

6^{ème} Rencontre de l'hydroélectricité Bourgogne Franche-Comté

Nuits-Saint-Georges, 12 octobre 2018

Prise en compte de la variabilité de l'hydrologie des
cours d'eau dans les études de faisabilité technique et
économique en hydroélectricité



BUREAU D'ÉTUDES **JACQUEL & CHATILLON**

Environnement et Energies

www.be-jc.com

Estimation du potentiel hydroélectrique

o Formule de calcul

$$P_N = \rho \cdot g \cdot \eta \cdot Q \cdot \Delta H_N$$

$$E = P_N \cdot \Delta t$$

- ✓ P_N la puissance électrique produite en kW
- ✓ $\rho = 1\text{t}/\text{m}^3$ la masse volumique de l'eau
- ✓ $g = 9.81\text{ m}/\text{s}^2$ la constante gravitationnelle
- ✓ η le rendement de l'installation
- ✓ Q le débit turbiné en m^3/s
- ✓ ΔH_N la hauteur de chute nette en mètres
- ✓ E l'énergie produite en kWh sur un intervalle de temps Δt (en heures)

Estimation du potentiel hydroélectrique

o Méthodologie générale

- ✓ Etudier les énergies productibles sur une durée suffisante
- ✓ Ne pas utiliser les débits mensuels
- ✓ Débits classés utilisables en première approche uniquement
- Préconisation : utiliser les débits journaliers moyens sur plusieurs années (en général 10)
- ✓ Appréhender les variations de débit à l'échelle annuelle ou saisonnière

o Incertitudes au stade AVP

- ✓ Principalement concentrées sur la hauteur de chute et l'hydrologie, sur le rendement dans une moindre mesure
- ✓ Tous les paramètres sont liés entre eux
- ✓ Autres incertitudes au stade AVP : valeur du débit réservé, ouvrages de continuité écologique, modalités de gestion des ouvrages, fuites, autres usages, etc.

Données hydrologiques

o Données hydrologiques

- ✓ Fournies par la Banque Hydro
- hydro.eaufrance.fr
- ✓ Site internet vigicrues ou hydroreel pour les débits instantanés


o Incertitudes sur l'hydrologie

- ✓ Vérifier la fiabilité des données
- ✓ Variabilité interannuelle de l'hydrologie
- ✓ Evolution liée au changement climatique, à l'occupation du bassin versant, etc.

o Choix des années pour l'étude de production

- ✓ Retenir des années complètes (ou presque) et récentes
- ✓ S'assurer que les années utilisées sont des années « moyennes »

30/09/2018 HYDRO - Station



Hydro > Accueil > Recherche > Visualisation des données > Station

Stations : [Tout décocher](#) / [cocher](#)
 U1334010 L'Ouche à Trouhans

Procédures :
 FICHE-STATION ?
 QJM ?
 ENTREE ?
 SYNTHESE ?
 TOUSMOIS ?
 VCN-QCX ?
 QMNA ?
 VCN-QCX ?
 CRUCAL ?
 QTFX ?
 QTVAR ?
 H-TEMPS ?

PRESENTATION DE LA STATION HYDROMETRIQUE

L'Ouche à Trouhans

Code station : U1334010 Producteur : DREAL Bourgogne
 Bassin versant : 902 km² E-mail : Marc.Phippe@developpement-durable.gouv.fr

Description	Données hydrologiques
Département : Côte-d'Or (21) Commune : Trouhans Cours d'eau : L'Ouche Mise en service : 01/07/1967 12:00 Mise hors service : Type : station à une échelle Statut : station avec signification hydrologique Régime influencé : pas ou faiblement Altitude : 183 m Bassin-versant topographique : 902 km²	Finalité : Hydrométrie générale Année hydrologique : Septembre - Août Loi utilisée pour le module : Gauss Année d'étiage : Janvier - Décembre Loi utilisée pour les étiages : Galton Loi utilisée pour les crues : Gumbel Qualité globale des mesures : en basses eaux : douteuse en moyennes eaux : bonne en hautes eaux : bonne

Z. éch. (m)	Nivellement	Du	Au
183.07	NGF 1884	01/07/1967 12:00	09/06/1977 00:00
183.23	IGN 69	09/06/1977 00:00	

Localisation

Commentaires : LE 25/02/2009 MISE EN PLACE CPL 2449 RADAR BEGA PLUS61 0-5,00M 16201274- GSM-POTEAU GIROD-PASSAGE EN TU NIVELLEMENT ECHELLE LE 02/03/2012 ALT IGN69 183.227M

X (m)	Y (m)	Tronçon Hydro	pKm	Du	Au
823074	2243413	U1334010		01/07/1967 12:00	

Données disponibles

Année	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	
Débit	XXX																						
Hauteur	XXX																						
Année	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
Débit																							
Hauteur																							
Année	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018															
Débit							XXX																
Hauteur																							

Débits journaliers
 □ absents □ validés douteux
 ■ provisoires ■ validés bons
 ■ invalidés

http://hydro.eaufrance.fr/presentation/procedure.php

Données hydrologiques

○ Interpolation des débits

- ✓ Sites souvent non jaugés, nécessitant une interpolation des débits en fonction du bassin versant drainé
- ✓ Présence d'affluents importants, résurgence ou karst
- ✓ Sur des sites éloignés des stations, éventuellement procéder à des mesures complémentaires pour différents débits du cours d'eau
- Guide de l'Onema « Contrôle des débits réglementaires » sur la mesure des débits

Données du projet

○ Incertitudes sur la hauteur de chute

- ✓ Différencier chute brute et chute nette, anticiper les pertes de charge
- ✓ Réaliser plusieurs mesures, pour différents débits du cours d'eau
- ✓ Appréhender les modifications qui seront apportées par le projet
- ✓ Evolution du transport solide (atterrissement, incision)

○ Incertitudes sur l'installation

- ✓ Aménagements annexes (continuité écologique, ouvrages mobiles)

[Coût des Passe à bassins => 50 % entre 133 et 212 €/m de chute / l/s dans la passe (Onema 2015)

Passe de 250 l/s sous 2 m de chute ~ 95 000 €]

- ✓ Valeur du débit réservé
- ✓ Rendement des machines (à pleine charge, à charge partielle)

➔ Prendre des marges de sécurité (3 à 5% dans le cas de données de base complètes et valides)

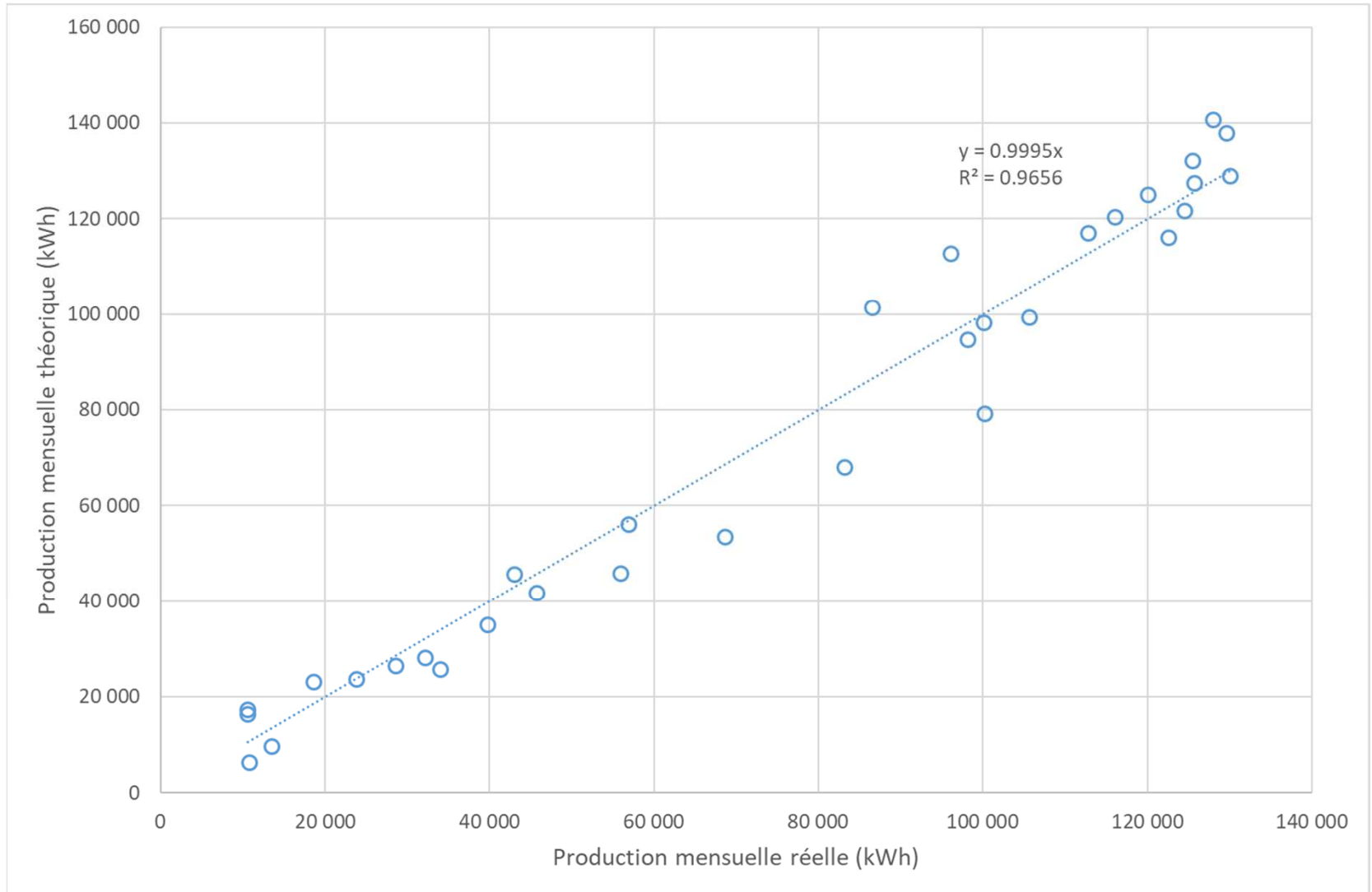
Exemple de Briennon-sur-Armançon (89)

- Données du site
 - ✓ Site existant, déjà en fonctionnement
 - ✓ Trois turbines en place
 - ✓ 2 turbines Francis en dérivation, 1 vis hydraulique en barrage
 - ✓ Hauteur de chute connue

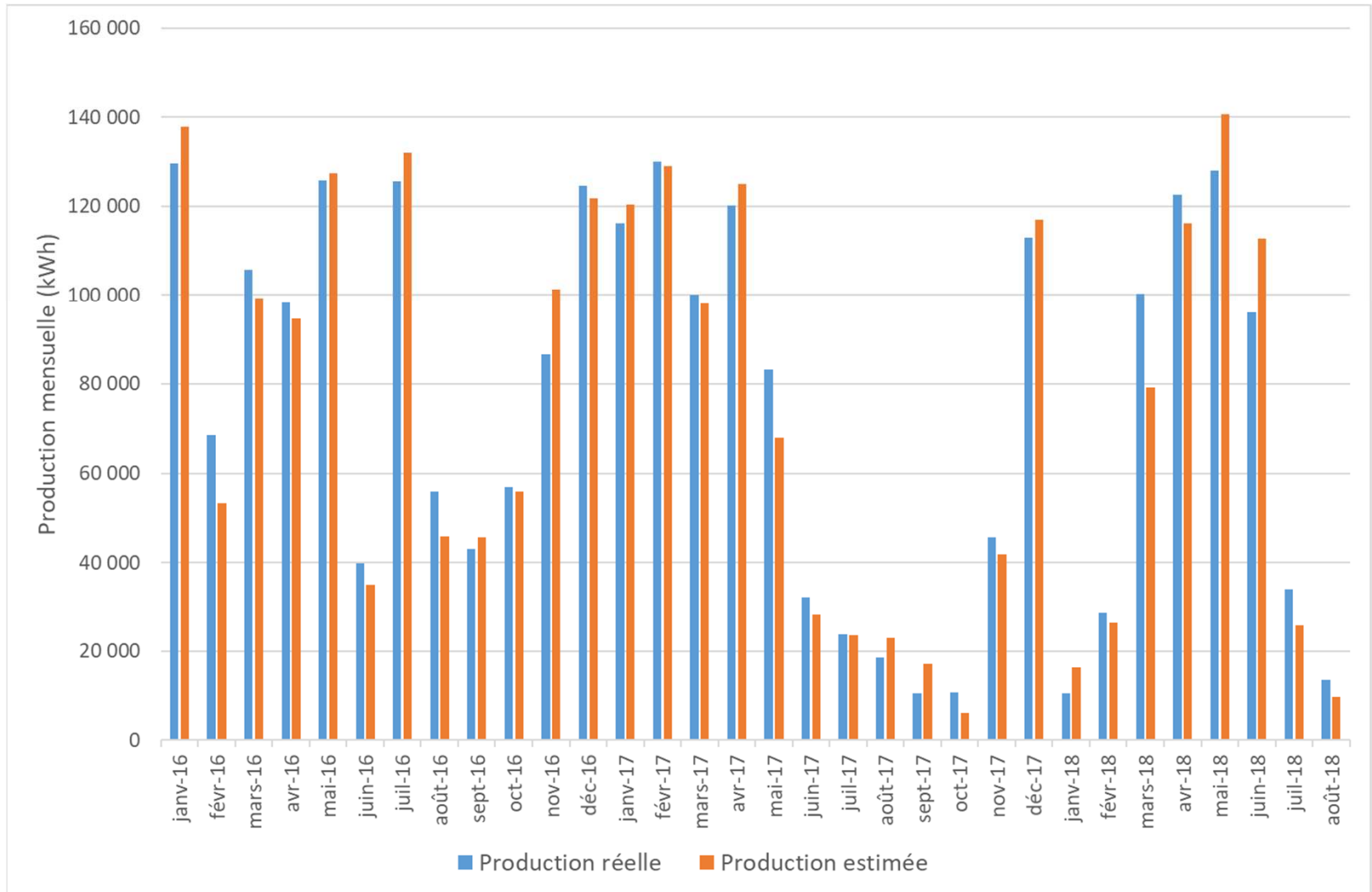
- Incertitudes sur l'hydrologie
 - ✓ Station hydrométrique en aval immédiat de l'installation
 - ✓ Incertitudes assez limitées

- Productions mensuelles connues pour 2016 - 2018

Exemple de Briennon-sur-Armançon (89)



Exemple de Briennon-sur-Armançon (89)



Exemple de Briennon-sur-Armançon (89)

- En moyenne, les productions mensuelles sont bien modélisées

- Même avec tous les éléments de calculs, il reste des aléas non prévisibles
 - ✓ Pertes de charge au niveau des grilles (colmatage des grilles, tartre, dysfonctionnement du dégrilleur)
 - ✓ Formation de tartre sur la vis

- Site assez compliqué à modéliser
 - ✓ Plusieurs turbines, gestion plus compliquée, basculement d'une turbine à l'autre
 - ✓ 2 lois de tarage distinctes, au barrage et dans le canal

- Site atypique
 - ✓ Production très faible en janvier-février 2018 malgré une hydrologie importante
 - ✓ En hautes eaux la production diminue (forte remontée aval)

Limiter la variabilité de production interannuelle

o Choix du type de turbine

- ✓ Certaines turbines ont un rendement dégradé à charge partielle et s'adaptent moins bien à des hydrologies variables (Ex : Francis basse chute)
- ✓ Solutions ichtyocompatibles, avec rendements souvent plus faibles mais sans débit de dévalaison
- ✓ Coût de la turbine et/ou du génie civil associé

o Nombre de turbines

- ✓ 2 turbines plus petites => débit d'armement diminué et meilleure production en basses eaux (turbines identiques ou $2/3 + 1/3$)
- ✓ Investissement plus important

o Choix du débit d'équipement

- ✓ En général, un débit d'équipement élevé augmente la production mais est souvent associé à une plus grande variabilité interannuelle
- ✓ Incidence sur le débit d'armement
- ✓ Incidence possible sur le débit réservé (long tronçon court-circuité)

Limiter la variabilité de production interannuelle

- Implantation en barrage (sans tronçon court-circuité)
 - ✓ Débit prioritaire sur le turbinage assez faible, donc production assez stable
 - ✓ Chute plus faible dans la plupart des cas
 - ✓ Implications possibles sur les aménagements de continuité écologique (attractivité)

- Choix d'aménagement
 - ✓ Recherche d'une forte puissance => fortes productions en année favorable, grande variabilité d'une année à l'autre, investissements plus élevés
 - ✓ Recherche de stabilité de la production => plutôt sous-équiper, rechercher le turbinage des faibles débits

- Non exhaustif, à adapter en fonction du site

Exemple sur l'Ouche

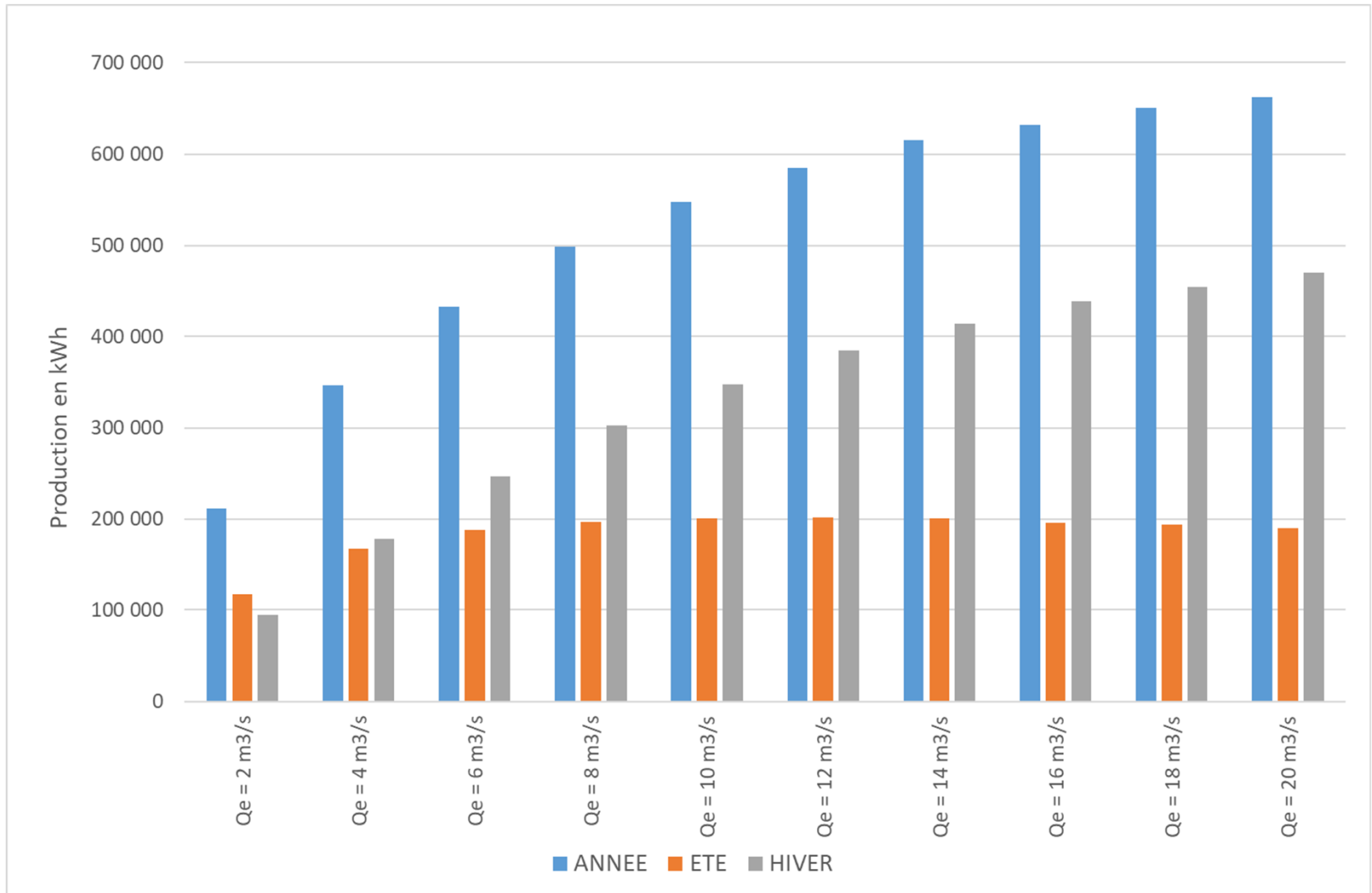
- Exemple basé sur l'hydrologie de l'Ouche à Trouhans (21)
 - ✓ Années 2008 à 2017
 - ✓ Hydrologie interpolée pour un débit moyen de 10.0 m³/s
 - ✓ Débit moyen : Eté 6.2 m³/s, Hiver 15.4 m³/s

- Hauteur de chute
 - ✓ Chute nette en très basses eaux de 2.2 m en canal, 2.0 m au barrage
 - ✓ Diminution de 10 cm par tranche de 5 m³/s

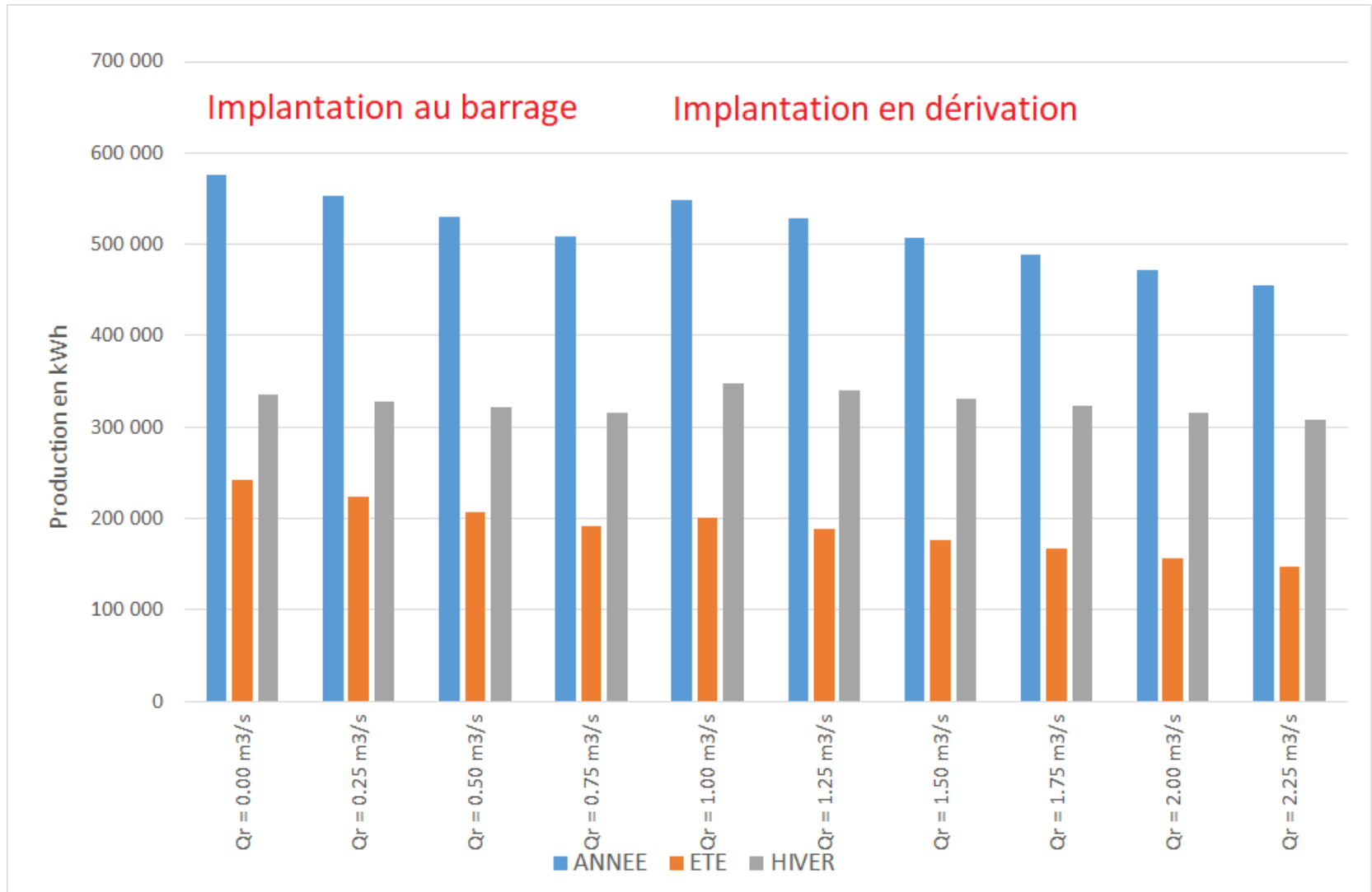
- Etude de différents scénarios
 - ✓ Choix de l'équipement, Débit d'équipement, Débit réservé, Tarif d'achat, etc.

- Exemple
 - ✓ Site hydroélectrique fictif
 - ✓ Il n'existe pas de site « typique »
 - ✓ Pas exhaustif

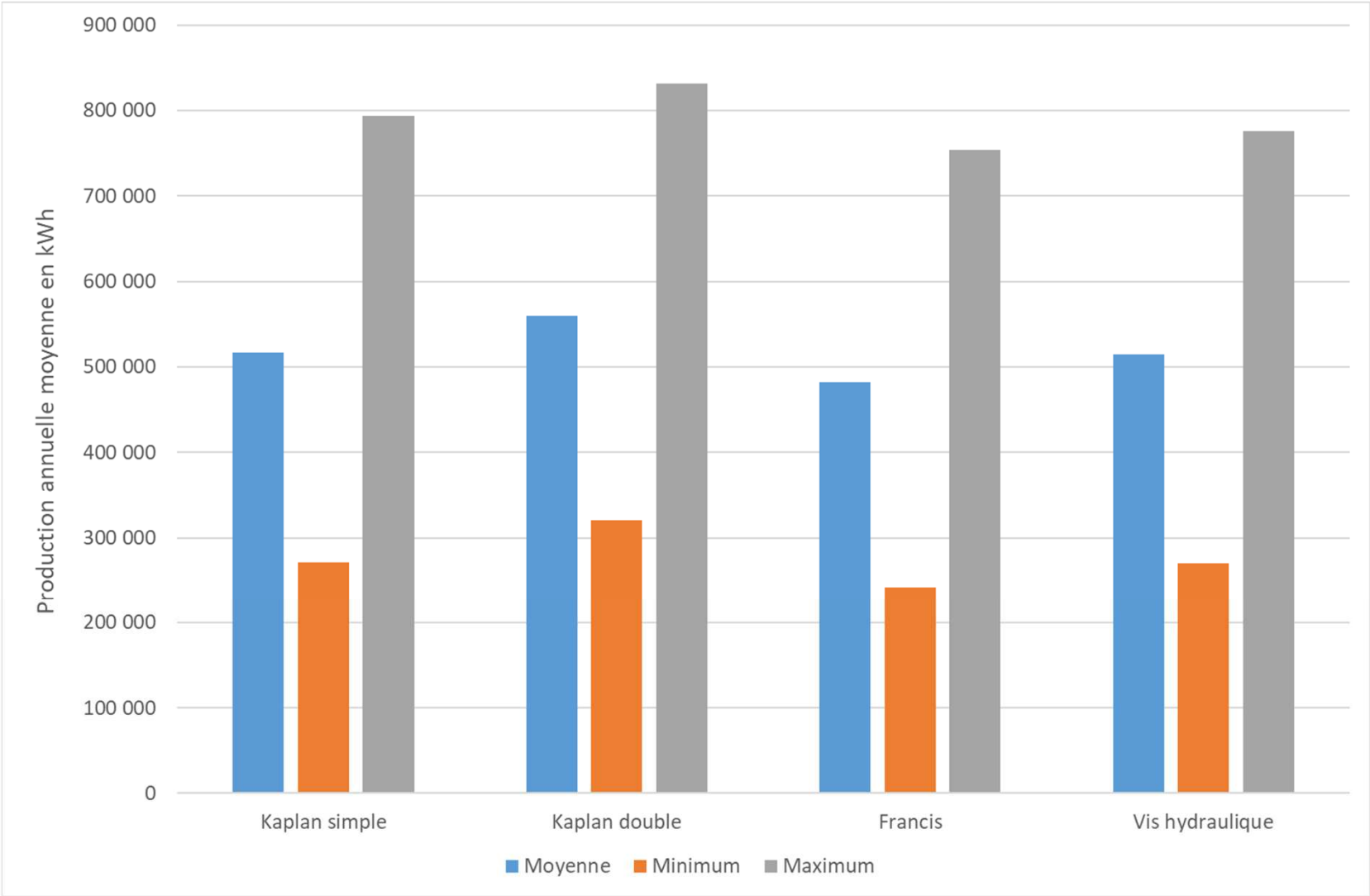
Effet du débit d'équipement



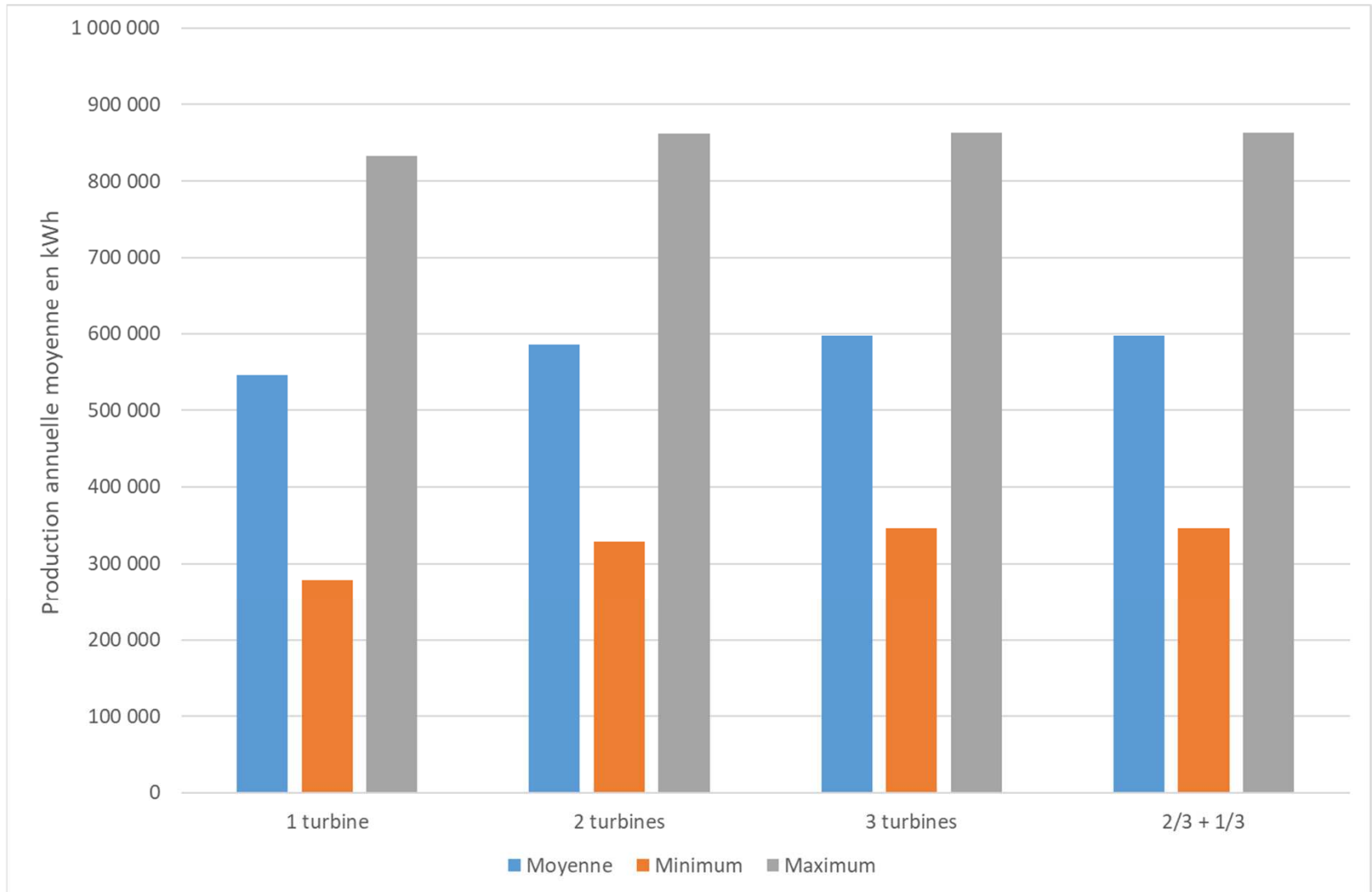
Effet du débit réservé



Choix de la turbine



Nombre de turbines



2 scénarios d'aménagement différents

○ Scenario 1

- ✓ Implantation au barrage
- ✓ Turbine Kaplan double réglage (rendement de 80 %)
- ✓ $Q_e = 16 \text{ m}^3/\text{s}$
- ✓ $Q_r = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (dont passe à poissons de 400 l/s au barrage) + 600 l/s de dévalaison

○ Production moyenne annuelle 591 000 kWh

- ✓ Été : 33 %
- ✓ Hiver : 67 %

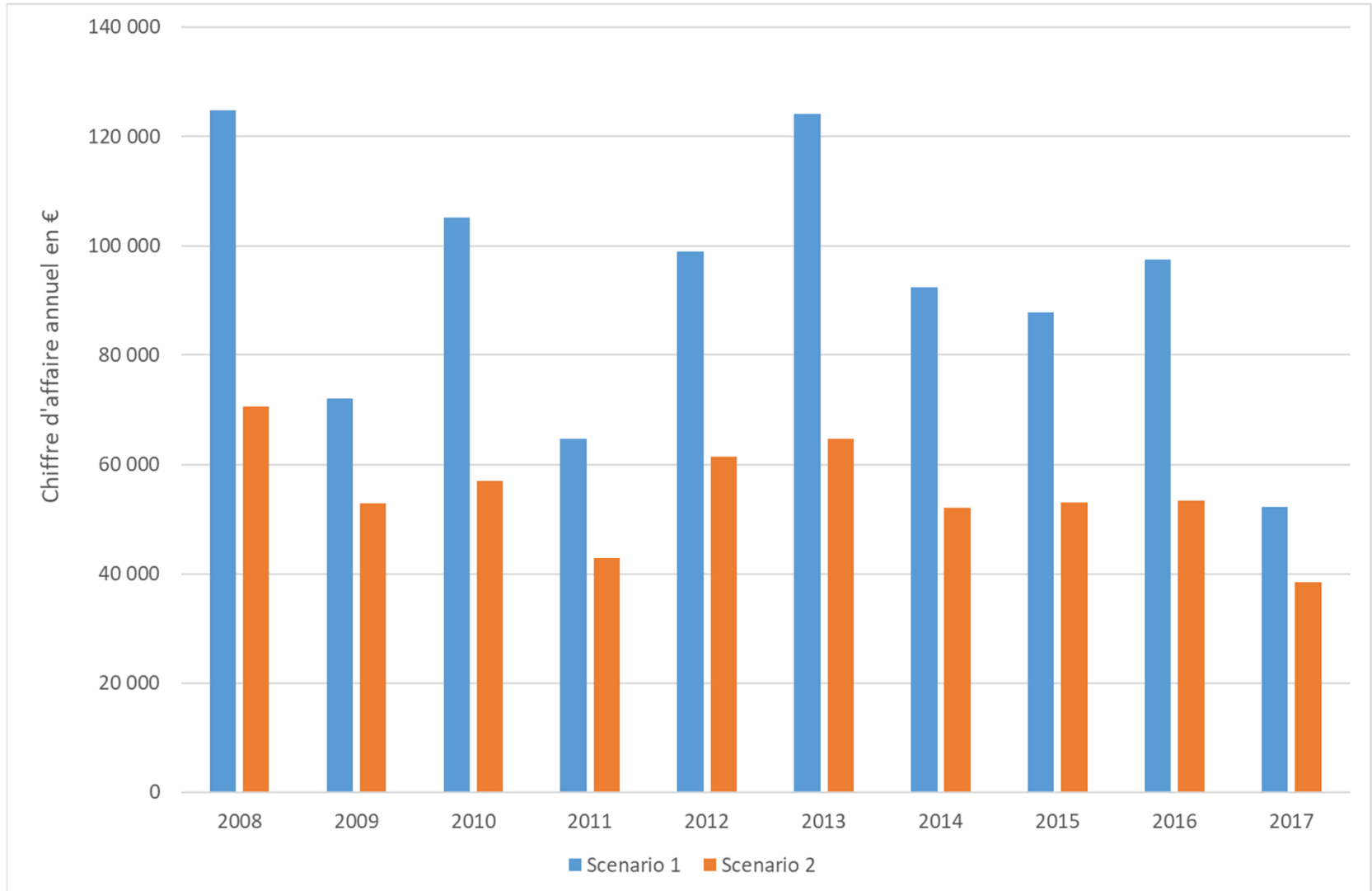
○ Scenario 2

- ✓ Implantation en dérivation
- ✓ Vis hydraulique à vitesse fixe (rendement de 75 %)
- ✓ $Q_e = 6 \text{ m}^3/\text{s}$
- ✓ $Q_r = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (dont passe à poissons de 400 l/s au barrage)

○ Production moyenne annuelle 374 000 kWh

- ✓ Été : 44 %
- ✓ Hiver : 56 %

2 scénarios d'aménagement différents



Conclusions

- La production hydroélectrique reste assez prédictible
 - ✓ Malgré un certain nombre d'incertitudes et une forte variabilité interannuelle des débits, la prédictibilité sur le long terme (à minima 10 ans) est satisfaisante
 - ✓ Nombreux paramètres très liés les uns aux autres qu'il convient d'étudier en détail
 - ✓ Certains choix d'aménagement permettent de limiter la variabilité de production

- Etude de faisabilité-rentabilité
 - ✓ Etudier plusieurs scénarios d'équipement et d'implantation (si le site s'y prête)
 - ✓ Etudier la production attendue, mais aussi la sensibilité à l'hydrologie (variabilité d'une année à l'autre, année sèche, année humide)
 - ✓ Anticiper les aménagements annexes qui représentent souvent un coût important et qui ont des répercussions sur le débit turbinable



BUREAU D'ÉTUDES JACQUEL & CHATILLON

Environnement et Energies

www.be-jc.com

- Bureau d'études local
 - ✓ Trois agences dans le Grand-Est (Vosges, Meurthe et Moselle, Marne)
- Grande expérience en hydraulique, en environnement et en hydroélectricité
 - ✓ Nombreux projets, réalisés ou en cours, à l'échelle nationale (dont plus d'une vingtaine en Bourgogne Franche-Comté ces 5 dernières années)
 - ✓ Equipe pluridisciplinaire
- Contact

Bruno Chatillon, responsable hydroélectricité
09.61.41.06.63 – 06.08.51.51.70
b.chatillon@be-jc.com