

# Détermination des Transitoires Hydrauliques au Moyen de la Simulation Numérique

**Eric VUIGNIER**, ALPIQ Suisse SA, Sion (VS)

**Dr. Christophe NICOLET**, Power Vision Engineering Sàrl,  
Ecublens (VD)

## Sommaire

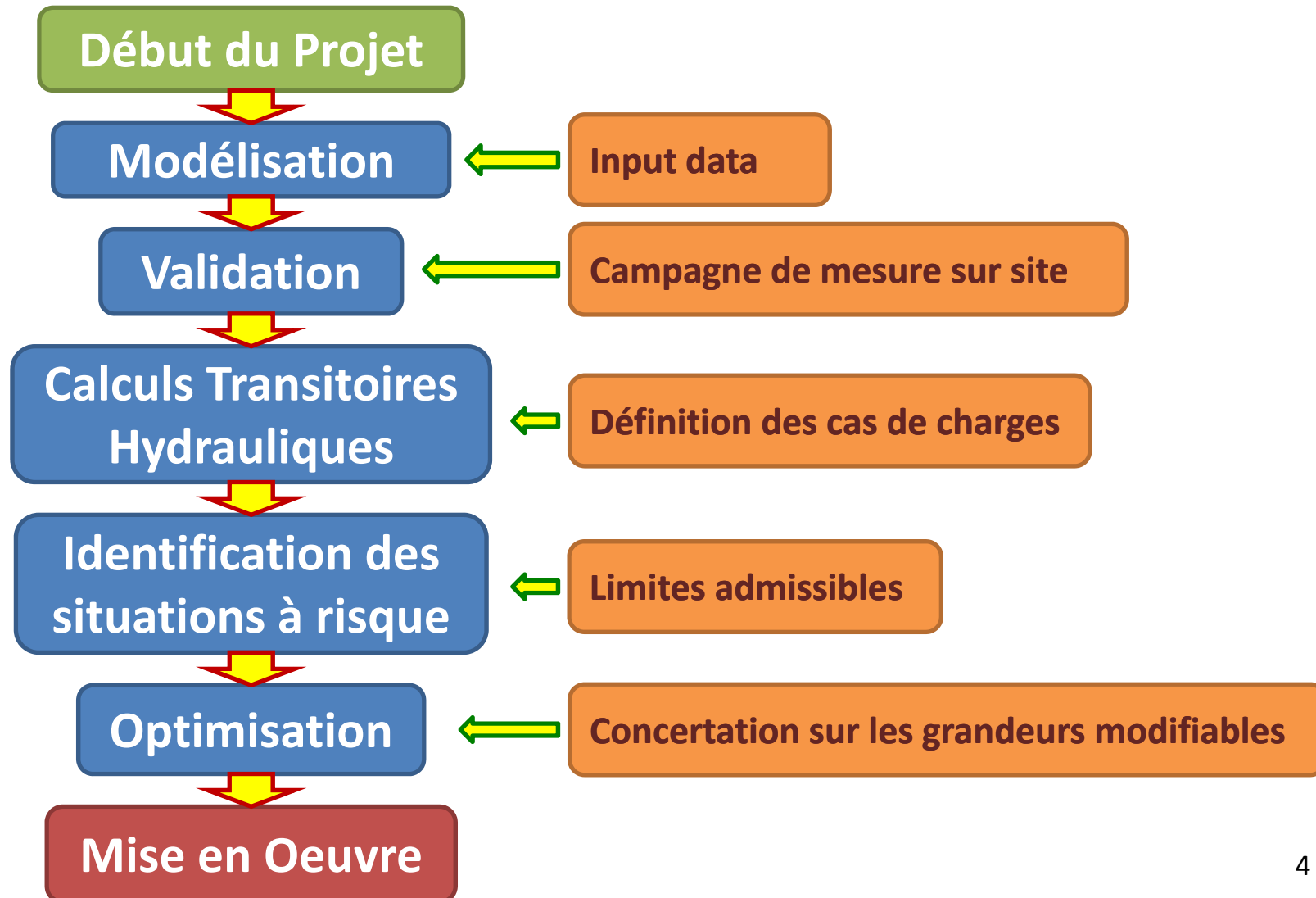
- Motivations
- Démarche générale
- Modélisation: Logiciel SIMSEN
- Validation
- Exemple d'application:
  - ✓ Electra-Massa: Définition des limites d'exploitations
- Mise en application
- Conclusions et recommandations



# La simulation numérique : pourquoi ?

- Augmentation de la puissance : possibilités, limitations, risques, opportunités, débit max de l'aménagement (galerie, cheminée, cf)
- SG
  - ✓ Changement des modes opératoires : risques, limitations
  - ✓ Non Qualification Swissgrid : limitations,
  - ✓ TC 2010, TC 2013, ENTSOE, ...
- Risques opérationnels : pression, pic de Michaud, déversement ou dénoyage cheminée, dépression, débit, trouble shooting suite à un évènement particulier : comprendre
- Optimiser les services de réglage primaire et secondaire des groupes de production (déterminer paramètres optimaux dans RegTurbine pour maximiser offre réglage primaire → statisme minimal, ...) (non traité)
- Evaluer les conséquences du réglage secondaire sur la fatigue des équipements (non traité)
- Modification des modes d'exploitation (télécommande, automatisation, démarrage à la volée, ...)

# Démarche Globale



## La simulation numérique : data input?

- Données de l'aménagement
- Schéma fonctionnel

✓ **Barrage Gebidem:**

- $Z_{dév}=1437.55\text{msm}$
- $Z_{max}=1436.5\text{msm}$
- $Z_{min(sup)}=1400\text{msm}$
- $Z_{min(inf)}=1360\text{msm}$

✓ **3 groupes Pelton**

✓ **P<sub>ntot</sub>: 340MW**

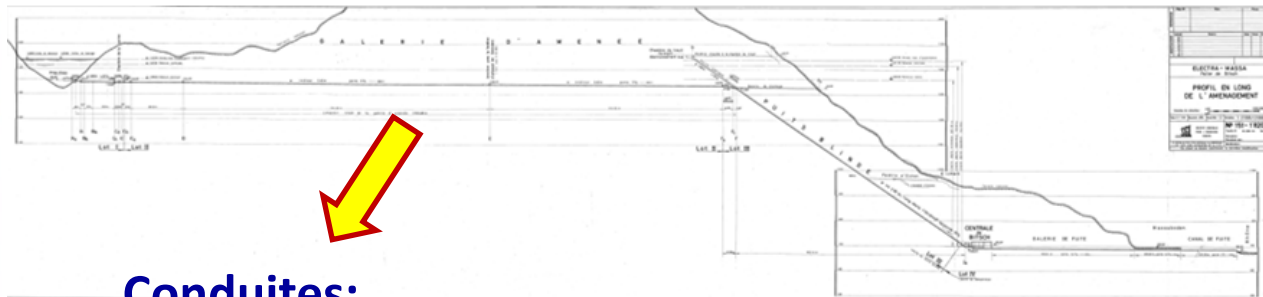
- $P_{n1}=100\text{MW}$
- $P_{n2}=100\text{MW}$
- $P_{n3}=140\text{MW}$

✓ **Q<sub>tot</sub>=55m<sup>3</sup>/s**

✓ **H<sub>bmax</sub>=743.5mCE**

✓ **Z<sub>turbines</sub>=693msm**

○ Profil en long:

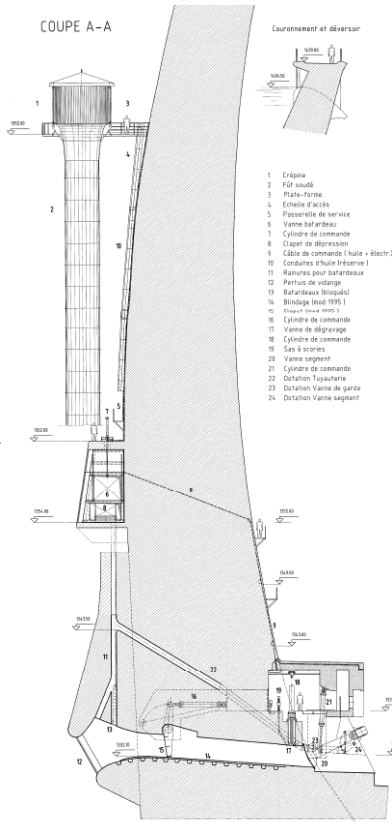


**Conduites:**

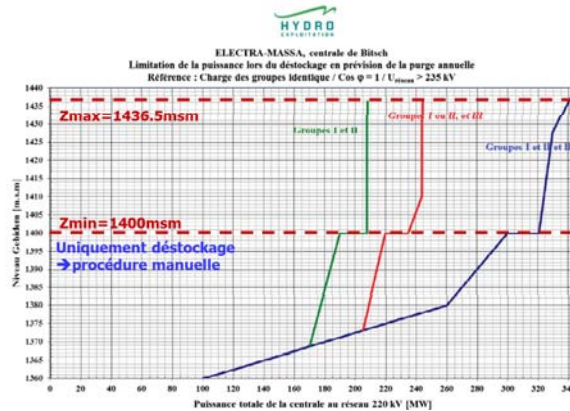
- ✓ Longueurs
- ✓ Diamètres
- ✓ Epaisseurs de parois → Vitesse propagation d'onde
- ✓ Rugosité parois → pertes de charges

# La simulation numérique : data input?

○ Prise d'eau:



○ Plage de fonctionnement:

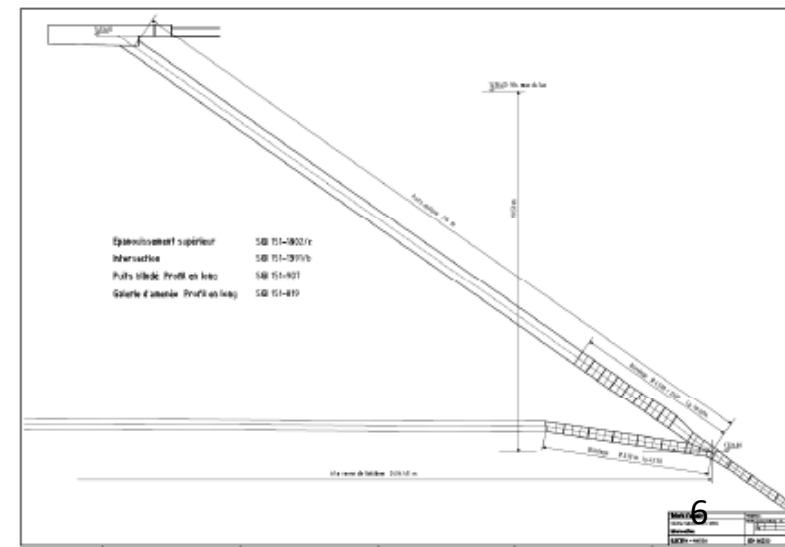


**Cheminée:**

- ✓ Sections horizontales
- ✓ Pertes de charge entrée/sortie
- ✓ Inertie colonne d'eau

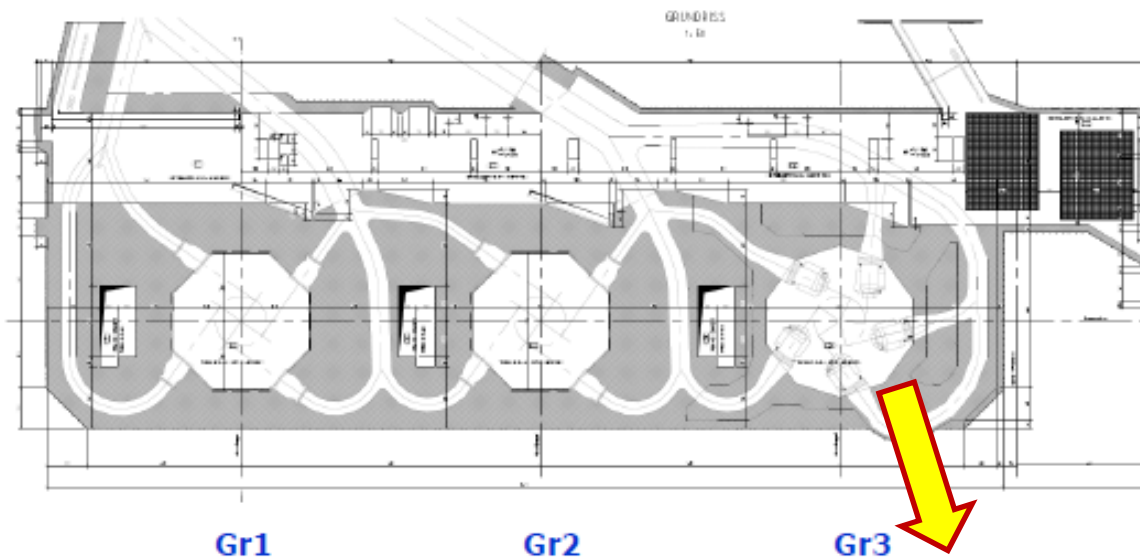


○ Cheminée d'équilibre



# La simulation numérique : data input?

## ○ Centrale de Bitsch:

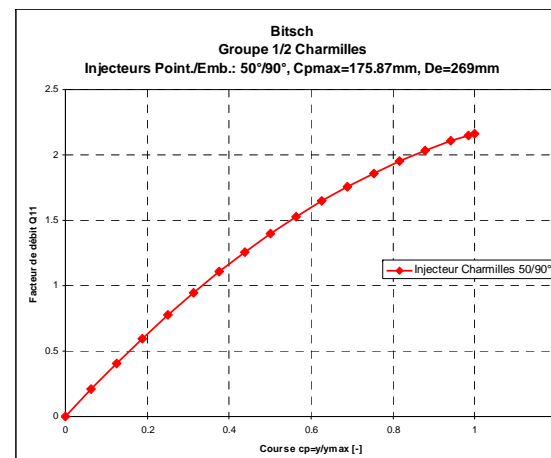


## Turbines:

- ✓ Grandeurs nominales
- ✓ Caractéristiques débit  $Q_{11}=Q_{11}(y)$

## ○ Turbines groupes 1 et 2:

- ✓  $S_n = 108$  MVA
- ✓  $P_n = 100$  MW
- ✓  $H_n = 724$  mCE
- ✓  $Q_n = 16.5$  m<sup>3</sup>/s
- ✓  $N_n = 375$  tr/min
- ✓ Angles point./emb.: 50°/90°
- ✓  $D_{emb.} = 0.269$  m
- ✓ Course max = 0.17587 m
- ✓  $D_{roue} = 2.82$  m
- ✓  $Z_{axe} = 693$  msm
- ✓ 1 roue / groupe
- ✓ 4 injecteurs par roue
- ✓ Machine synchrone
- ✓ Axe vertical





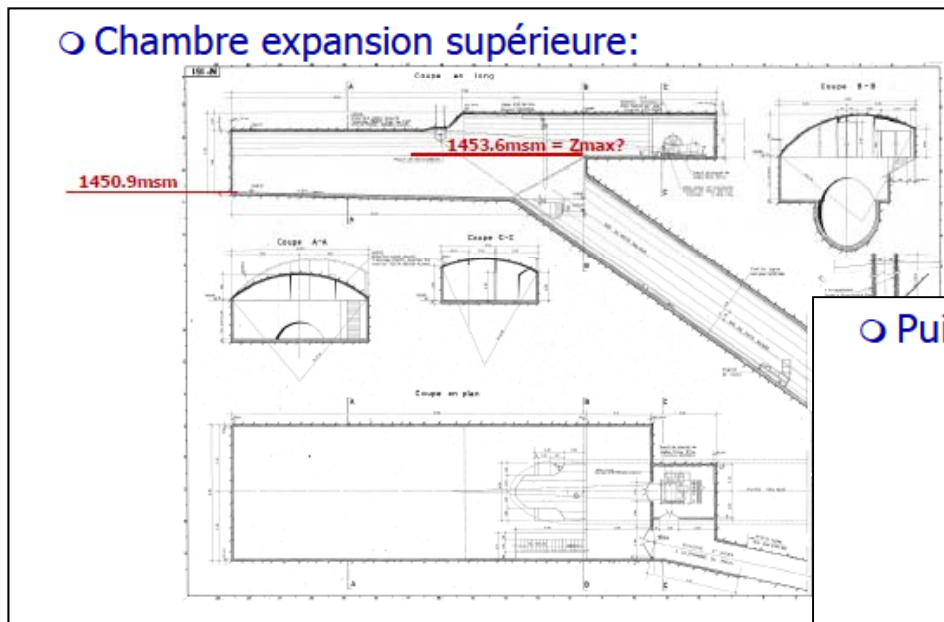
# La simulation numérique : data input?

- **Limites admissibles:**

**Conduites et galeries:**

- ✓ Pression maximale admissible
- ✓ Pression minimale admissible (cavitation, voilement)

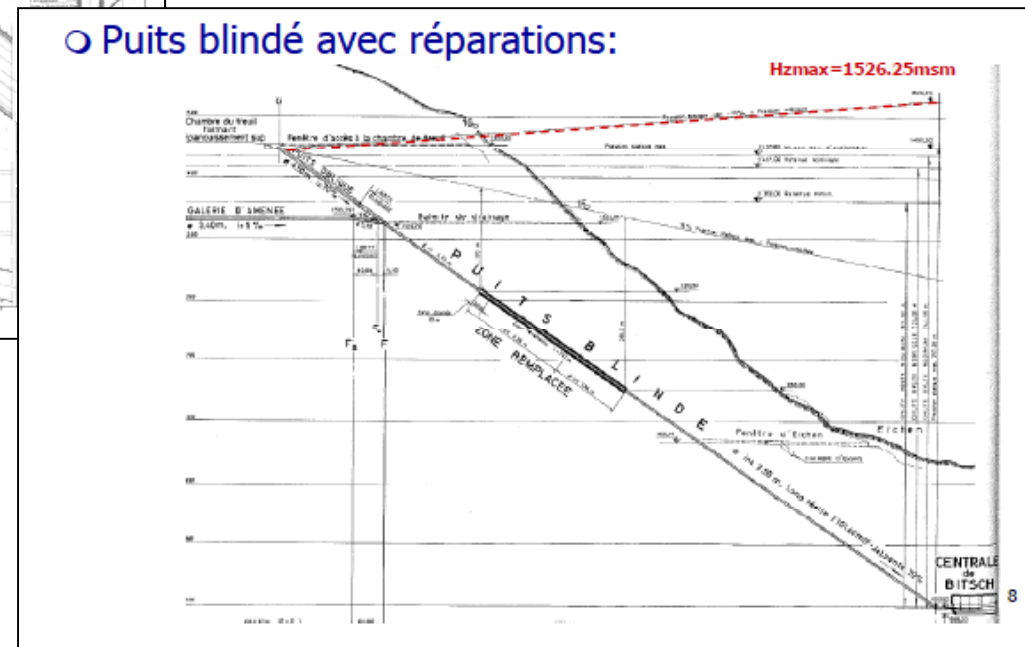
○ **Chambre expansion supérieure:**



**Cheminée:**

- ✓ Niveau maximum admissible
- ✓ Niveau minimum admissible
- ✓ Pression minimum diaphragme

○ **Puits blindé avec réparations:**



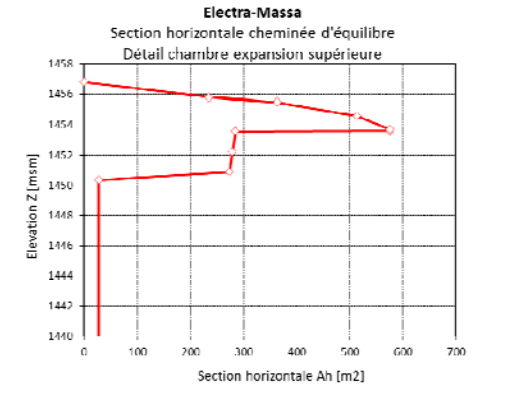




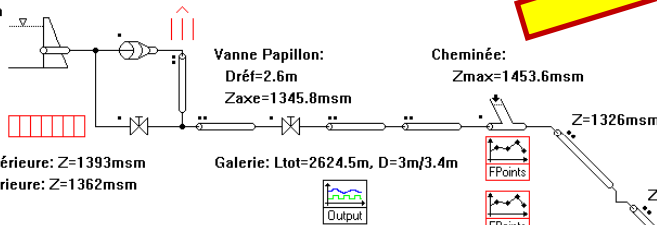
# Modélisation

- Modèle SIMSEN Electra-Massa:

**Cheminée:**  
 $A_h(Z)$ ,  $L_h(Z)$ ,  $K_d(Q)$



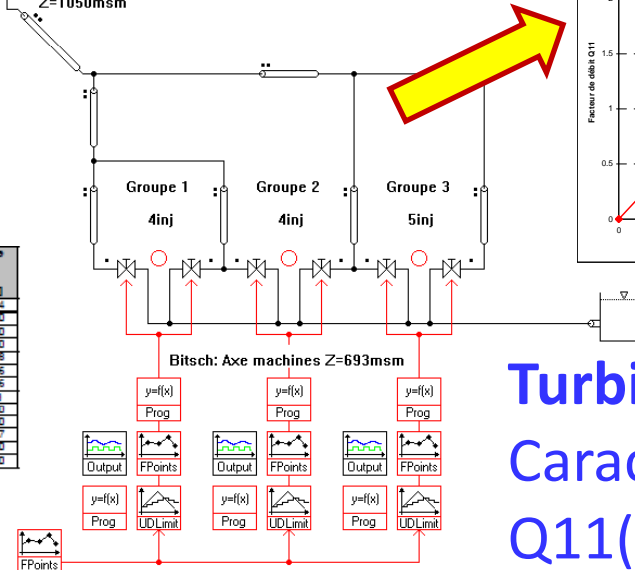
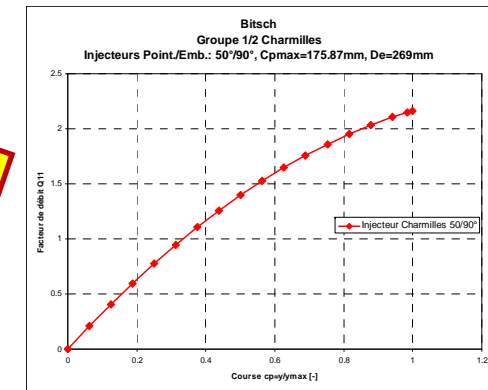
BARRAGE DE GEBIDEM: 8.7Mm3  
 Zmax=1436.5mms  
 Zmin=1400mms



**Conduites: L, D, a, λ**

No	Éléments	Débit Qo [m3/s]	Longueur L [m]	Diamètre D [m]	Coefficient de pertes de charges A [-]	Vitesse écoulement C [m/s]	Nombre de Reynolds Re [-]	Rugosité relative ks/D [-]	Rugosité ks [mm]	PDC dHrg [mCE]	vitesse onde a [m/s]
0	Prise d'eau	55	31	3.3	0.0106	6.43	2.12E+07	0.00005	0.160	0.21	1033.34
1	Galerie 1 (guinte)	55	190	3	0.0133	7.78	2.33E+07	0.00017	0.600	2.60	1300.00
2	Galerie 2 (guinte)	55	2434	3.4	0.0130	6.06	2.06E+07	0.00015	0.600	17.41	1300.00
3	Galerie 3 (binde)	55	44	3.1	0.0107	7.29	2.26E+07	0.00005	0.160	0.41	1300.00
4	Puls binde 1	55	191	2.5	0.0110	11.20	2.80E+07	0.00005	0.160	2.35	1193.76
5	Puls binde 2 (nisparie)	55	290	2.38	0.0111	12.68	2.98E+07	0.00005	0.160	11.26	1208.36
6	Puls binde 3	55	639	2.5	0.0110	11.20	2.80E+07	0.00005	0.160	18.04	1208.66
7	Répartiteur 1	34.76	7	1.86	0.0117	9.11	1.69E+07	0.00008	0.160	0.19	700.00
8	Répartiteur 2	8.25	25	1.07	0.0130	9.17	9.62E+06	0.00014	0.160	1.30	1250.00
9	Répartiteur 3	18.6	26	1.52	0.0121	9.09	1.36E+07	0.00019	0.160	0.84	1250.00
10	Répartiteur 4	30.26	32	2.06	0.0116	9.08	1.67E+07	0.00007	0.160	0.75	1066.67
11	Répartiteur 5	17.05	10	1.54	0.0121	9.15	1.41E+07	0.00010	0.160	0.34	1000.00
12	Répartiteur 6	13.2	25	1.36	0.0124	9.09	1.24E+07	0.00011	0.160	0.96	1250.00

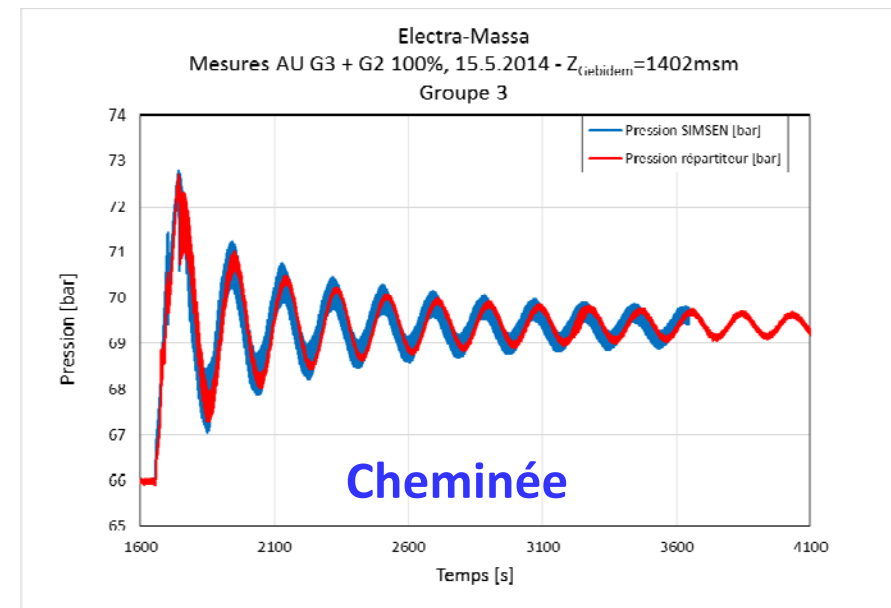
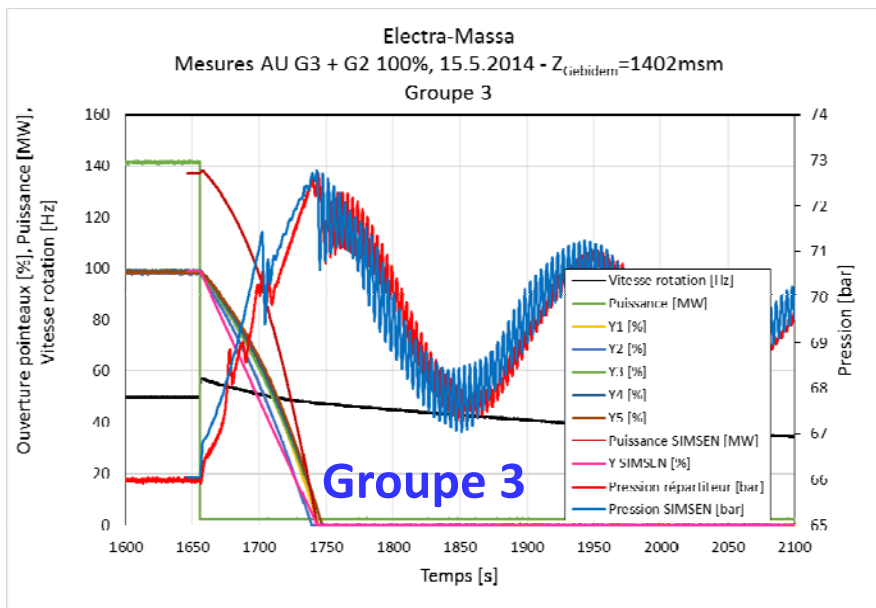
**CENTRALE DE BITSCH:**  
 P = 2x100MW + 140MW = 340MW  
 Q = 2x16.5m3/s + 22m3/s = 55m3/s  
 Hbmax = 743.5mCE  
 Nn = 375tr/min



**Turbines:**  
 Caractéristique débit  
 $Q_{11}(C_p)$

# Validation

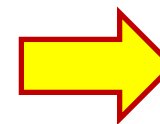
- Campagne d'essais: Arrêt urgence G2+G3: 240MW



✓ Vérification calage caractéristique turbine

✓ Calibration:

- Vitesse d'onde puits blindé
- Pertes de charges adduction
- Pertes de charges entrée/sortie cheminée d'équilibre



**Identification divergence  
plans-réalisation-état du  
système**

# Calculs Transitoires

- Liste des cas de charge:

- ✓ Cas normaux:

- AU pleine charge en régime stabilisé
    - Prise de charge + AU
    - Pic de Michaud (fermeture temps réflexion d'onde  $2L/a$ )
    - Prise de charge des groupes (simultané, différé, limitations, ...)
    - Baisse de charge et prise de charge au pire moment
    - Variation de la charge en phase cheminée

- ✓ Cas exceptionnels:

- Injecteurs bloqués → fermeture vanne en eau-vive
    - Fermeture intempestive de vannes (prise, tête, groupe)

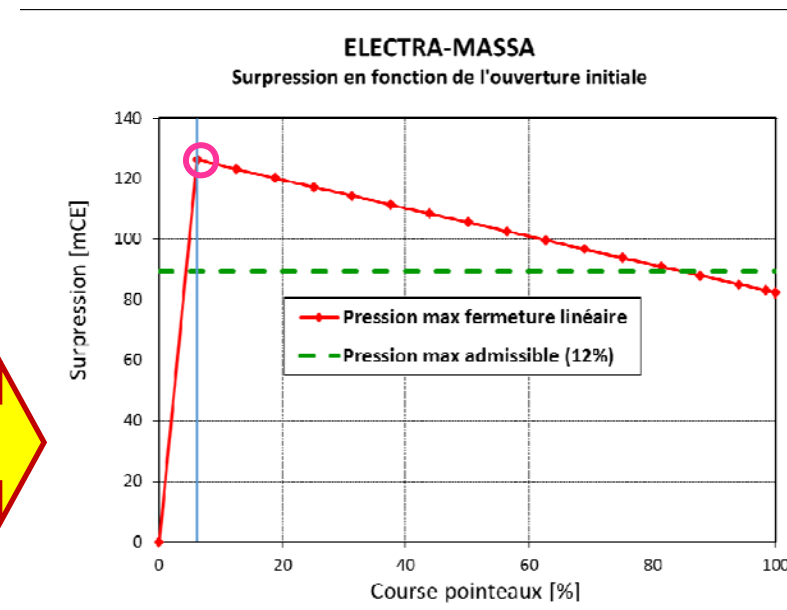
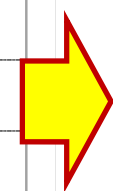
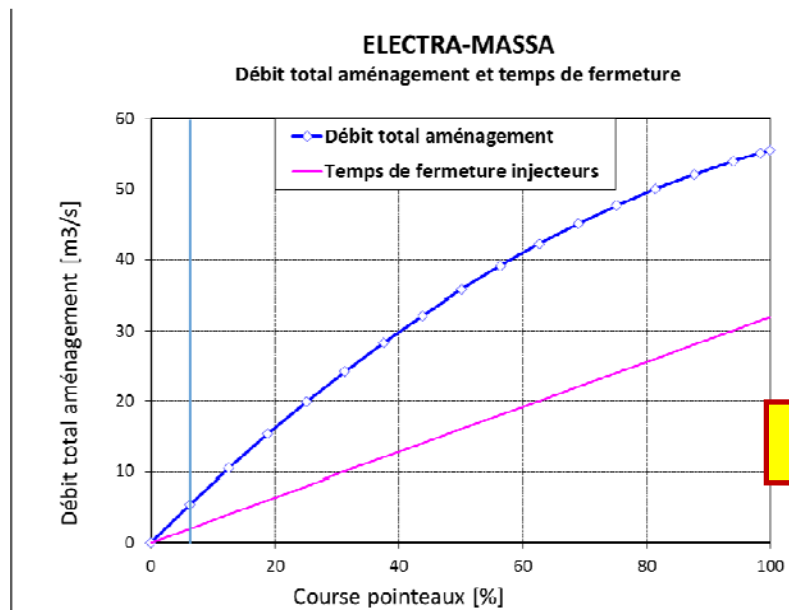
- ✓ Cas accidentels:

- Rupture tige injecteur → fermeture instantanée
    - Rupture d'injecteur → gueule bée d'injecteur
    - Rupture de conduite

# Calculs Transitoires Electra-Massa

- Pic de Michaud: Fermeture dans le temps de réflexion d'onde  $2L/a$ :

$$\Delta H_{\max} = \frac{a \cdot Q_o}{g \cdot A} \quad \text{Si } T_f = 2L/a = 2s$$



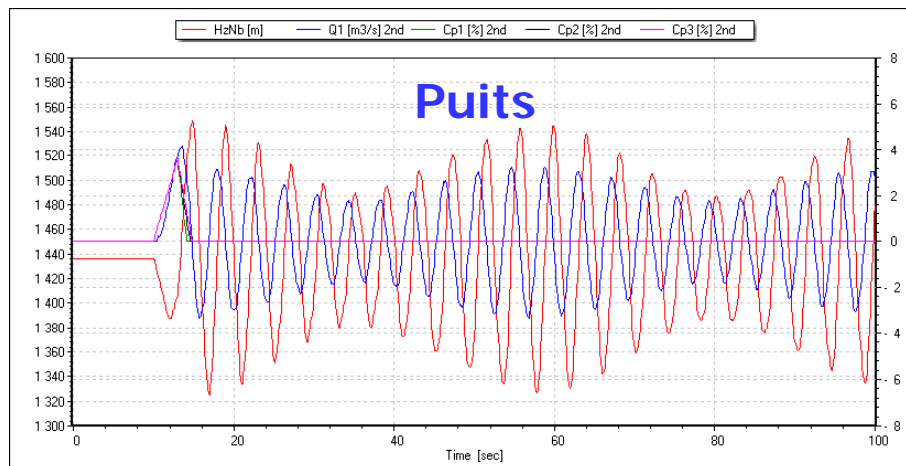
$L=1120m$   
 $a \sim 1120m/s \quad \Rightarrow \quad 2L/a = 2s$

$$\Delta H \cong \frac{2 \cdot L}{g} \cdot \frac{Q_o}{A} \cdot \frac{1}{T_f}$$

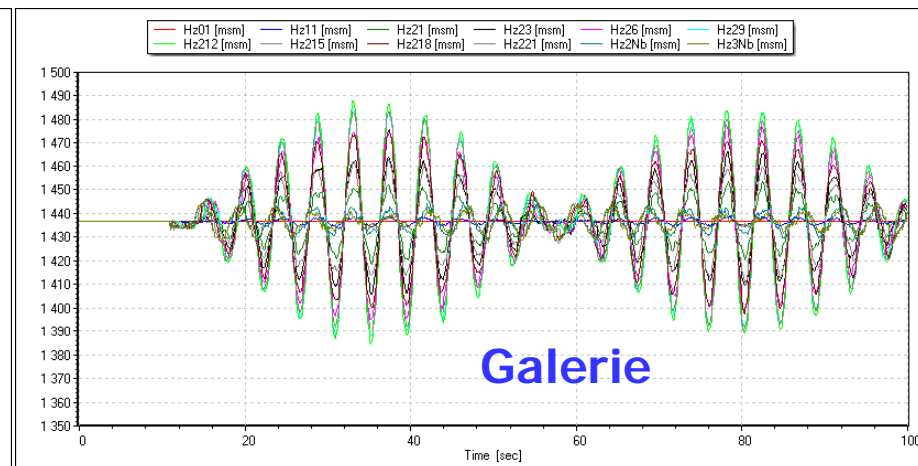
# Calculs Transitoires Electra-Massa

- Pic de Michaud: Fermeture dans le temps de réflexion d'onde  $2L/a$

✓ Prise de charge + AU  $\rightarrow T_{ferm}=2 \cdot L/a \rightarrow \Delta H_{max} = \frac{a \cdot Q_o}{g \cdot A}$



$2L/a=2.05s$

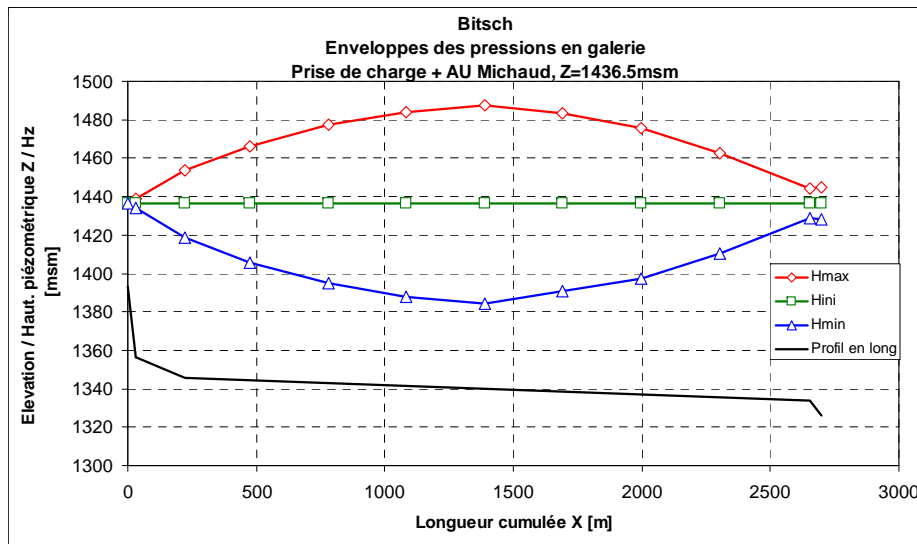


$T = \frac{2 \cdot L_g}{a} = 4.34s$

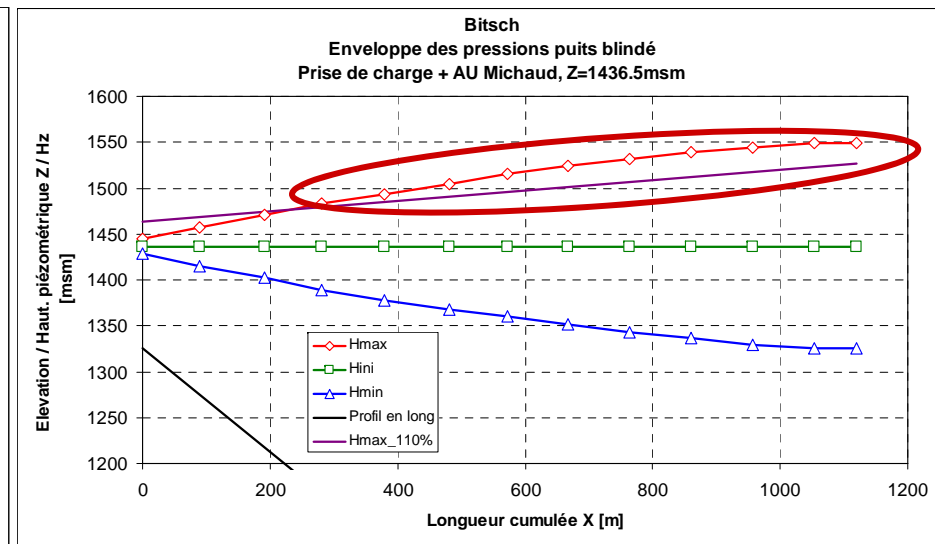
# Calculs Transitoires Electra-Massa

- Pic de Michaud: Fermeture dans le temps de réflexion d'onde  $2L/a$

✓ Prise de charge + AU  $\rightarrow T_{ferm}=2 \cdot L/a \rightarrow \Delta H_{max} = \frac{a \cdot Q_o}{g \cdot A}$



OK

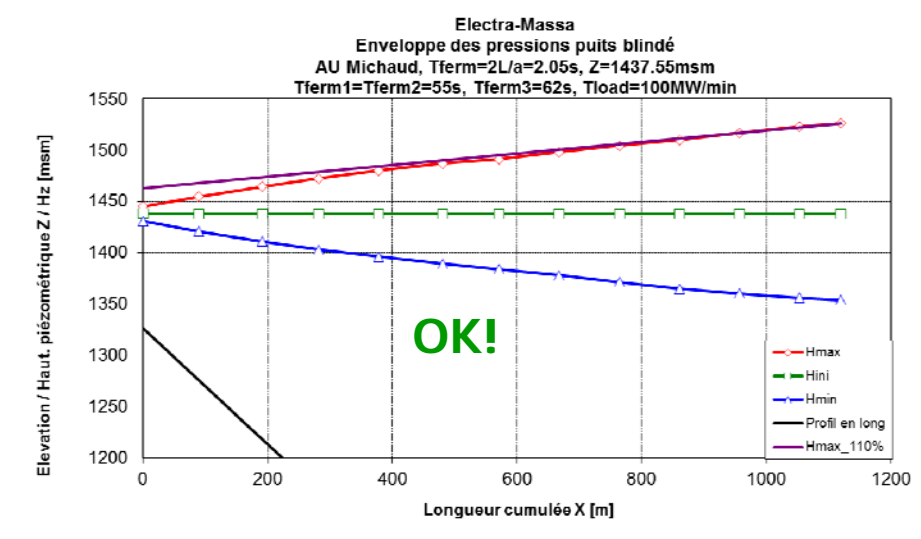
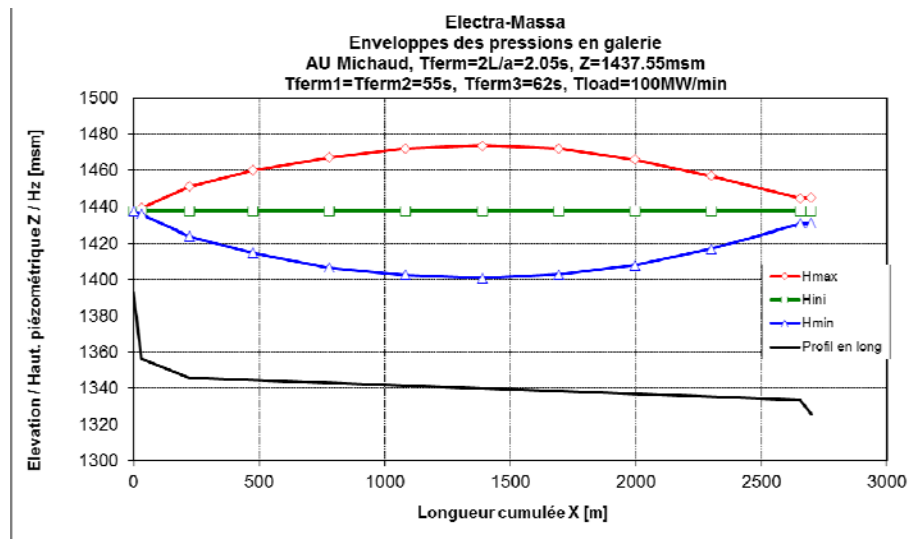


**Pmax = 113% > 110% => NOK**



# Calculs Transitoires Electra-Massa

- Pic de Michaud: Fermeture dans le temps de réflexion d'onde  $2L/a$ 
  - ✓ Prise de charge + AU →  $T_{ferm}=2*L/a$



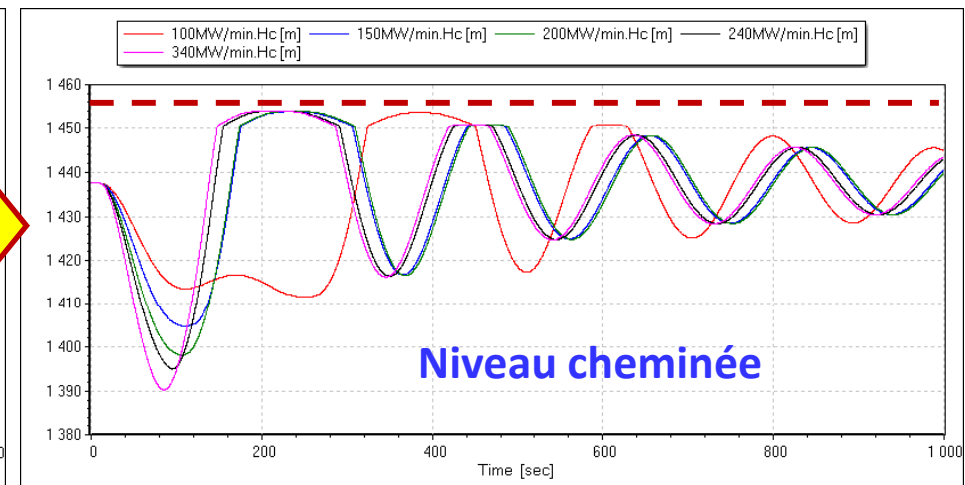
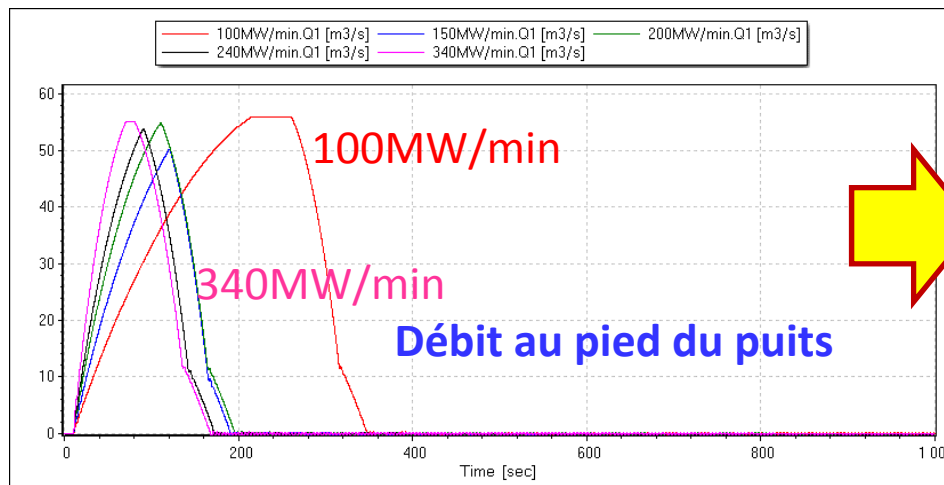
## Solution:

- Prolongation temps de fermetures injecteurs
- Prolongation temps de prise de charge (compatible Swissgrid)

# Calculs Transitoires Electra-Massa

- Prise de charges successives:
  - ✓ Prise de charge + baisse de charge à Zmax

Zdév=1454.61msm



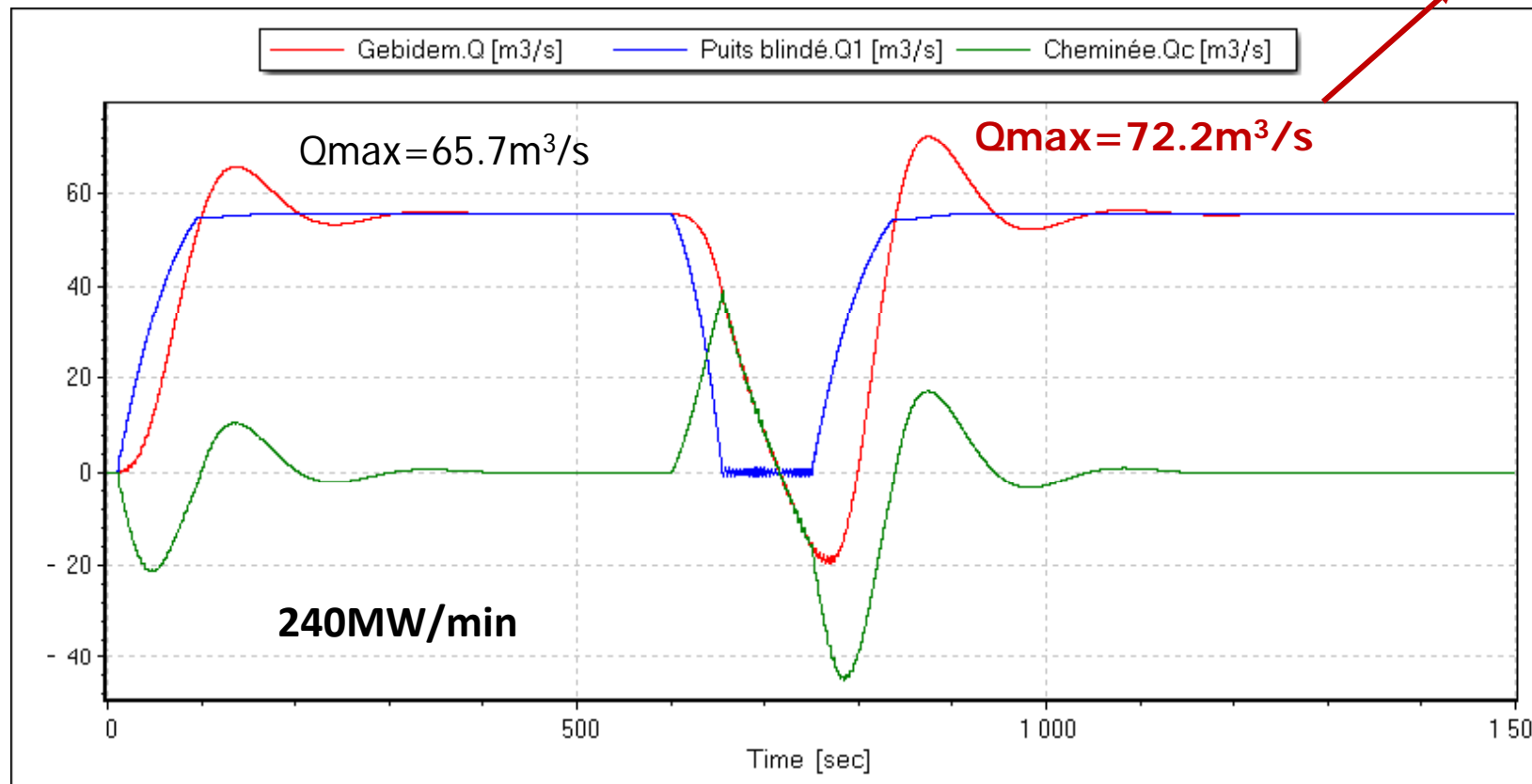
**Pas de déversement cheminée!**

**100MW/min suffisant pour Swissgrid**

# Calculs Transitoires Electra-Massa

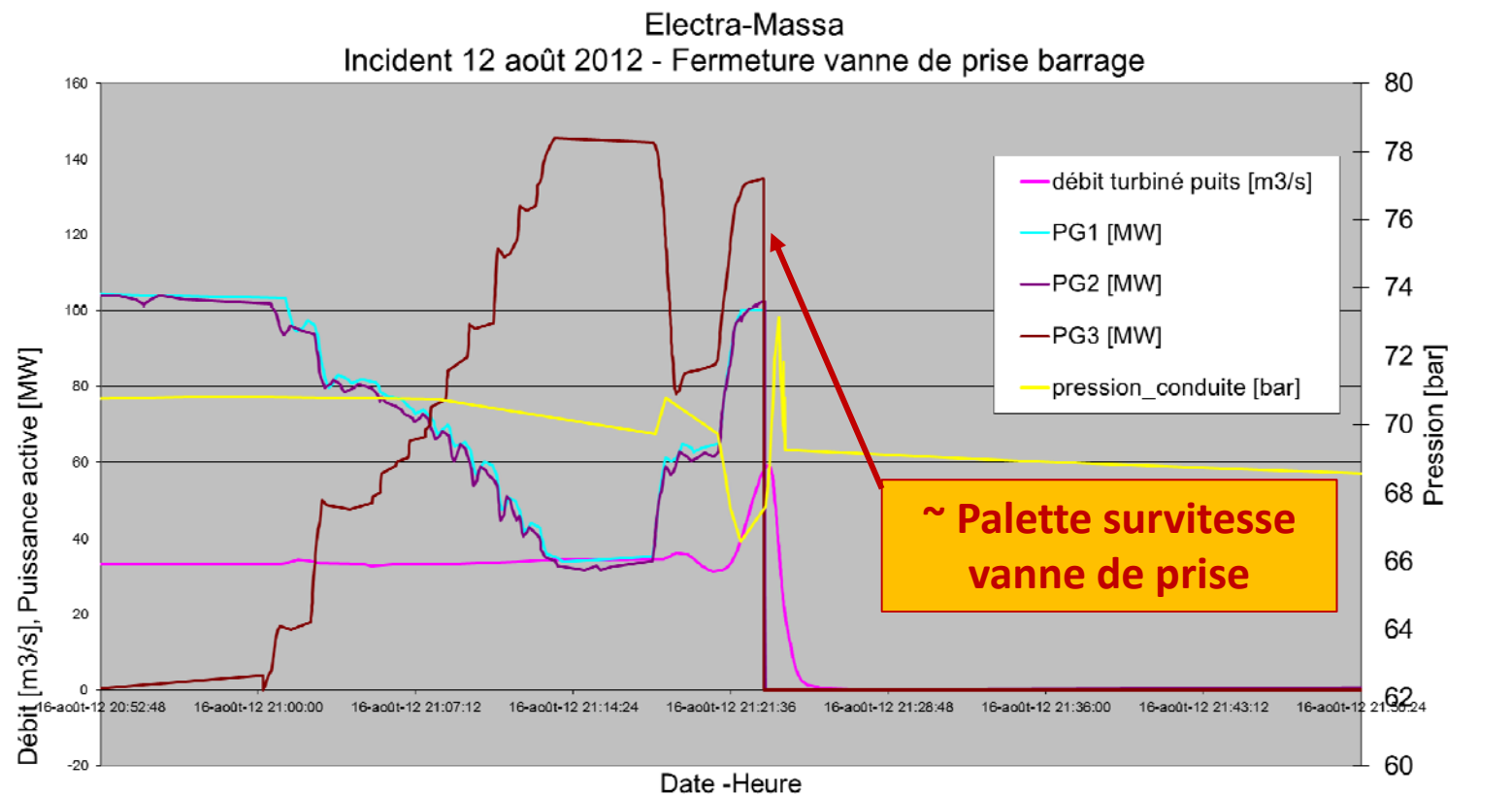
- Prise de charges successives:  
✓ 240MW/min

~ Palette survitesse  
vanne de prise  
Incident 16.8.2012



# Calculs Transitoires Electra-Massa

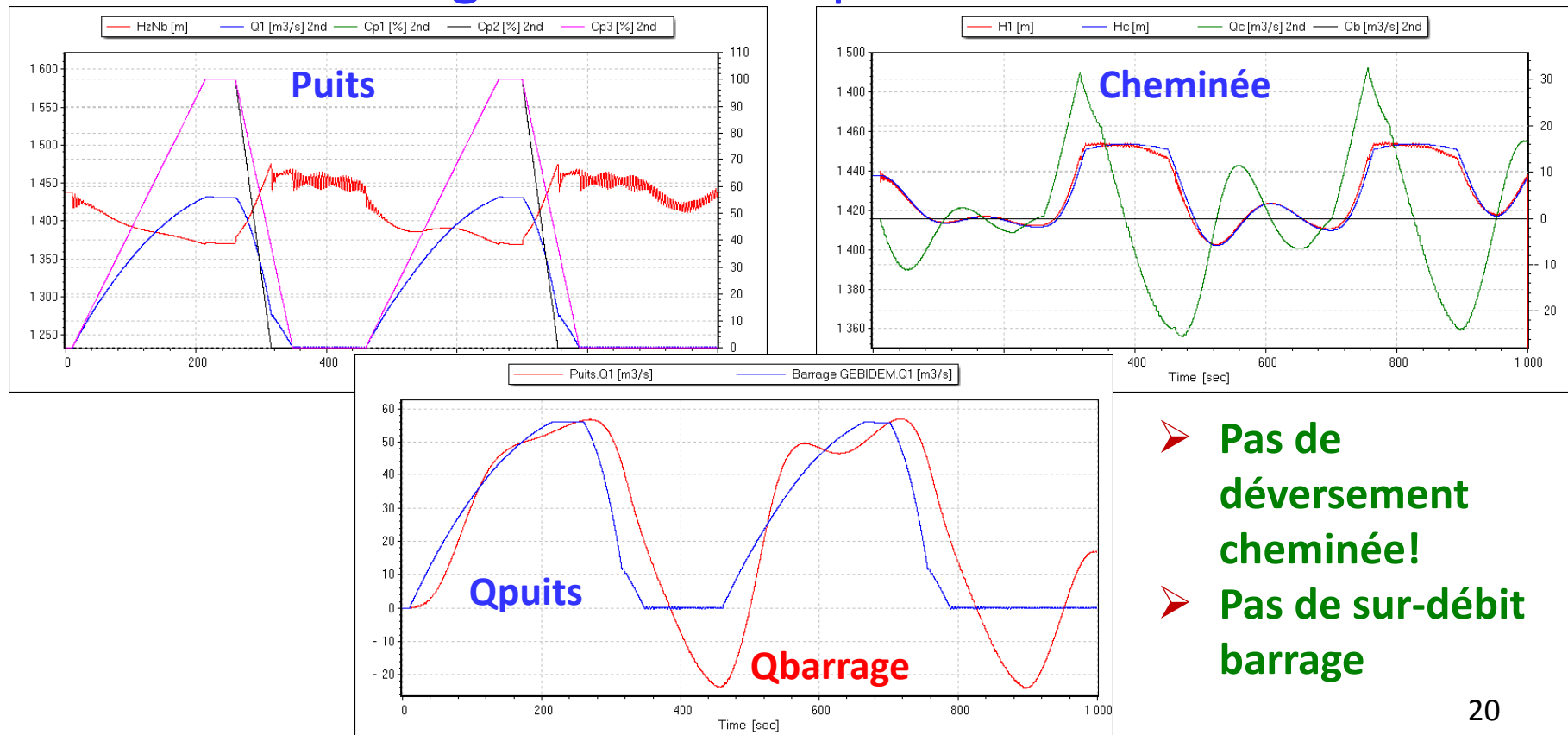
- Prise de charges successives:
  - ✓ Arrêt d'urgence fermeture vanne barrage (survitesse)



# Calculs Transitoires Electra-Massa

- Prise de charges successives:

✓ Prise de charge + baisse en phase cheminée à Zmax



- Pas de déversement cheminée!
- Pas de sur-débit barrage

# Optimisation : Pistes Possibles

- Solution possible:
  - ✓ Temps manœuvre
  - ✓ Séquencement du démarrage des groupes
  - ✓ Diaphragme
  - ✓ Augmentation volume de la cheminée
- Objectifs :
  - ✓ Pas de contraintes
  - ✓ Maximum de flexibilité
  - ✓ Solutions passives (raison de sécurité)
- Solutions retenues:
  - ✓ Electra-Massa: augmentation temps ouverture/fermeture

# Conclusions

- Changement mode exploitation (SDL, pilotage à distance, ccmde, ...) modifie sollicitation des aménagements : nécessité de redéfinir les limites de l'aménagement
- Volonté augmenter puissance et flexibilité d'un aménagement : jusqu'ou peut – on aller ? Quels paramètres doit – on ajuster ?
- Phase indispensable
  - ✓ Validation modèle : coûts, mesures à faire (infrastructure à mettre en place, ...), tests spécifiques (Au, ...)
  - ✓ Consolidation des données d'entrée, réduction incertitude, s'assurer que le modèle colle à la réalité
- Simulation numérique : outil précieux, économique et sûr afin de définir les limites d'exploitation et de sécuriser l'engagement des groupes de production d'un aménagement hydroélectrique afin de répondre aux besoins du marché de l'énergie actuel et futur



# Merci pour votre attention!

**ALPIQ**

**Alpiq Suisse SA**

Rue des Creusets 41

Case postale 125

CH - 1951 Sion

[www.alpiq.com](http://www.alpiq.com)

[eric.vuignier@alpiq.com](mailto:eric.vuignier@alpiq.com)

 **Power Vision** *Engineering*

**Power Vision Engineering Sàrl**

1, ch. Des Champs-Courbes

CH-1024 Ecublens

Switzerland 

[www.powervision-eng.ch](http://www.powervision-eng.ch)

[christophe.nicolet@powervision-eng.ch](mailto:christophe.nicolet@powervision-eng.ch)