



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

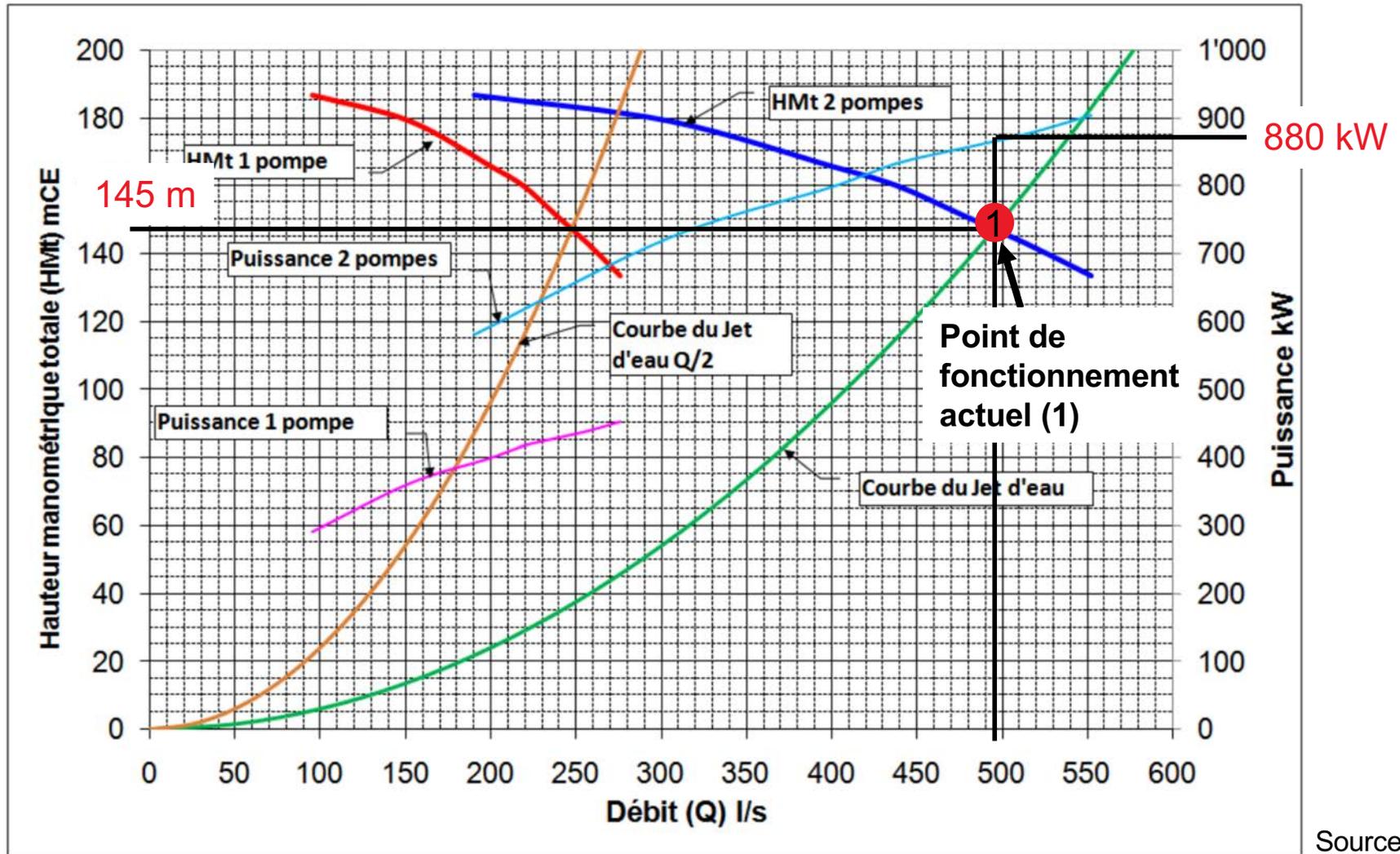
- Hauteur du jet : 140 m
- Débit d'eau : 500 lts/s
- Pression des pompes : 16 bars
- Vitesse à la buse : 200 km/h
- Puissances sur l'arbre : 2 x 500 kW = 1 MW



- 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

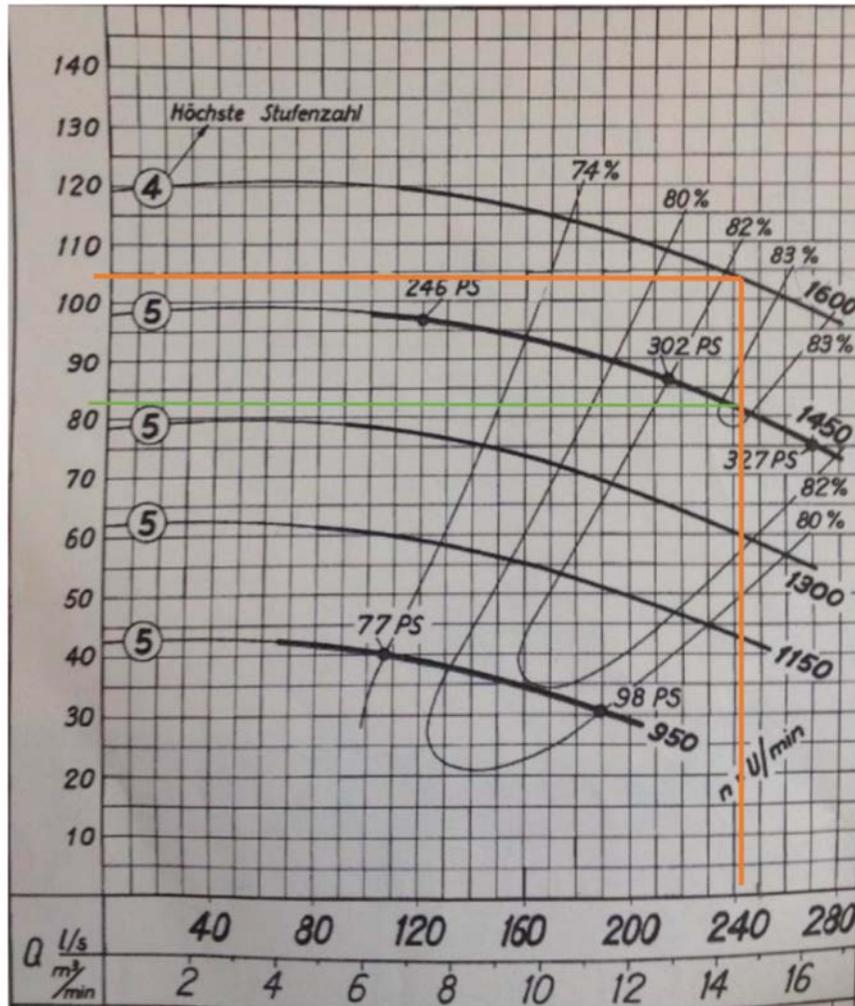
COURBES CARACTERISTIQUES DU SYSTEME



Source SIG

L'avenir est à créer

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



Idée SIG :

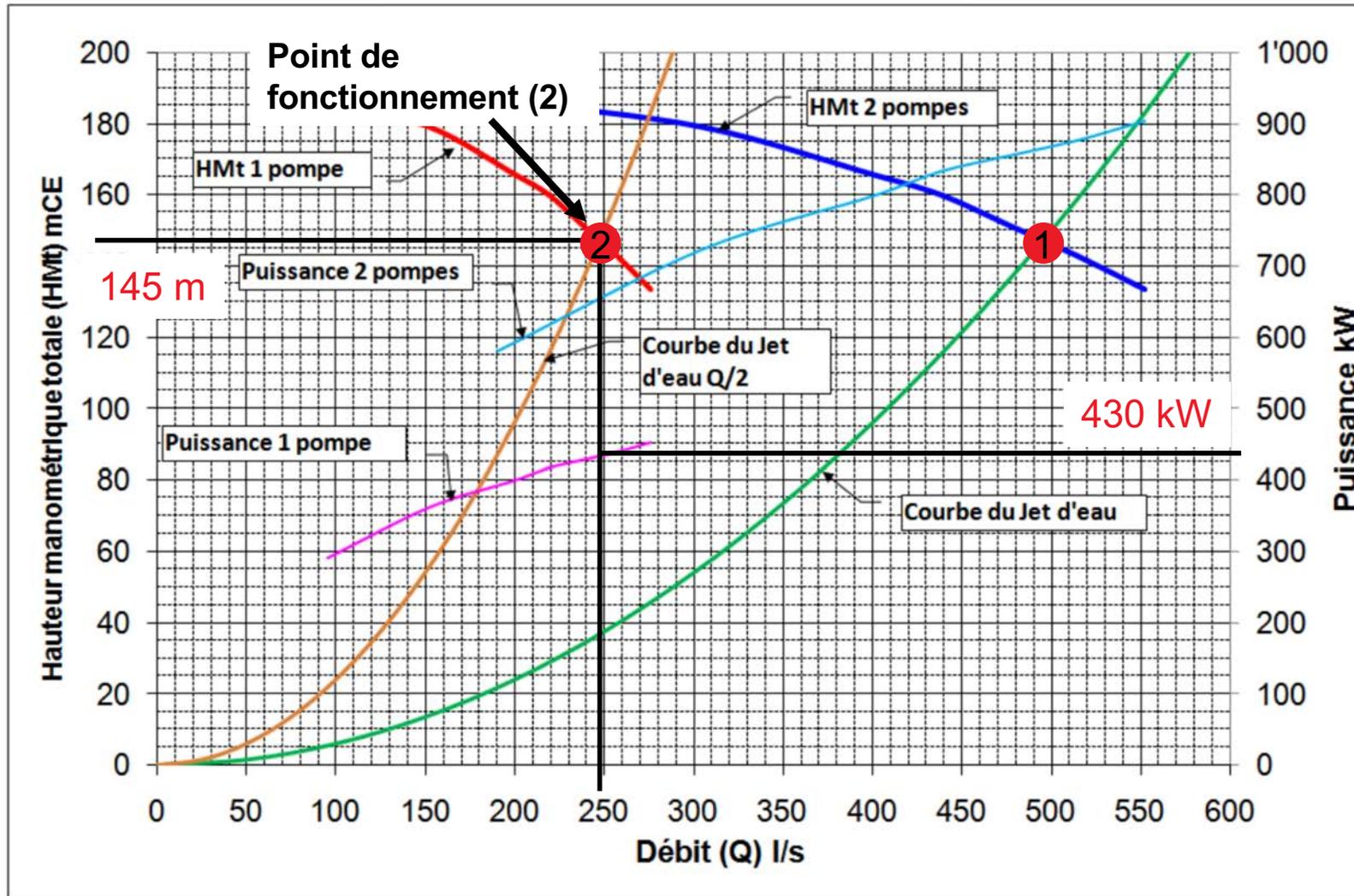
- Réduction de la section annulaire d'eau de 50%
- Une seule des deux pompes
- Puissance / 2
- Rendement identique (même point de fonctionnement de la pompe)

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

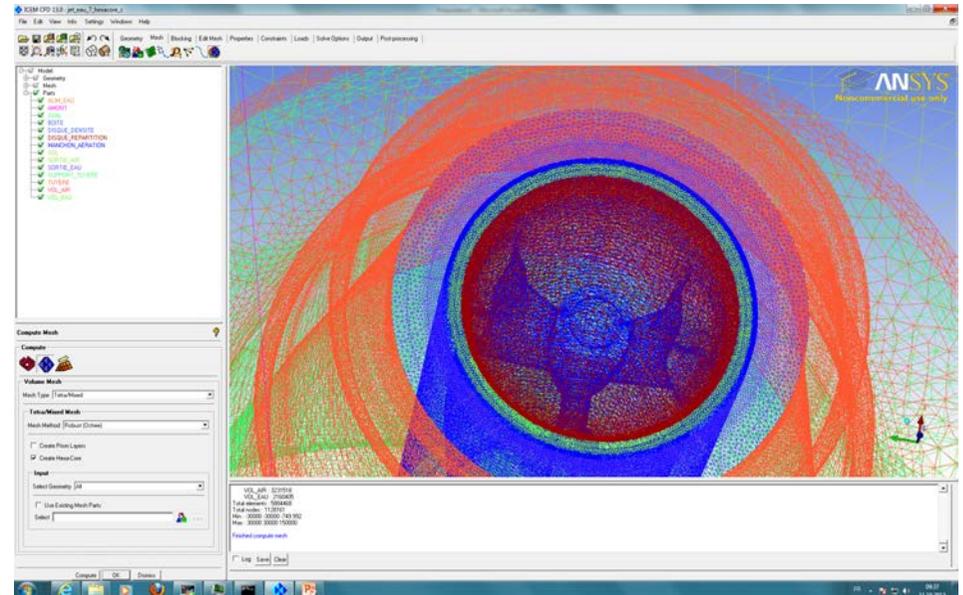
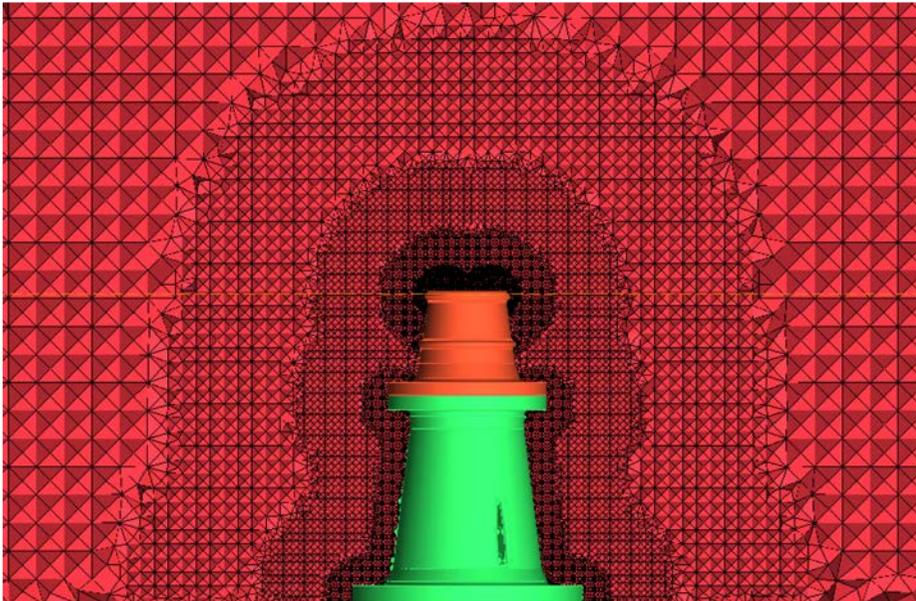


Source SIG

L'avenir est à créer

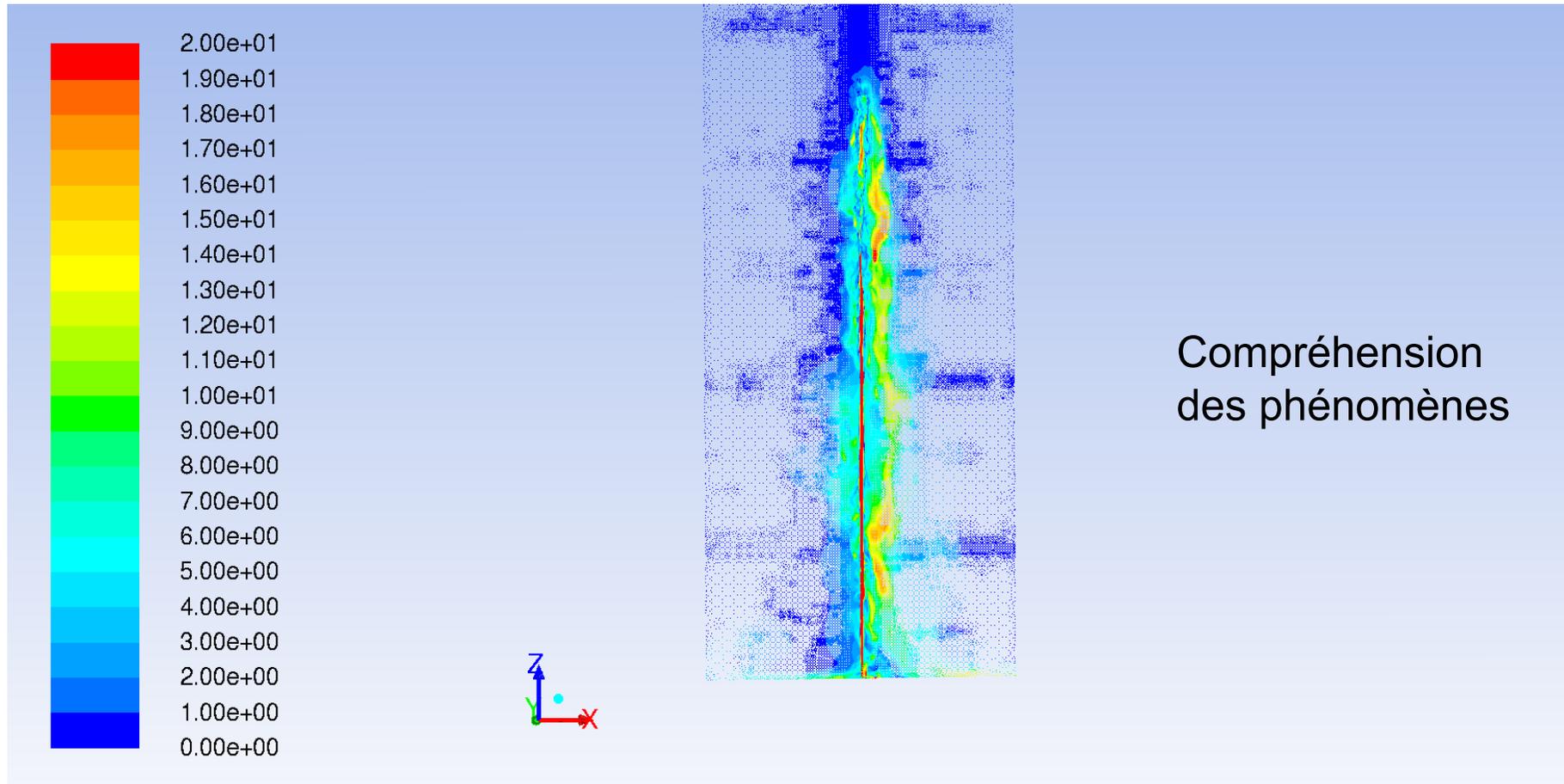
PROJET SIG / HEPIA (PART 1) : SIMULATION CFD : COMPREHENSION

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)

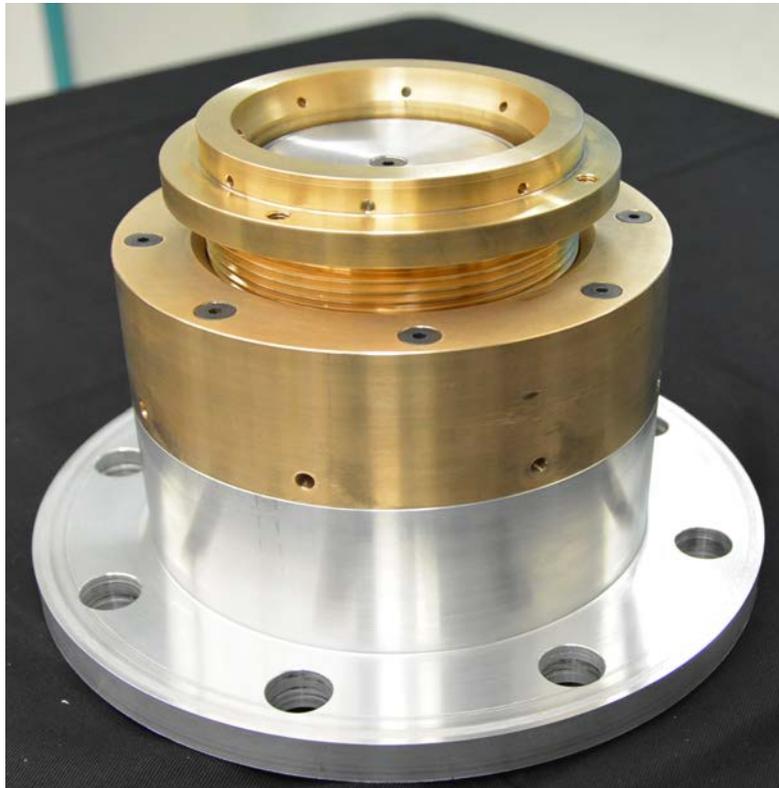
L'avenir est à créer

h e p i a

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

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 ¹. 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 »

¹ 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

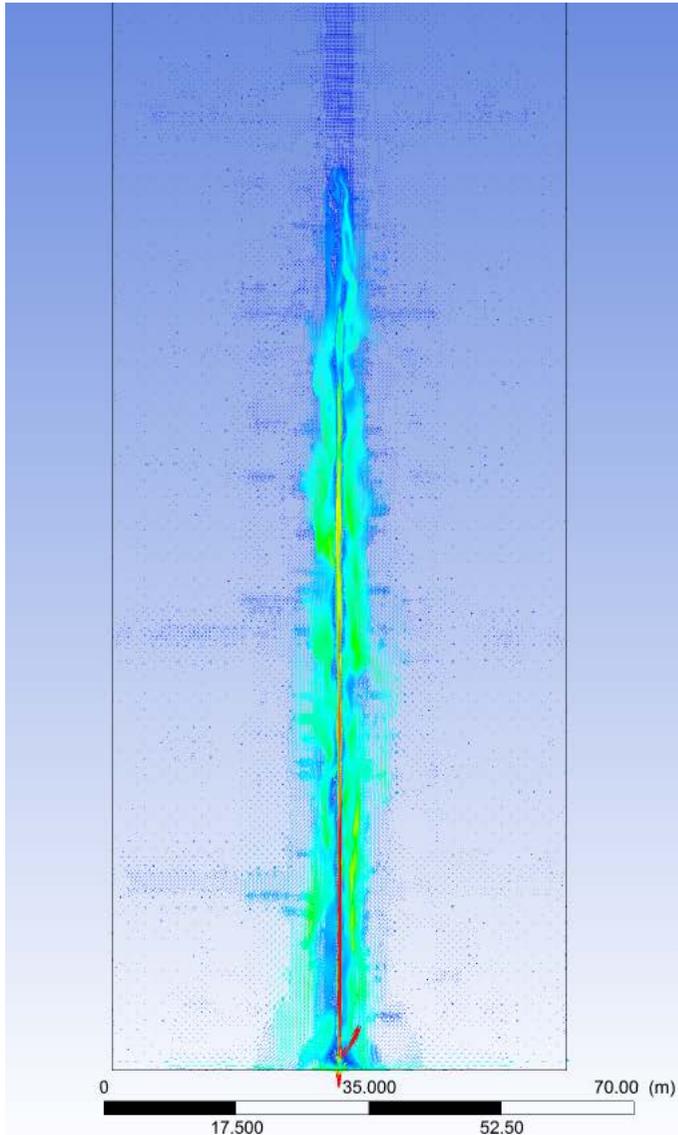


- Baobab HPC :** Intel Sandy Bridge, 2'500 cores, 10 To RAM, infiniband (hepia + unige)
- Gordias HPC :** ClusterVision, 224 cores, 448 Go RAM, infiniband
- EoleC1-5 :** Oracle SUN, 44 cores, 132 Go RAM
- EoleC6 :** Dell, 96 cores, 256 Go RAM
- Workstations :** 8 workstations Dell and HP 16 cores, 126 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 -



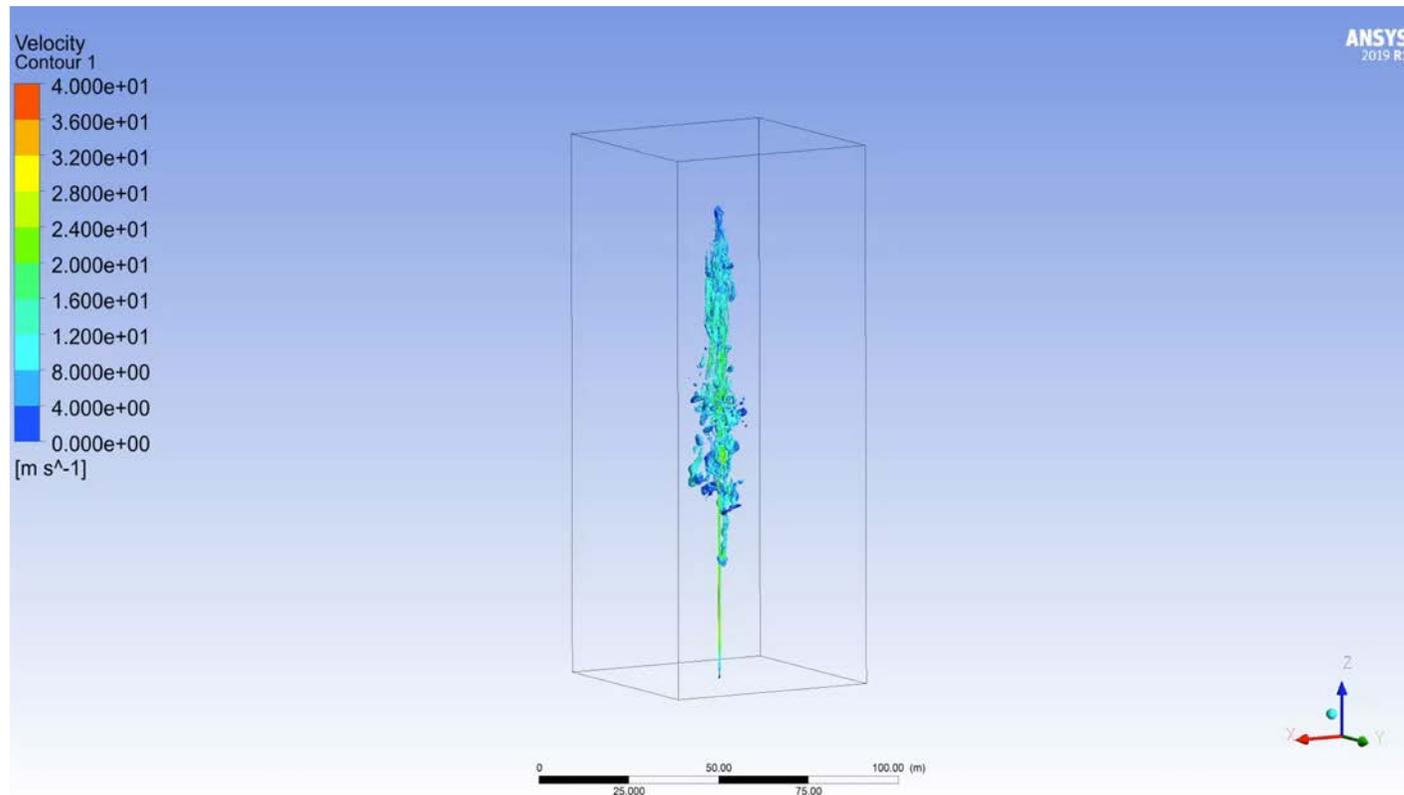
Maillage : 22 MC
Solveur : Fluent SIMPLE
Modèle : VoF
Turbulence : k- ϵ Realizable
Pas de temps : $\Delta t = 0.005$ s
Temps de calcul : 20 s (4'000 Δt)

Données générées :

Par pas de temps : 4.15 Go / Δt
Complète : 16'600 Go / 20 s

PROJET HEPIA :

- SIMULATION COMPLETE DU JET ET DE LA BUSE -

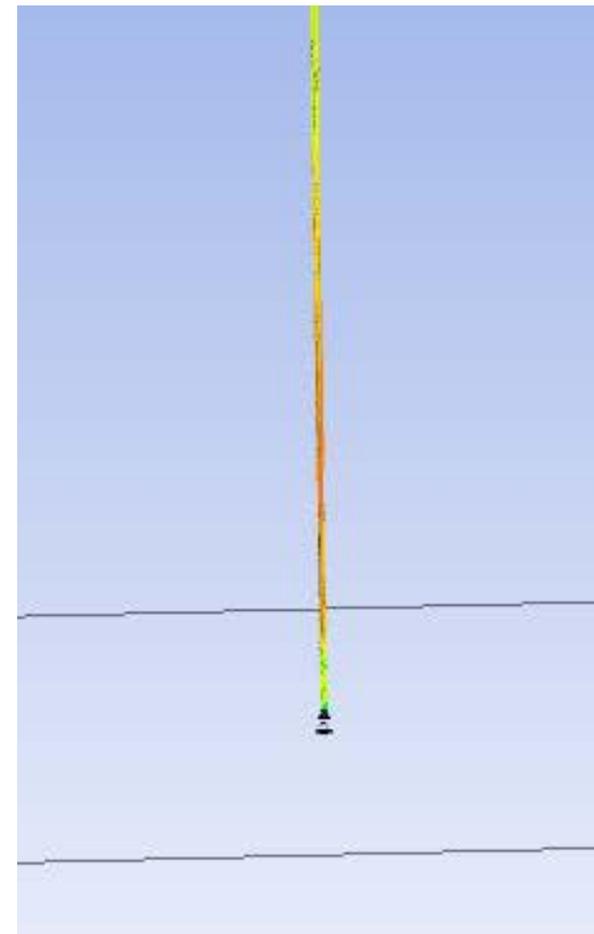
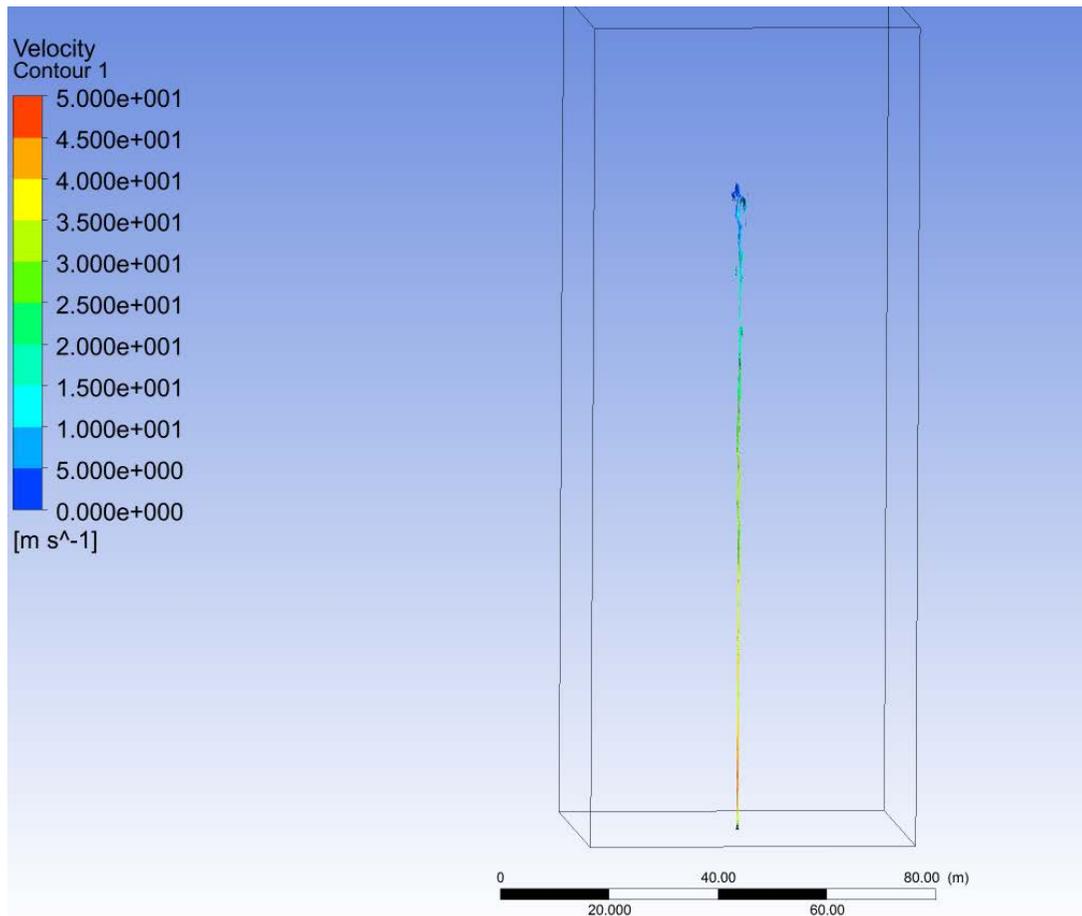


- Isosurfaces fraction de volume d'eau : 0.0006, coloriée avec la vitesse
- 2 s de calcul
- 1'600 Go de données traitées

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)

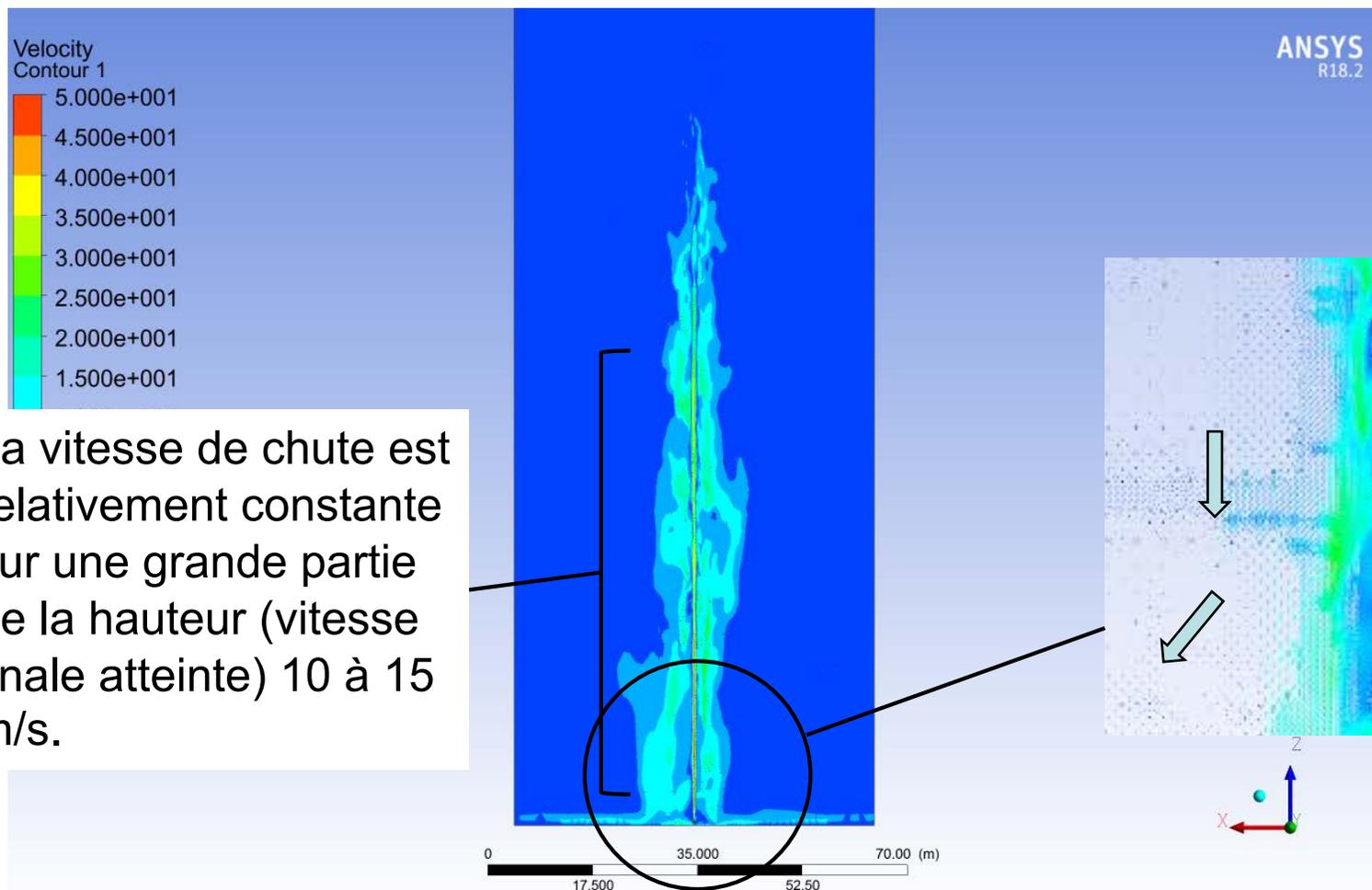


Chaleur (pas simulée)
z = 0

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 !

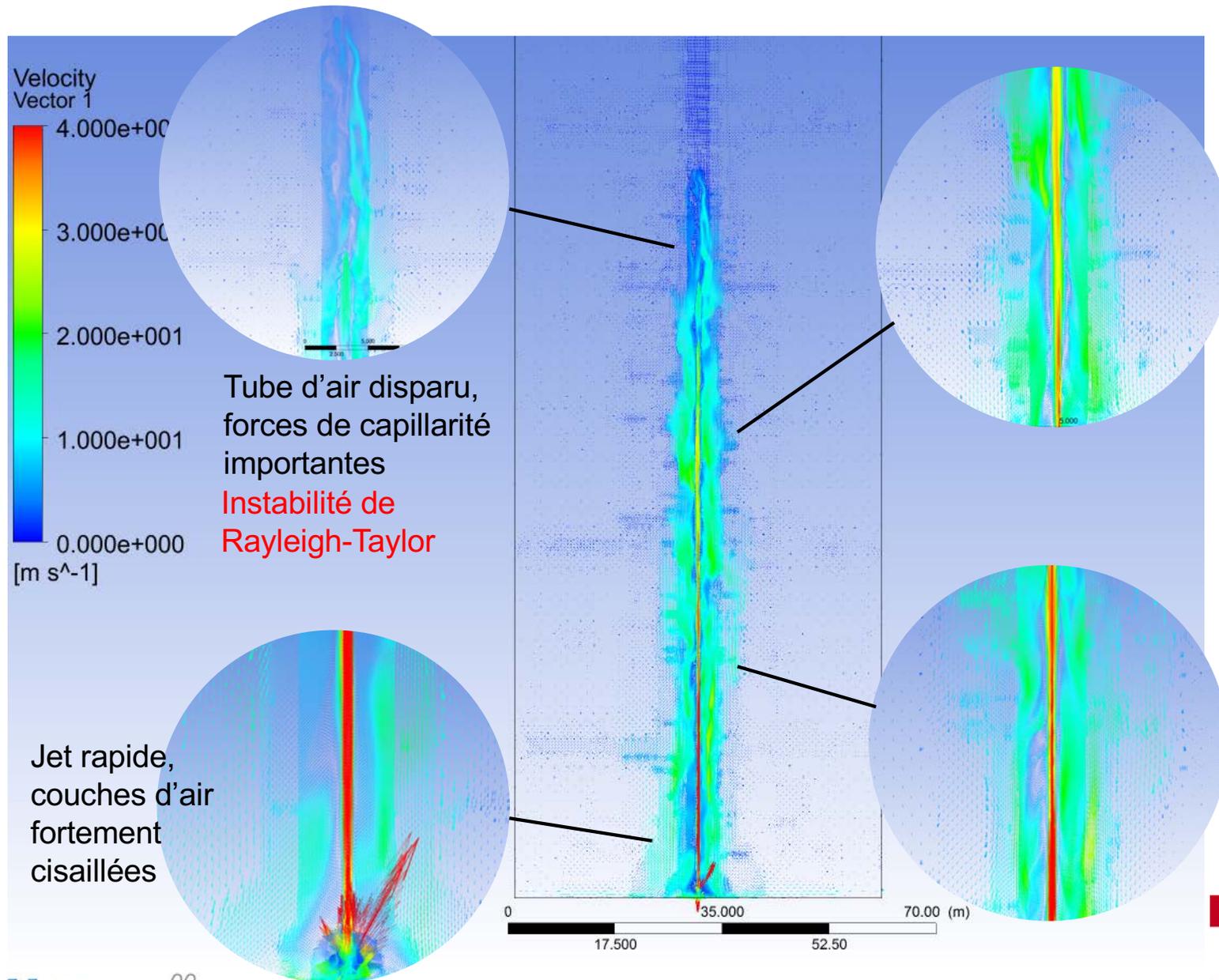
L'avenir est à créer

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

[m s⁻¹]

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

Jet rapide,
couches d'air
fortement
cisillées

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

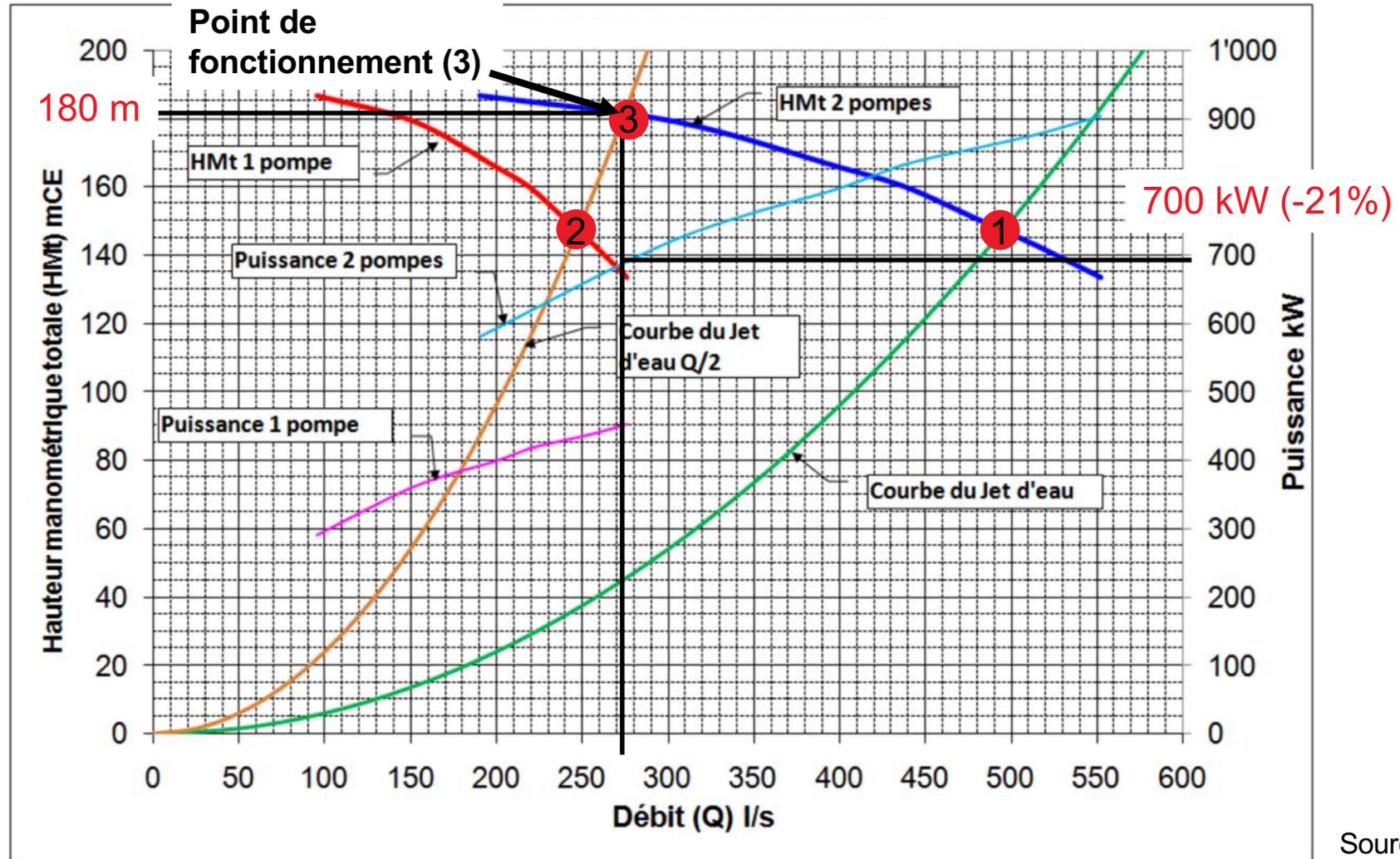
Instabilités axiales,
tourbillons d'air
entraînés

**Instabilité de
Kelvin-Helmoltz**

L'avenir est à créer

SUITE DU PROJET :

3^{ème} 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



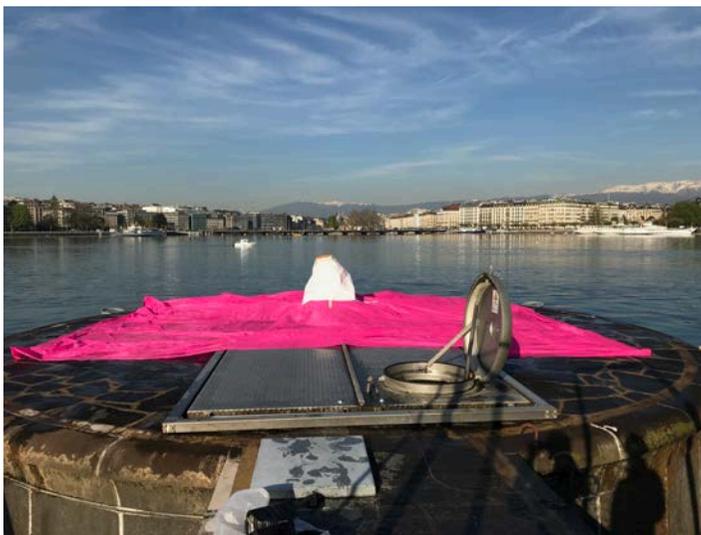
Drapeau échelle 1:5



GENEVE ART : PRESTATION

Inauguration de la biennale de sculpture 2018

Prestation !



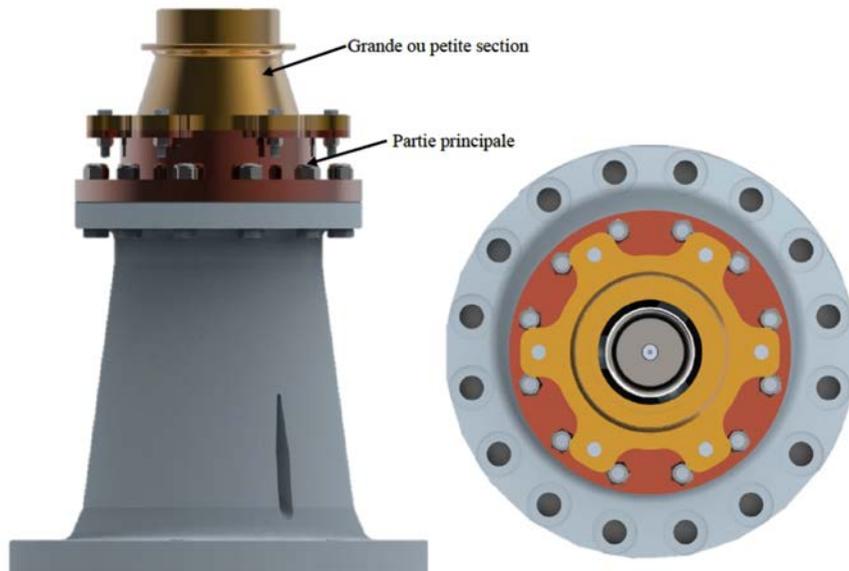
L'avenir est à créer

h e p i a

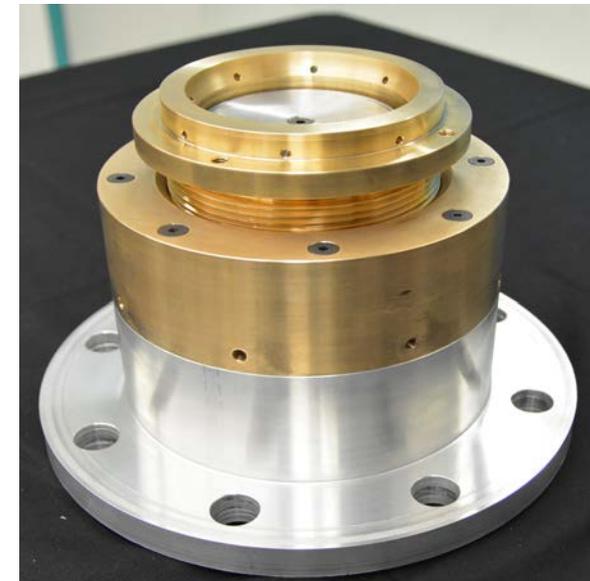
Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

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

Tél +41 22 54 62 654

www.cmefe.ch

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

