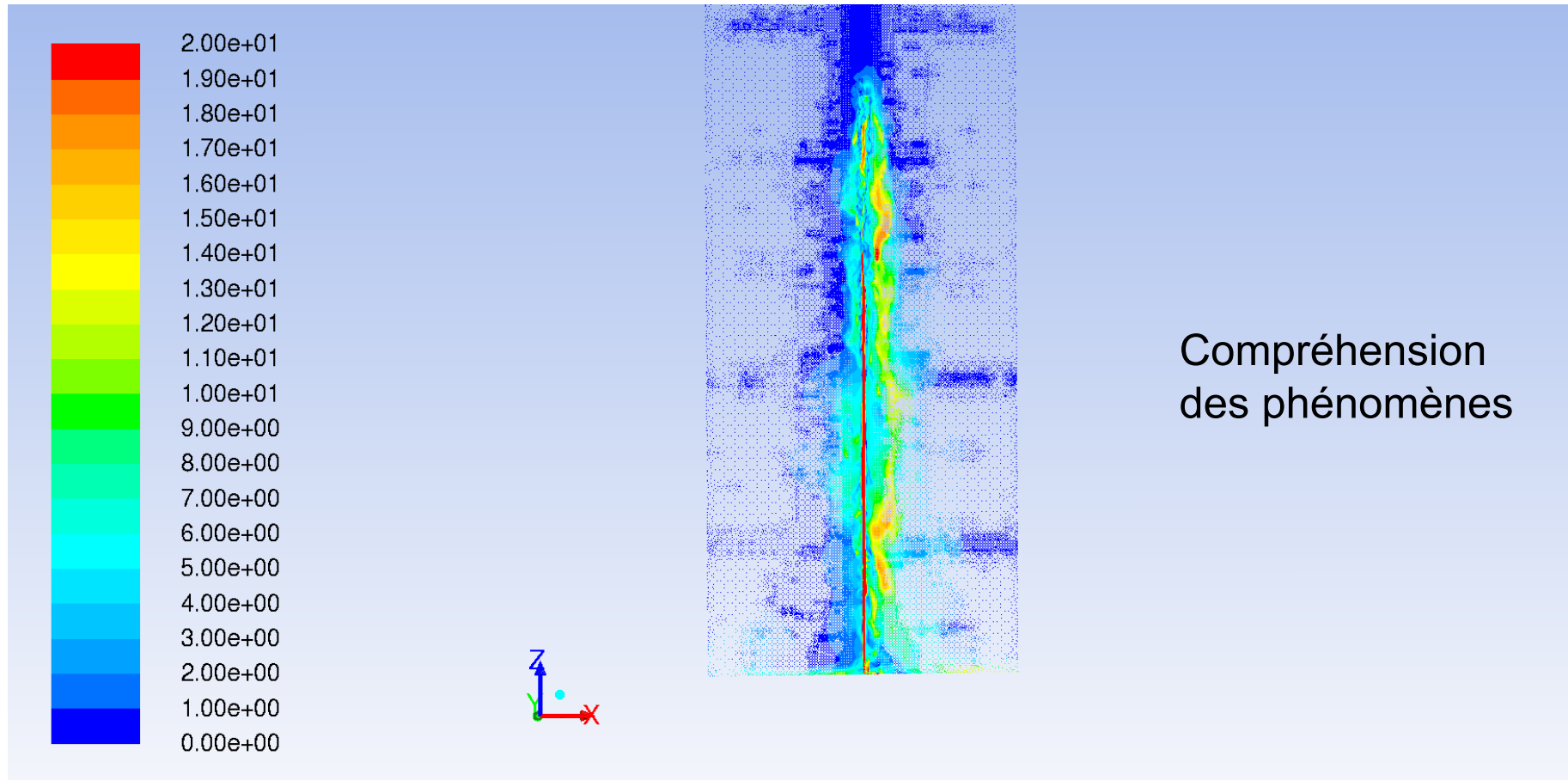
# PROJET SIG / HEPIA (PART 1) : SIMULATION CFD : COMPREHENSION

Logiciel : ANSYS CFD  
Maillage : ICEM, 22 millions de tétraèdres, patch indépendant  
Solveur : Fluent SIMPLE  
Modèle : VoF  
Turbulence :  $k-\varepsilon$  (jet meilleur),  $k-\omega$  (intérieur buse meilleur)



L'avenir est à créer

# PROJET SIG / HEPIA (PART 1) : SIMULATION CFD



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=5.0000e+01)

L'avenir est à créer

# PROJET SIG / HEPIA (PART 1) : UNE POMPE + BUSE DEMI-SECTION - RESULTATS PROTOYPE PLEINE ECHELLE -



<i>Hauteur du jet</i>	<i>Nouvelle</i>	<i>Actuelle</i>
Simulations CFD	126 m	136 m
Mesures essais	122 m	135 m

- Puissance attendue obtenue
- Bonne validation de la CFD
- Hauteur un peu plus faible avec la nouvelle buse
- Sensible au vent, plus que prévu !



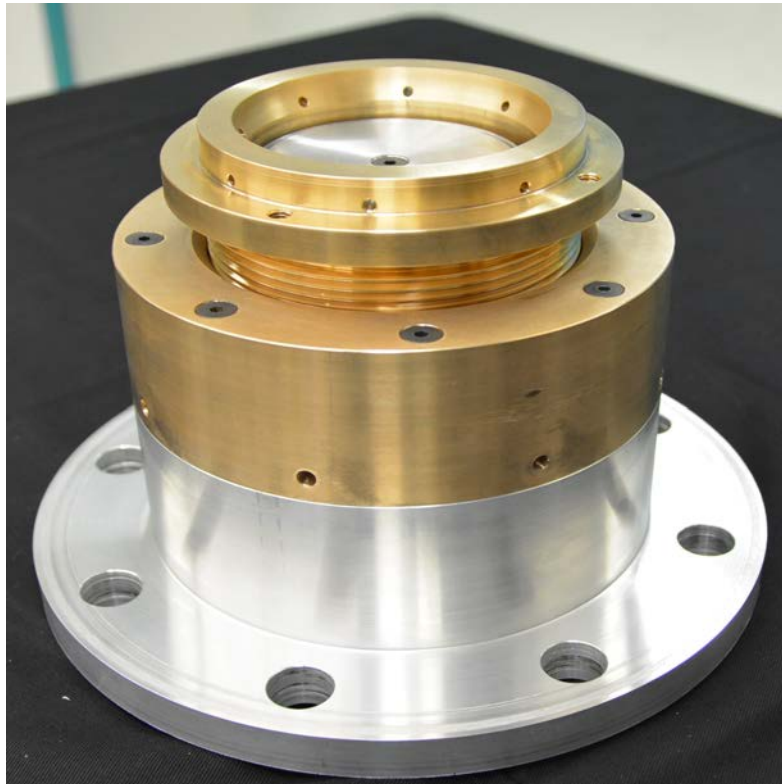
Buse prototype demi-section (photo SIG)

L'avenir est à créer



## PROJET HEPIA (PART 2) : BUSE A GEOMETRIE VARIABLE

Suite au premier projet, HEPIA a démarré l'étude d'une buse à géométrie variable :



Buse HEPIA type 1

- Jours avec vent : Section pleine (actuelle), Point de fonctionnement 1
- Jours sans vent : Section réduite à 50%, point de fonctionnement 2 (  $\frac{3}{4}$  de l'année !)
- Permet de passer en quelques secondes d'une section de 50% à 100%.

L'avenir est à créer

# PROJET HEPIA : BUSE A GEOMETRIE VARIABLE

## - ETUDE DU JET -



Ali Abbassi 2015

Il existe dans un jet coaxial eau/air des régions où les phénomènes sont très différents :

- La région **cisailée** avec une forte quantité de mouvement de l'eau caractérisée par un frottement élevé et une transformation  $E_{\text{cinétique}}$  vers  $E_{\text{potentiel}}$  rapide
- La région **centrale** où l'air extérieur et intérieur est entraîné, montrant des instabilités (vagues)
- La région **supérieure** ( $> 90$  m) où l'air est totalement mélangé avec l'eau au centre. La vitesse est faible et la sensibilité au vent est forte.

L'avenir est à créer

# PROJET HEPIA : BUSE A GEOMETRIE VARIABLE

## - ETUDE DU JET -

Les nombres caractéristiques d'un tel écoulement sont :

Le **nombre de Weber** : Rapport des forces d'inertie et la tension superficielle (à l'interface). Caractérise les gouttes. Si  $We > 12$  les gouttes se brisent en plus petites.

$$We = \frac{\rho \times D_{buse} \times v^2}{\sigma}$$

Le **nombre de Reynolds** : Rapport entre les forces de masse et de viscosité. Régimes d'écoulement.

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_{buse}}{\mu_{eau}}$$

Le **nombre de Ohnesorge** : Rapport des forces visqueuses avec la tension superficielle et les forces d'inertie. Caractérise la déformation des gouttes.

$$Oh = \frac{\mu}{\sqrt{\rho \times \sigma \times D_{buse}}}$$

# PROJET HEPIA : BUSE A GEOMETRIE VARIABLE

## - METHODOLOGIE GLOBALE -

HEPIA travaille depuis plusieurs années au développement de méthodes dites globales <sup>1</sup>. Elles consistent à

*« mettre en oeuvre une approche multidisciplinaire utilisant chaque méthode où elle est efficace, la complétant par une autre où elle est faible. »*

Dans le cas du jet d'eau, une approche avec 3 chapitres est utilisée :

1. Simulation CFD (ANSYS) « Compréhension, optimisation des géométries »
2. Essais sur banc à échelle réduite (1:5) « Mise en oeuvre rapide, instrumentation complète, travail sur les similitudes »
3. Essais pleine échelle « Situation finale »

<sup>1</sup> CADFEM Simulation Conference 2018, Rapperswil

# PROJET HEPIA : BUSE A GEOMETRIE VARIABLE

## - BANC D'ESSAIS 1:5 -



- Protection civile Bernex (GE)
- Alimentation tonne – pompe
- Jet de 30 m

# SIMULATION CFD A HEPIA

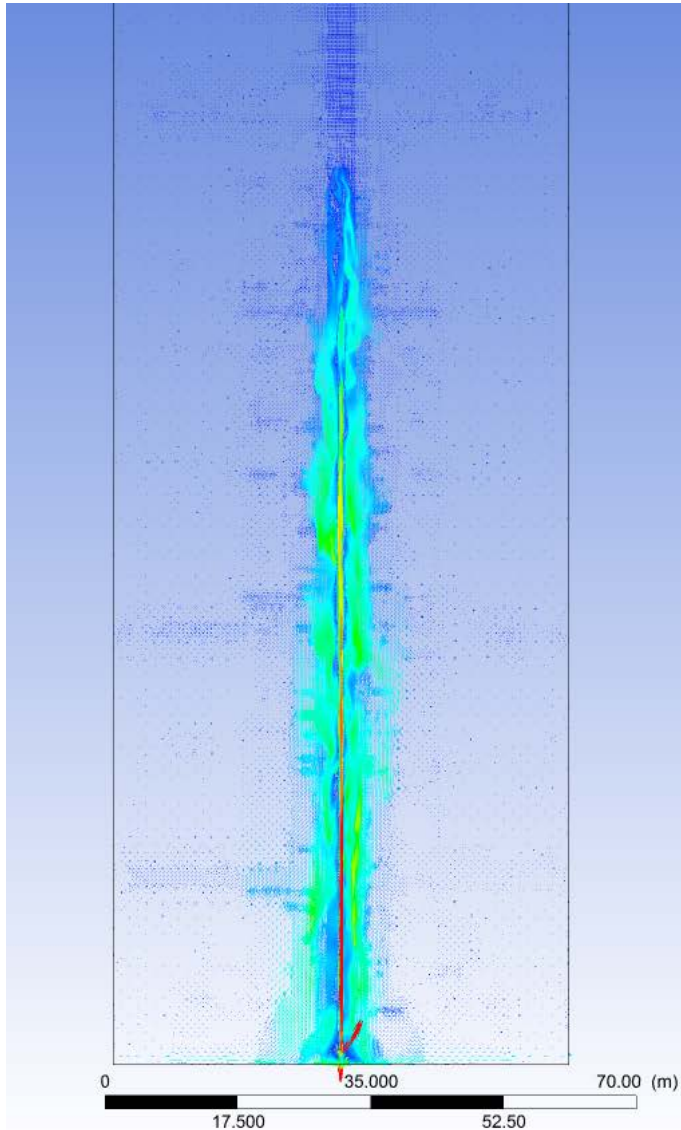


- Baobab HPC :** Intel Sandy Bridge, 2'500 cores, 10 To RAM, infiniband (hepia + unige)
- Gordias HPC :** ClusterVision, 224 cores, 448 Go RAM, infiniband
- EoleC1-5 :** Oracle SUN, 44 cores, 132 Go RAM
- EoleC6 :** Dell, 96 cores, 256 Go RAM
- Workstations :** 8 workstations Dell and HP 16 cores, 126 Gb RAM
- Stockage (NAS) :** 2 x 70 To = 140 To with confidentiality management
- CFD logiciels :** ANSYS CFD Associate (« industrial »), Research and Teaching – ANSYS Academic Partner

L'avenir est à créer

# PROJET HEPIA :

## - SIMULATION COMPLETE DU JET ET DE LA BUSE -



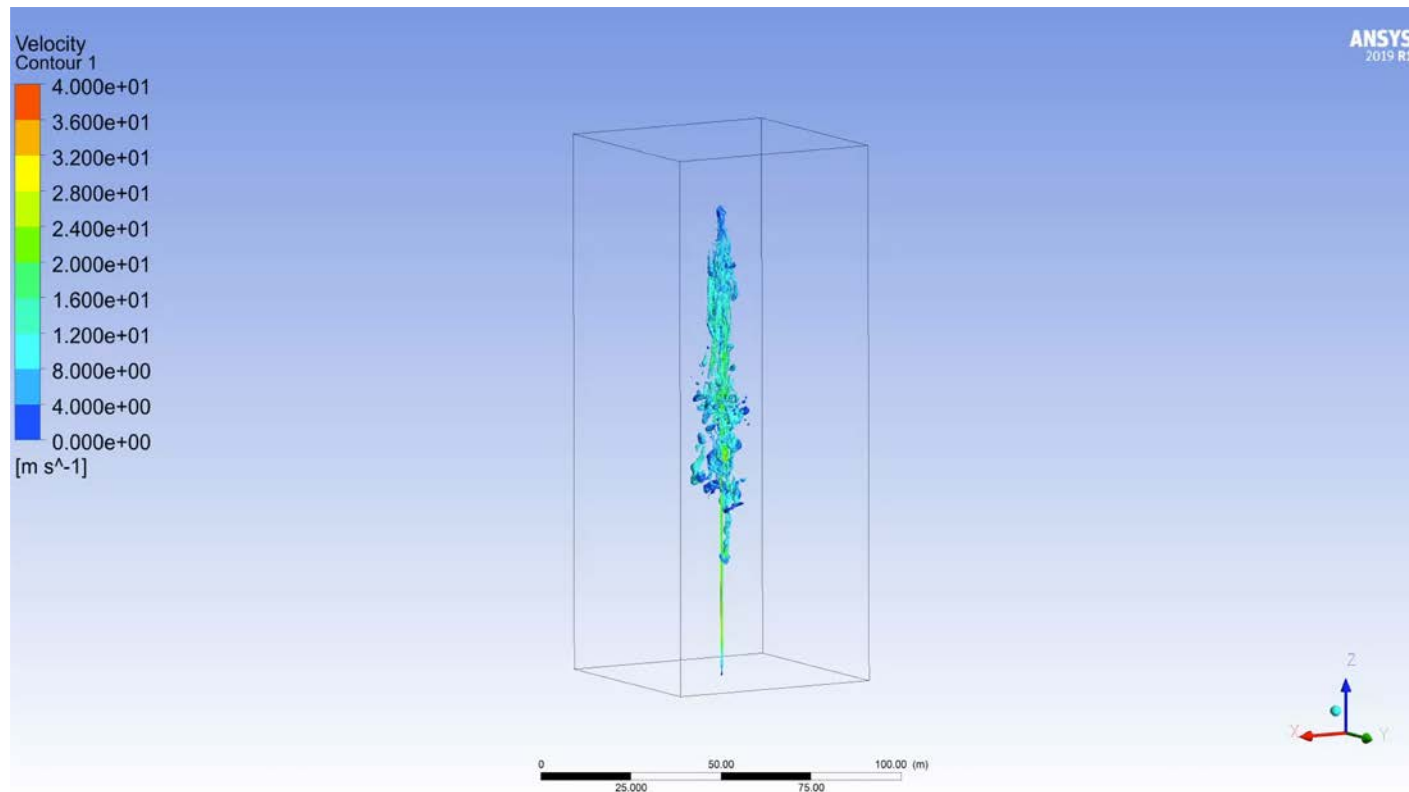
Maillage : 22 MC  
Solveur : Fluent SIMPLE  
Modèle : VoF  
Turbulence : k- $\epsilon$  Realizable  
Pas de temps :  $\Delta t = 0.005$  s  
Temps de calcul : 20 s (4'000  $\Delta t$ )

### Données générées :

Par pas de temps : 4.15 Go /  $\Delta t$   
Complète : 16'600 Go / 20 s

# PROJET HEPIA :

## - SIMULATION COMPLETE DU JET ET DE LA BUSE -



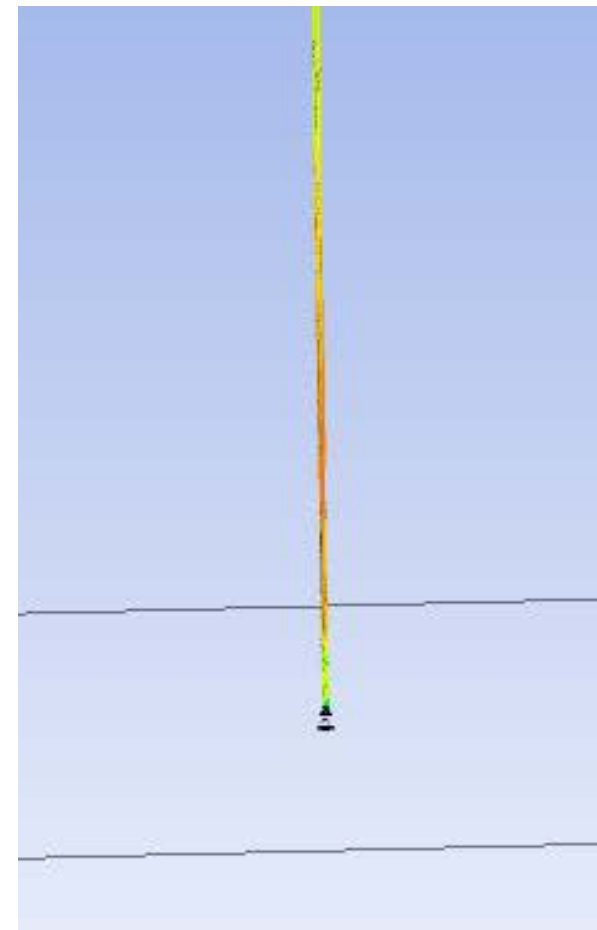
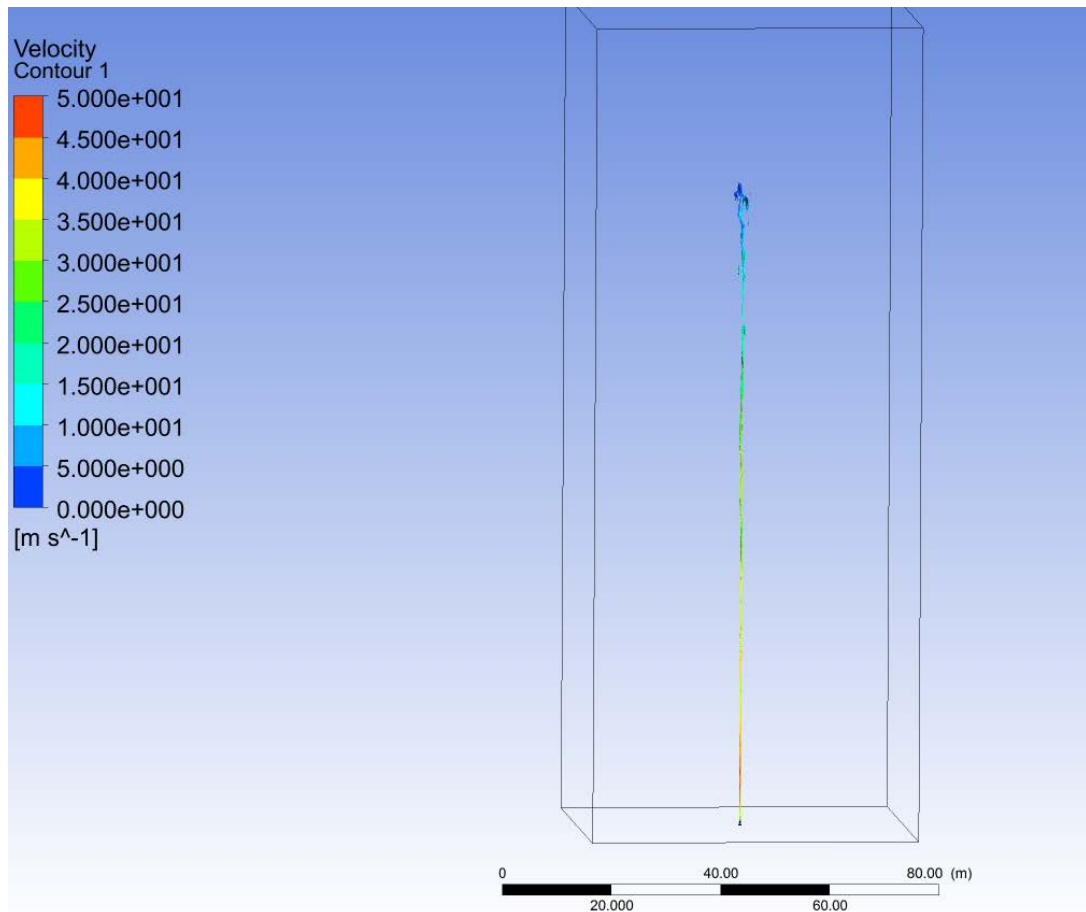
- Isosurfaces fraction de volume d'eau : 0.0006, coloriée avec la vitesse
- 2 s de calcul
- 1'600 Go de données traitées

L'avenir est à créer



# SIMULATION COMPLETE DU JET ET DE LA BUSE

Evolution de l'énergie le long du jet



E pression  
z = 0



E cinétique  
(buse)



E potentielle  
z max.



E cinétique  
(descente)

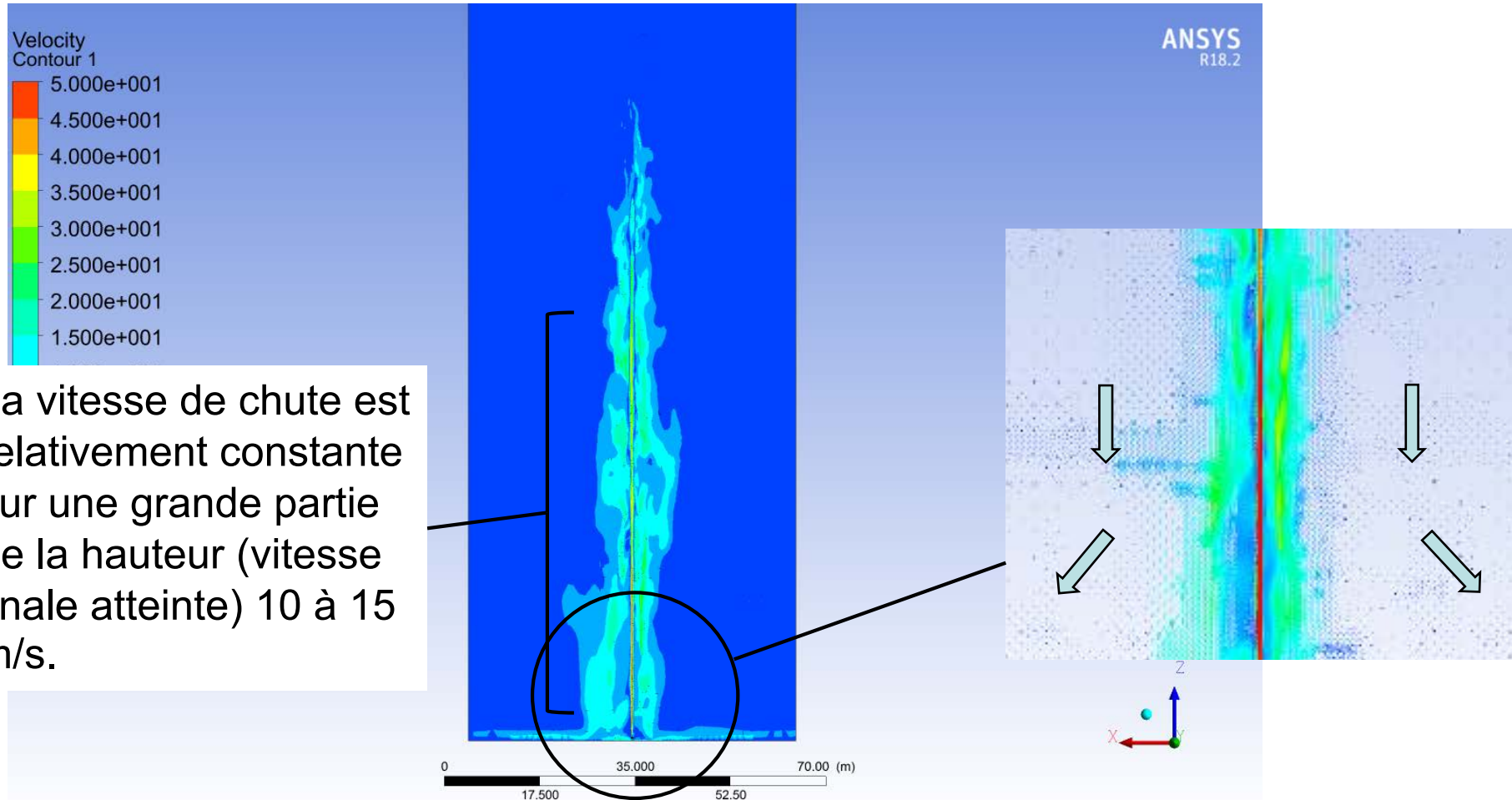


Chaleur (pas simulée)  
z = 0

L'avenir est à créer

# SIMULATION COMPLETE DU JET ET DE LA BUSE

## Vitesse finale de chute



La vitesse de chute est relativement constante sur une grande partie de la hauteur (vitesse finale atteinte) 10 à 15 m/s.

L'énergie potentielle de l'eau qui chute est transmise à l'air environnant qui est mis en vitesse en direction du bas !

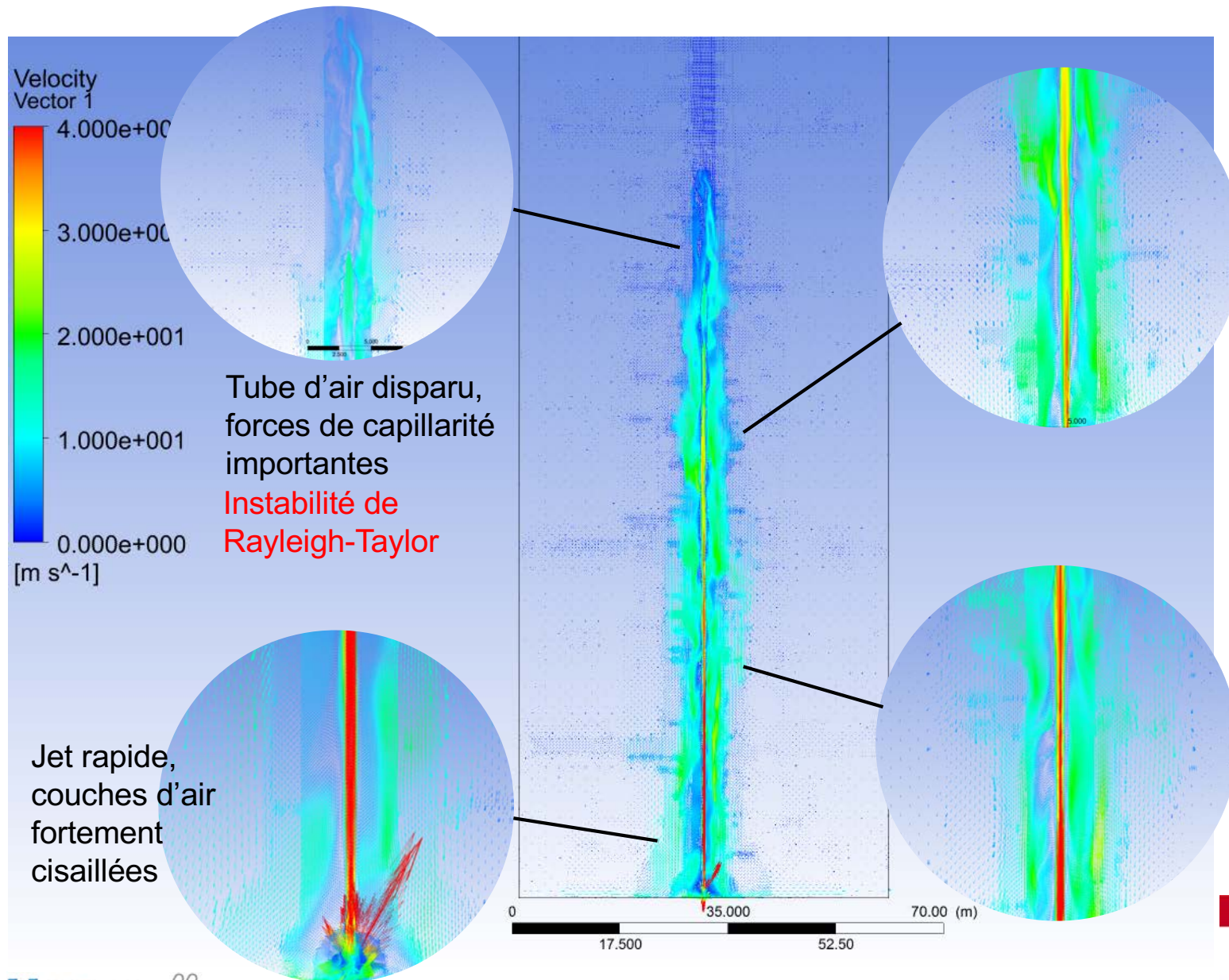
L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie  
et d'architecture de Genève

# SIMULATION COMPLETE DU JET ET DE LA BUSE

## Instabilités axiales et radiales



Velocity  
Vector 1

4.000e+000  
3.000e+000  
2.000e+001  
1.000e+001  
0.000e+000

[m s<sup>-1</sup>]

Tube d'air disparu,  
forces de capillarité  
importantes  
**Instabilité de  
Rayleigh-Taylor**

Instabilités radiales et  
axiales, tourbillons  
d'air augmentant de  
diamètre

Jet rapide,  
couches d'air  
fortement  
cisillées

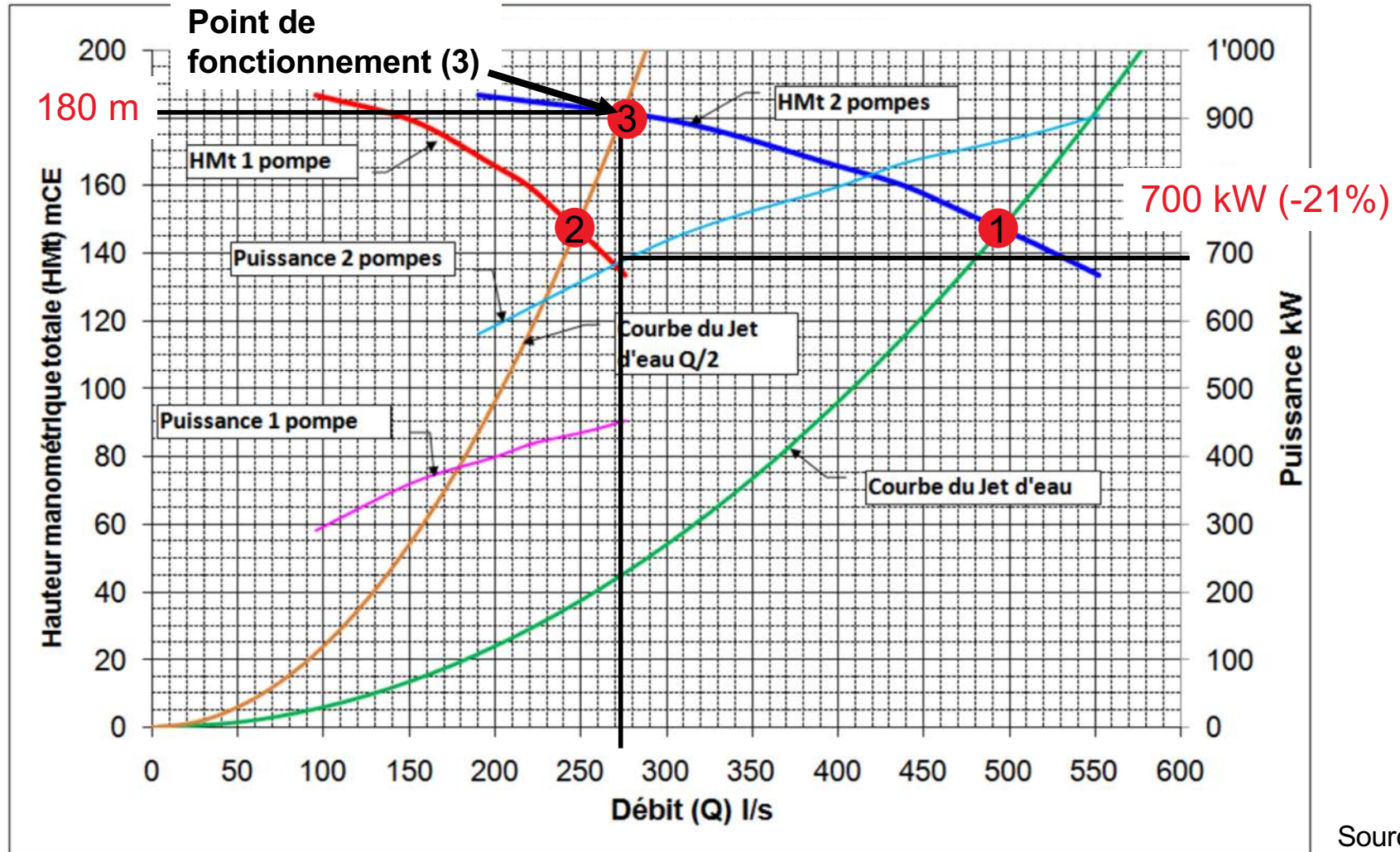
Instabilités axiales,  
tourbillons d'air  
entraînés

**Instabilité de  
Kelvin-Helmoltz**

L'avenir est à créer

## SUITE DU PROJET :

### 3<sup>ème</sup> POINT DE FONCTIONNEMENT : DEUX POMPES + BUSE DEMI-SECTION



Source SIG

L'avenir est à créer

## POINT DE FONCTIONNEMENT ACTUEL VISE : DEUX POMPES + BUSE DEMI-SECTION

### Point de fonctionnement visé :

- Hauteur : 170 m = actuelle + 30 m
- Puissance : 700 kW = actuelle – 180 kW (-21 %)
- Peu de travaux d'intervention (changement de la buse seule)

### Résumé des points de fonctionnement avec la buse à géométrie variable :

Point 1 :	Pleine buse	2 pompes	880 kW	140 m
Point 2 :	Demi-buse	1 pompe	440 kW	125 m (sans vent)
Point 3 :	Demi-buse	2 pompes	700 kW	170 m (180 m HMt)

# GENEVE ART : PRESTATION

## Inauguration de la biennale de sculpture 2018

En marge du projet, et compte tenu de nos travaux :

### Question :

Peut-on faire décoller et voler un drapeau sur la pointe du jet d'eau de Genève (artiste Roman Signer) ?



Drapeau développé destiné à voler sur le jet d'eau !

L'avenir est à créer

# GENEVE ART : PRESTATION

## Inauguration de la biennale de sculpture 2018

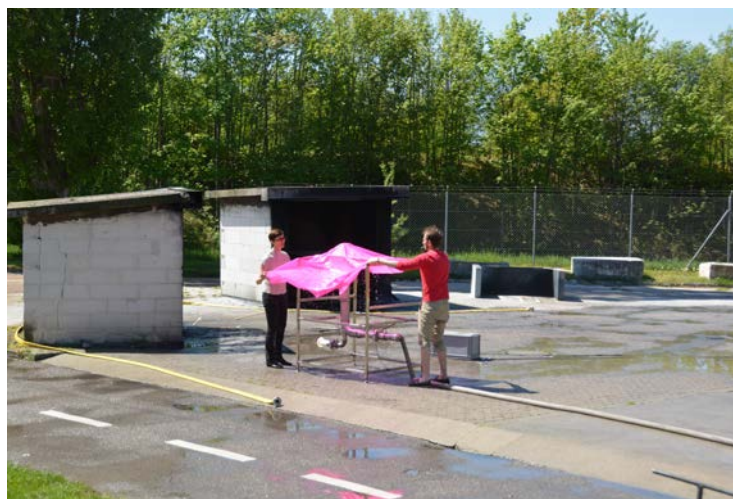


### Méthodologie globale :

- CFD (analyse des données existantes HEPIA)
- Essais échelle réduite 1:5 sur banc HEPIA
- Mesure de la trainée par lâché depuis 30 m



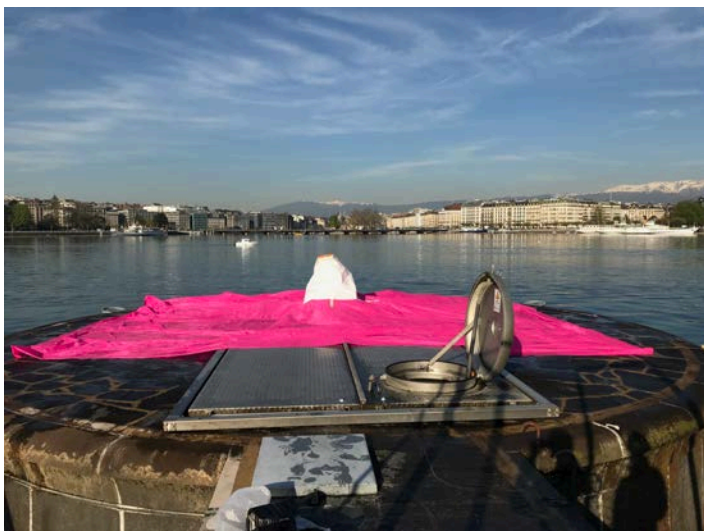
Drapeau échelle 1:5



# GENEVE ART : PRESTATION

## Inauguration de la biennale de sculpture 2018

### Prestation !



L'avenir est à créer

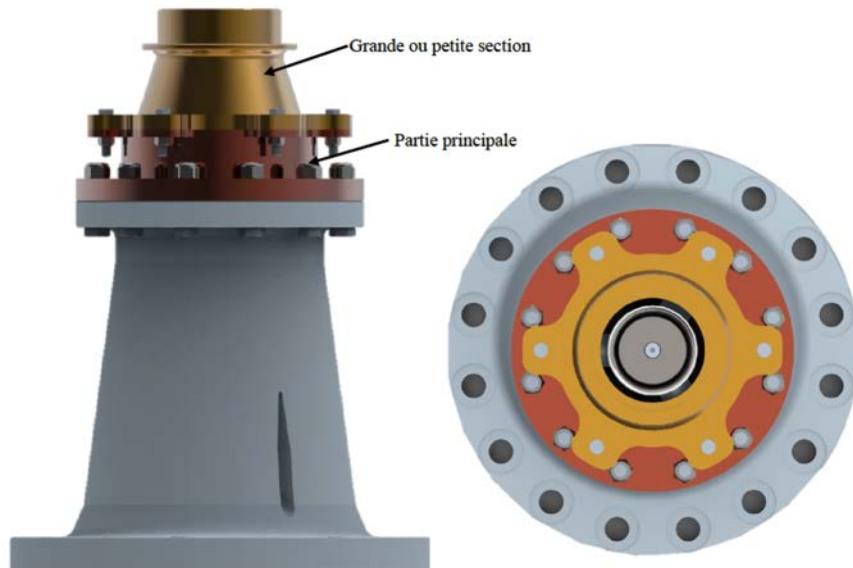
h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie  
et d'architecture de Genève

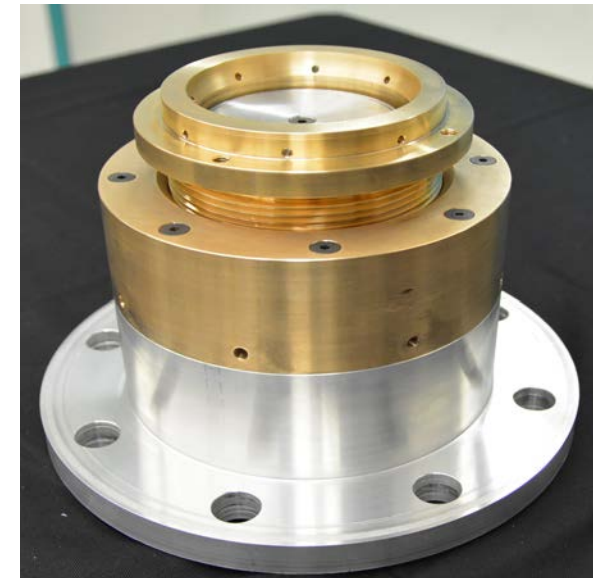


# SUITE DU PROJET

- Choix du concept mécanique final : 2019 - 20
- Présentation officielle de nos résultats : Fin 2020
- Concept 1 : Buse interchangeable    ou    Concept 2 : Buse réglable



E. Messiaux 2019



A. Abbassi et A. Cominetti 2016

L'avenir est à créer

## PARTIE PEDAGOGIQUE DU PROJET

Les étudiants hepia suivants ont participé à ce projet:

Ali Abbassi

Andrea Cominetti

Théodore Grinling

Romain Broedbeck

Luca Brandolini

Eric Messiaux

Avec la contribution de

**ANSYS**

ANSYS Academic Partner Program



L'avenir est à créer

**h e p i a**

Haute école du paysage, d'ingénierie  
et d'architecture de Genève

## QUESTIONS ?



SIG, HEPIA

Patrick Haas, Prof. Ordinaire  
Prof. d'aérodynamique et de CFD  
Resp. Groupe de mécanique des fluides

[patrick.haas@hesge.ch](mailto:patrick.haas@hesge.ch)

Tél +41 22 54 62 654

[www.cmefe.ch](http://www.cmefe.ch)

Nous remercions les Services Industriels de Genève (SIG) pour nous offrir un si beau sujet de recherche et d'enseignement !

