

**RECHERCHE D'OPTIMISATION DES CENTRALES HYDRO-
ELECTRIQUES**

par

Denis NOURRY

Bureau d'études NOURRY GÉO-ENVIRONNEMENT

25340 Gondenans Montby

03 81 88 45 58

Contact : denis.nourry@laposte.net

RECHERCHE D'OPTIMISATION DES CENTRALES HYDRO-ELECTRIQUES

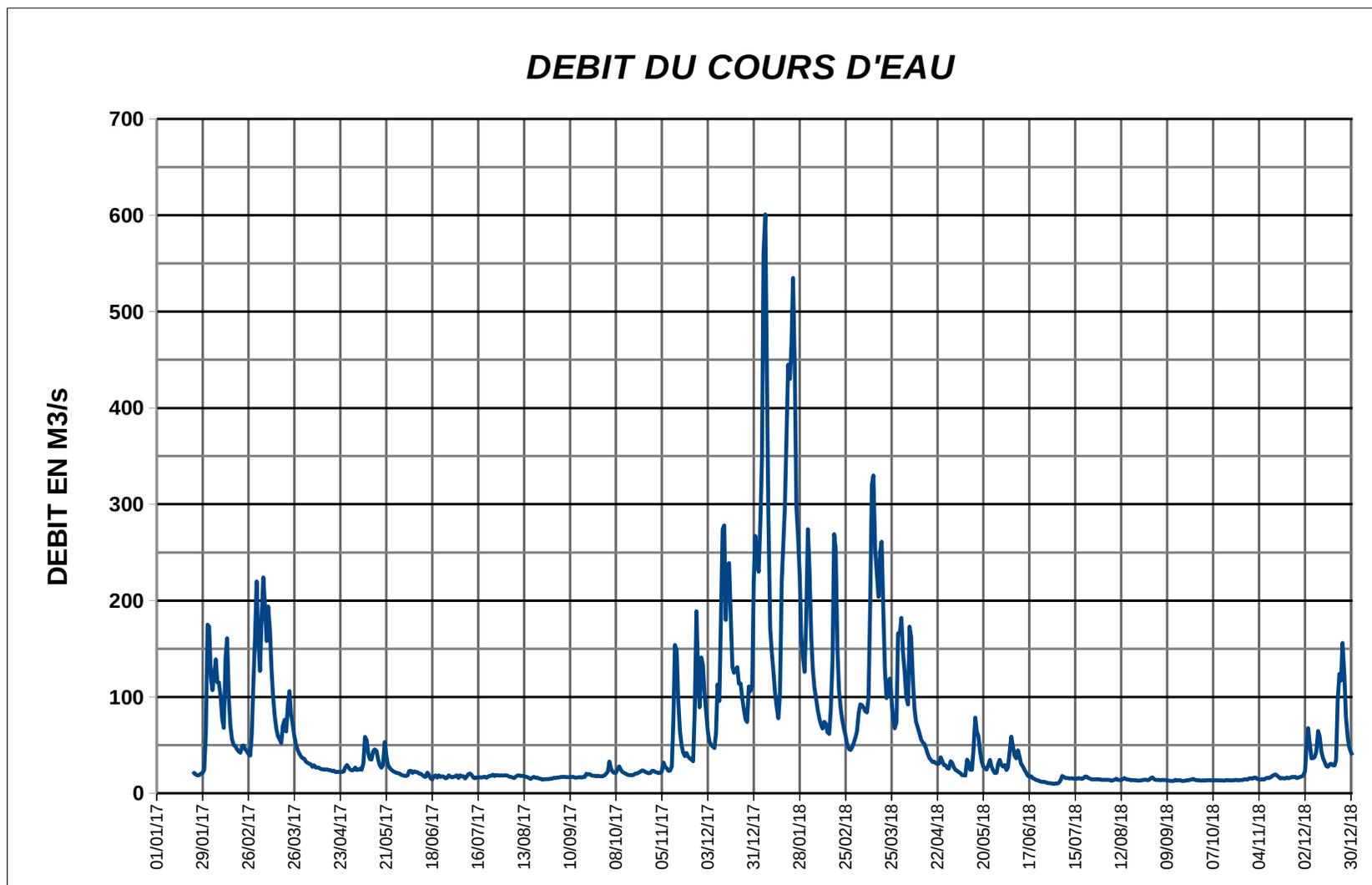
Et les mathématiques dans tout ça !

LE BUT DE CETTE PRESENTATION EST DE PROPOSER UNE METHODE SIMPLE PERMETTANT DE VERIFIER LE BON FONCTIONNEMENT OU NON D'UNE INSTALLATION **INDEPENDAMMENT** DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES ANNUELLES.

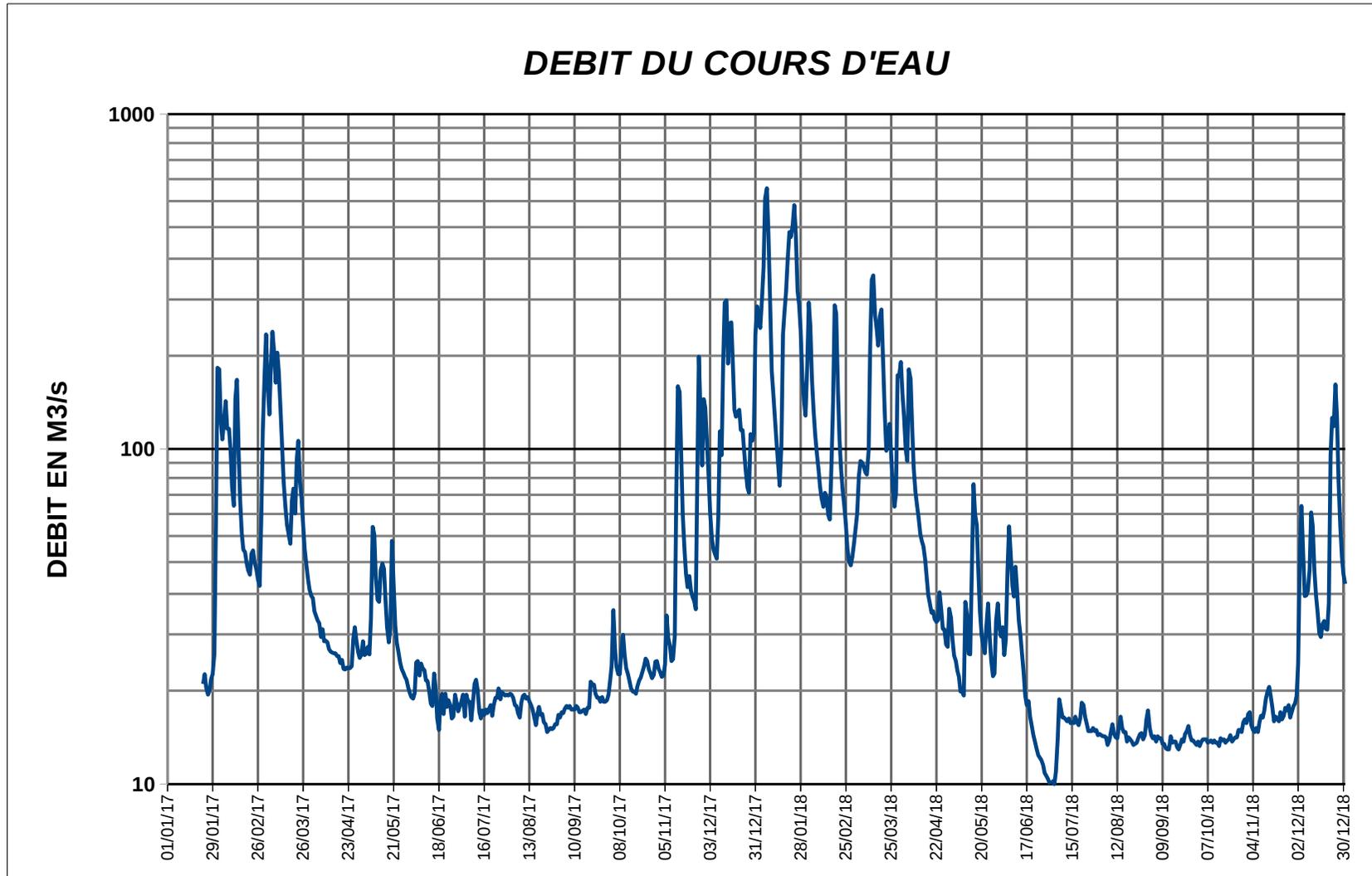
ET PAR LA SUITE DE POUVOIR QUANTIFIER ET CONTROLER (en kWh/an) LES AMELIORATIONS DU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION.

A/ PRESENTATION DES DONNEES DE BASE.

HYDROLOGIE – échelle métrique.



- échelle logarithmique.



Et si on a pas de station hydrologique proche... On verra ce que l'on peut faire à la fin de l'exposé.

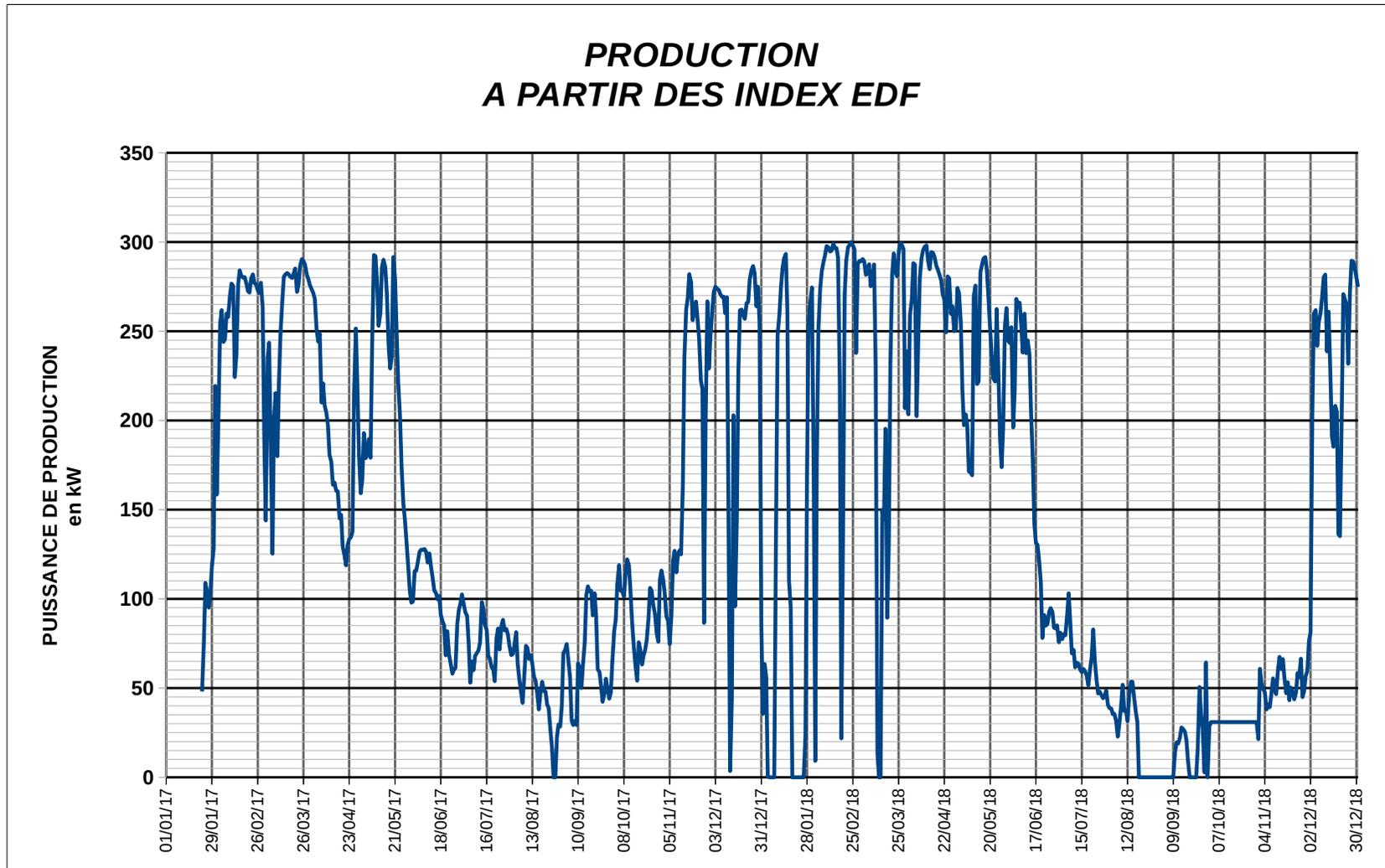
INDEX DE PRODUCTION - EDF

Un exemple de données -

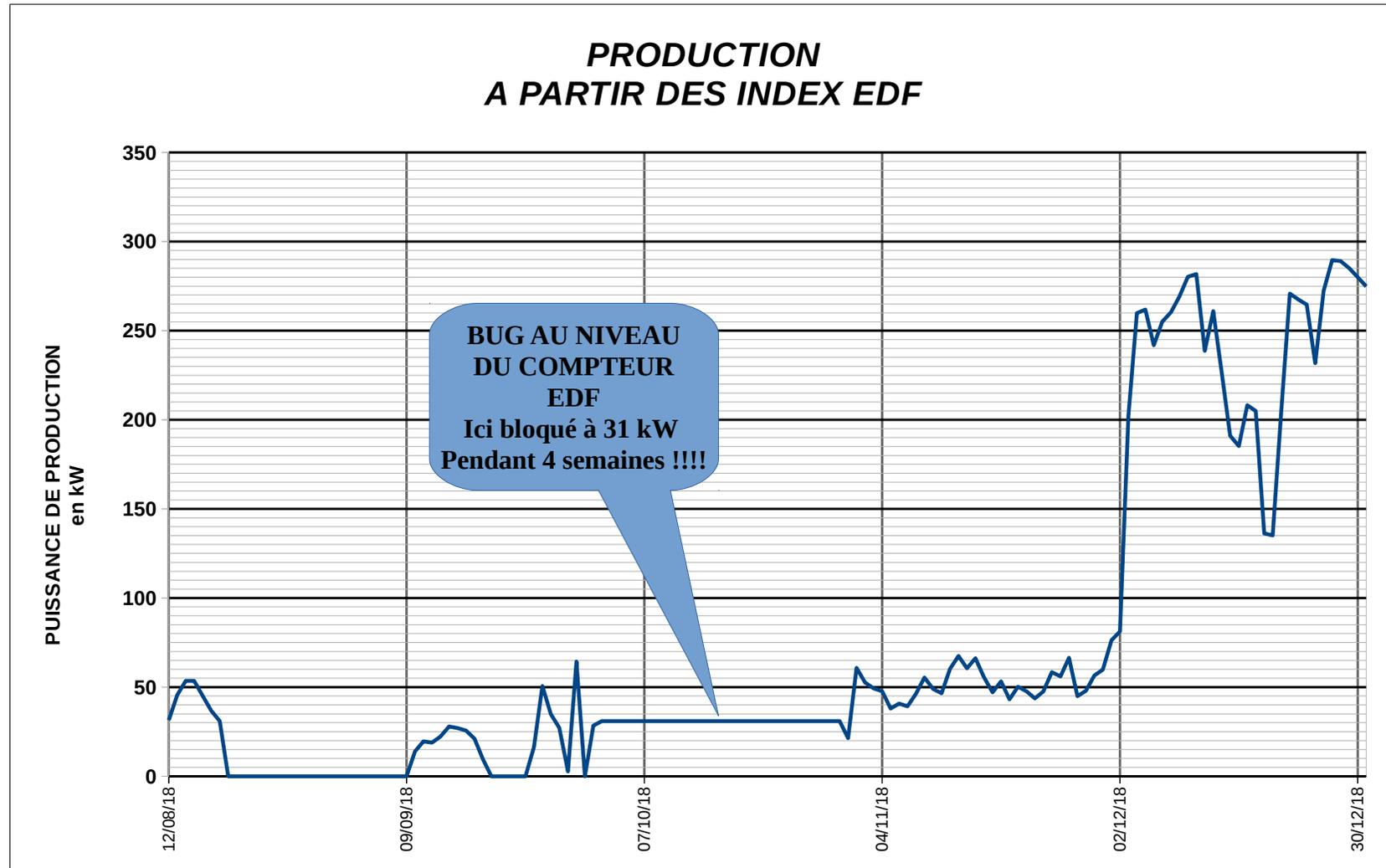
01/01/2018 02:00	21	20	20	21	20	19
01/01/2018 03:00	20	20	18	20	19	19
01/01/2018 04:00	19	19	18	19	19	19
01/01/2018 05:00	18	19	18	19	19	18
01/01/2018 06:00	19	19	19	19	19	20
01/01/2018 07:00	19	20	20	20	21	16
01/01/2018 08:00	18	22	22	22	23	24
01/01/2018 09:00	23	24	25	25	25	27
01/01/2018 10:00	26	27	28	28	29	28
01/01/2018 11:00	30	30	30	29	31	31
01/01/2018 12:00	32	32	32	33	34	34
01/01/2018 13:00	34	35	35	37	37	38
01/01/2018 14:00	37	38	39	40	39	40
01/01/2018 15:00	41	42	41	43	43	43
01/01/2018 16:00	37	42	46	45	47	46
01/01/2018 17:00	48	48	48	49	48	50
01/01/2018 18:00	49	50	51	51	52	52
01/01/2018 19:00	53	53	53	53	54	55
01/01/2018 20:00	55	57	56	58	58	58
01/01/2018 21:00	57	59	59	60	59	60
01/01/2018 22:00	61	61	61	61	62	62
01/01/2018 23:00	62	62	63	62	63	63
02/01/2018 00:00	63	56	61	64	64	64
02/01/2018 01:00	65	64	65	65	65	66
02/01/2018 02:00	66	66	66	67	67	67

On peut aussi se baser sur les données collectées par l'automate de l'installation.

Production mise en forme sur un diagramme.

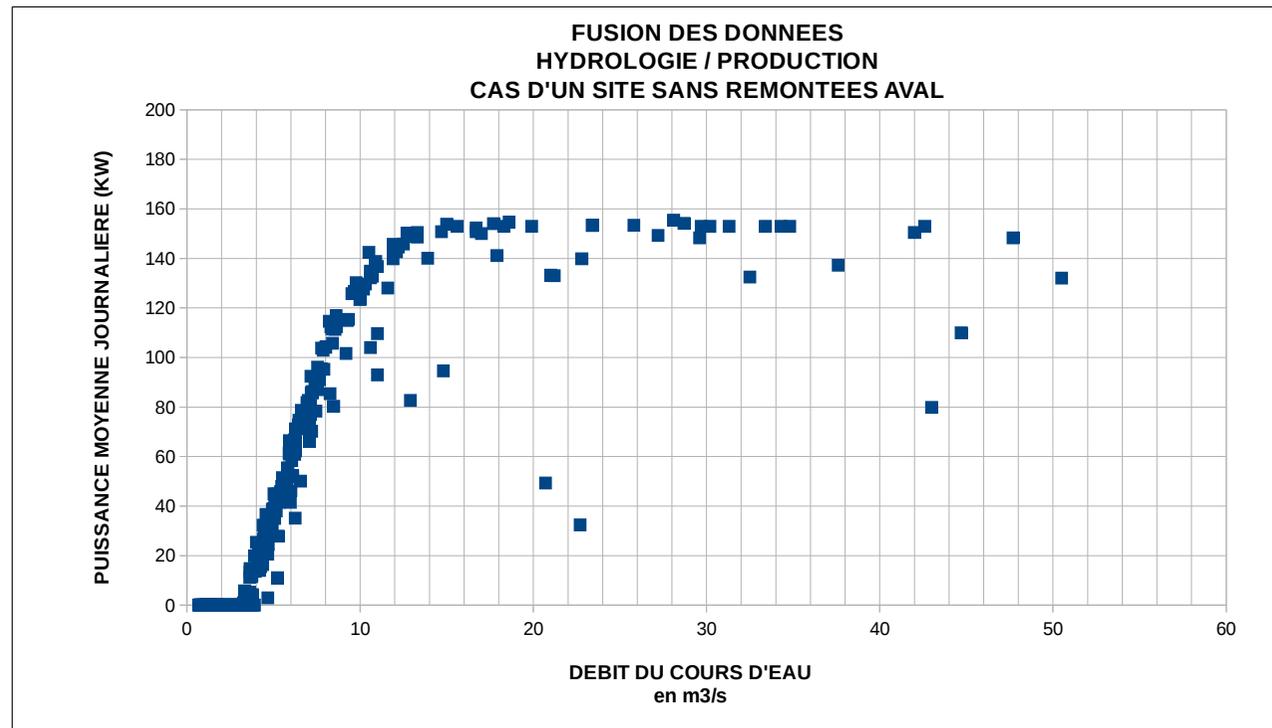


ZOOM



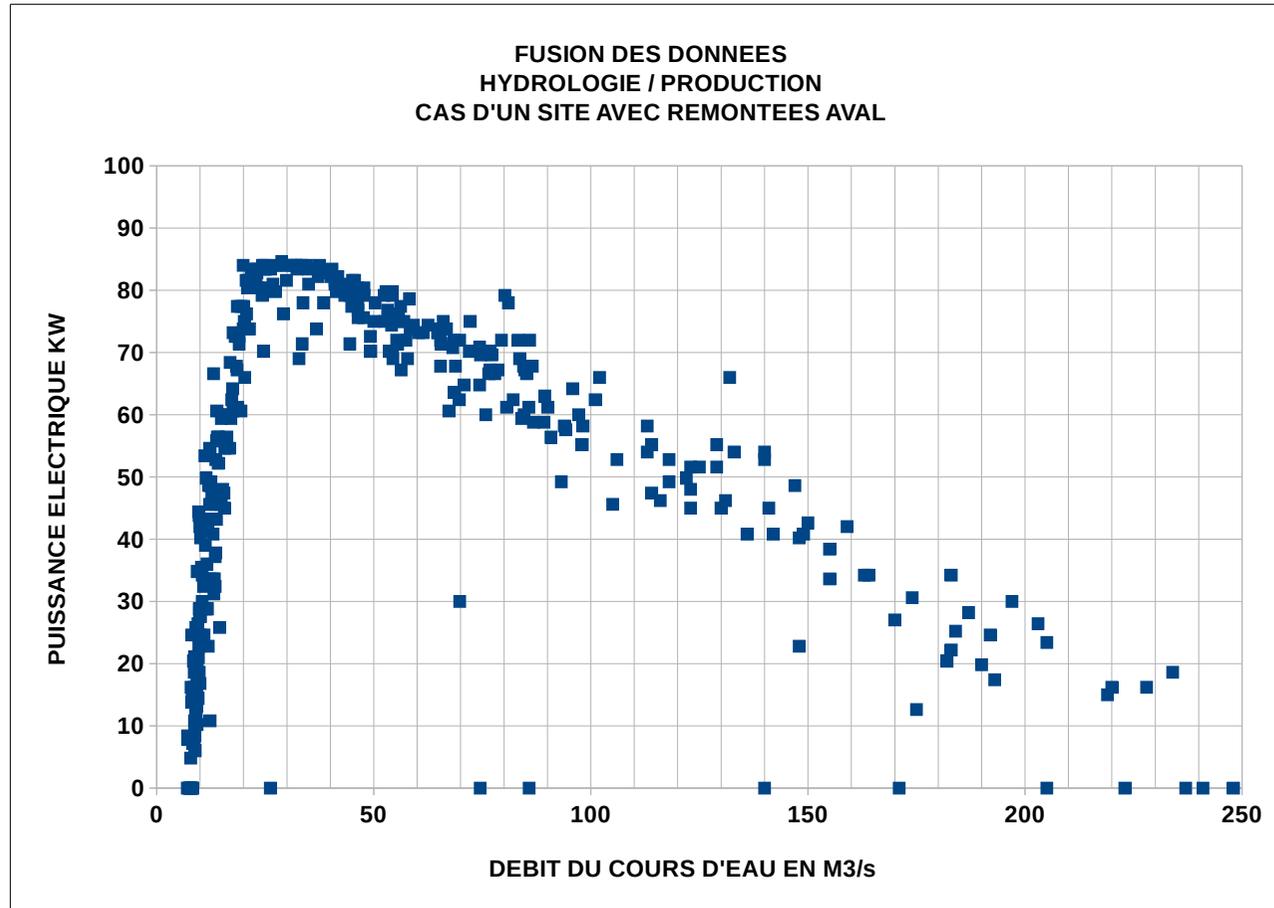
B/ FUSION DES DONNEES DE BASE.

A CHAQUE POINT CORRESPOND : UNE DATE / LE DEBIT DU COURS D'EAU A CETTE DATE / LA PUISSANCE ELECTRIQUE MOYENNE JOURNALIERE A CETTE DATE



LES POINTS SONT PEU DISPERSÉS PAR RAPPORT A UNE COURBE MOYENNE CE QUI INDIQUE QUE LES AUTOMATISMES SONT BIEN "REPÉTITIFS"

UN AUTRE SITE, LES POINTS SONT PLUS DISPERSÉS MAIS LE DIAGRAMME DE PRODUCTION RESTE QUAND MEME LISIBLE.



**CAUSES : SOIT DES AUTOMATISMES MOINS FIABLES.
SOIT DES DONNÉES HYDROLOGIQUES MOINS PROCHEs DU SITE.
SOIT**

LE SITE DE RAY SUR SAONE

1 TURBINE SIMPLE REGLAGE (HELICE) DE 20 m³/s

+ 1 TURBINE DOUBLE REGLAGE (KAPLAN) DE 10 m³/s

PLUSIEURS PROBLEMES IDENTIFIES PAR L'EXPLOITANT :

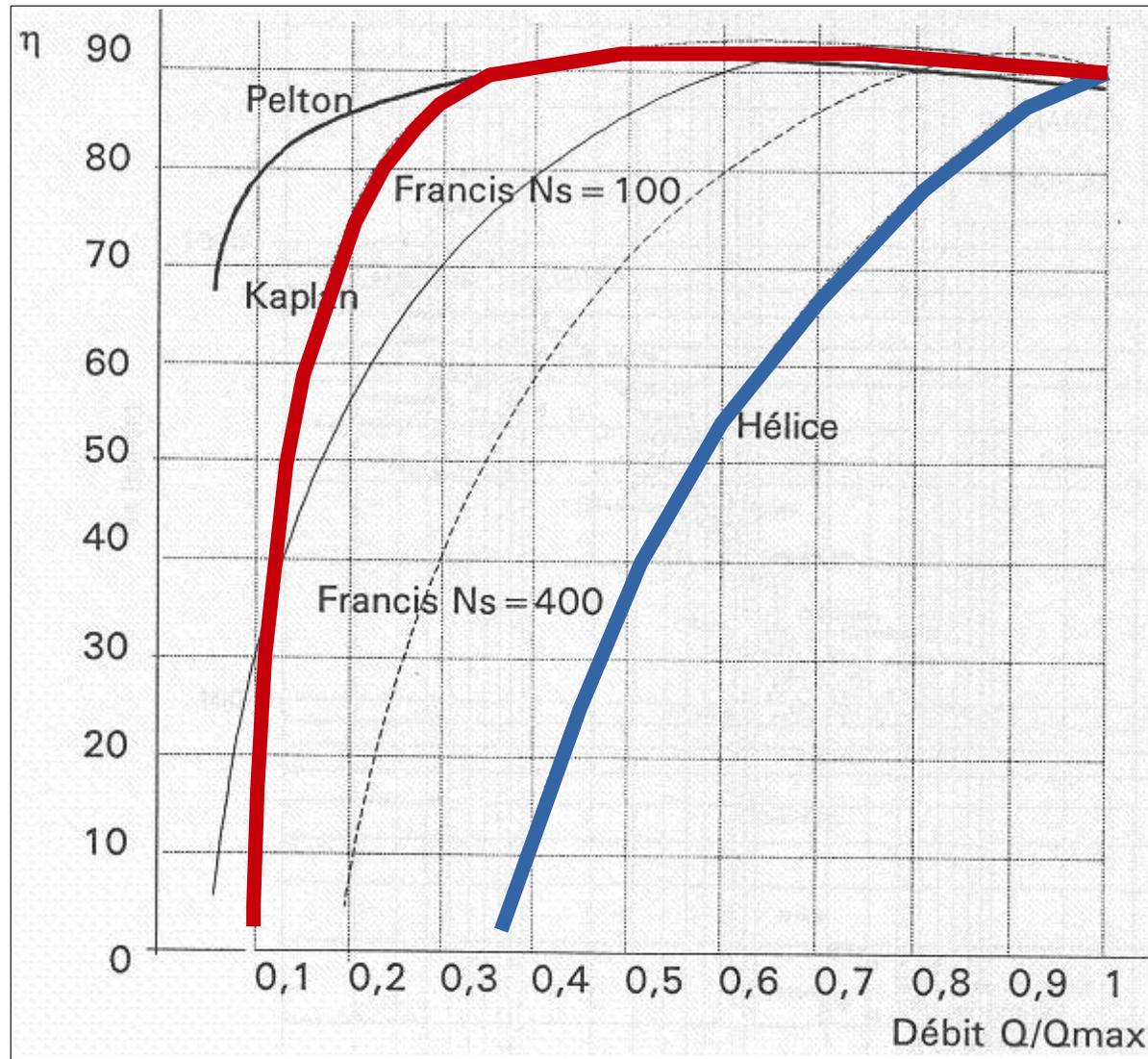
CAPTEUR AMONT PEU FIABLE

*FONCTIONNEMENT ANORMAL
DES DEUX TURBINES EN BASSES EAUX.*

*PUISSANCE MAXIMUM NON ATTEINTE (130 kW au lieu de 160 kW)
POUR LA PETITE TURBINE*

CANAL DE FUITE – PERTE DE CHARGE IMPORTANTE.

RAPPEL SUR LES RENDEMENTS DES DIFFERENTES TURBINES PAR RAPPORT A LEURS DEBITS NOMINAUX



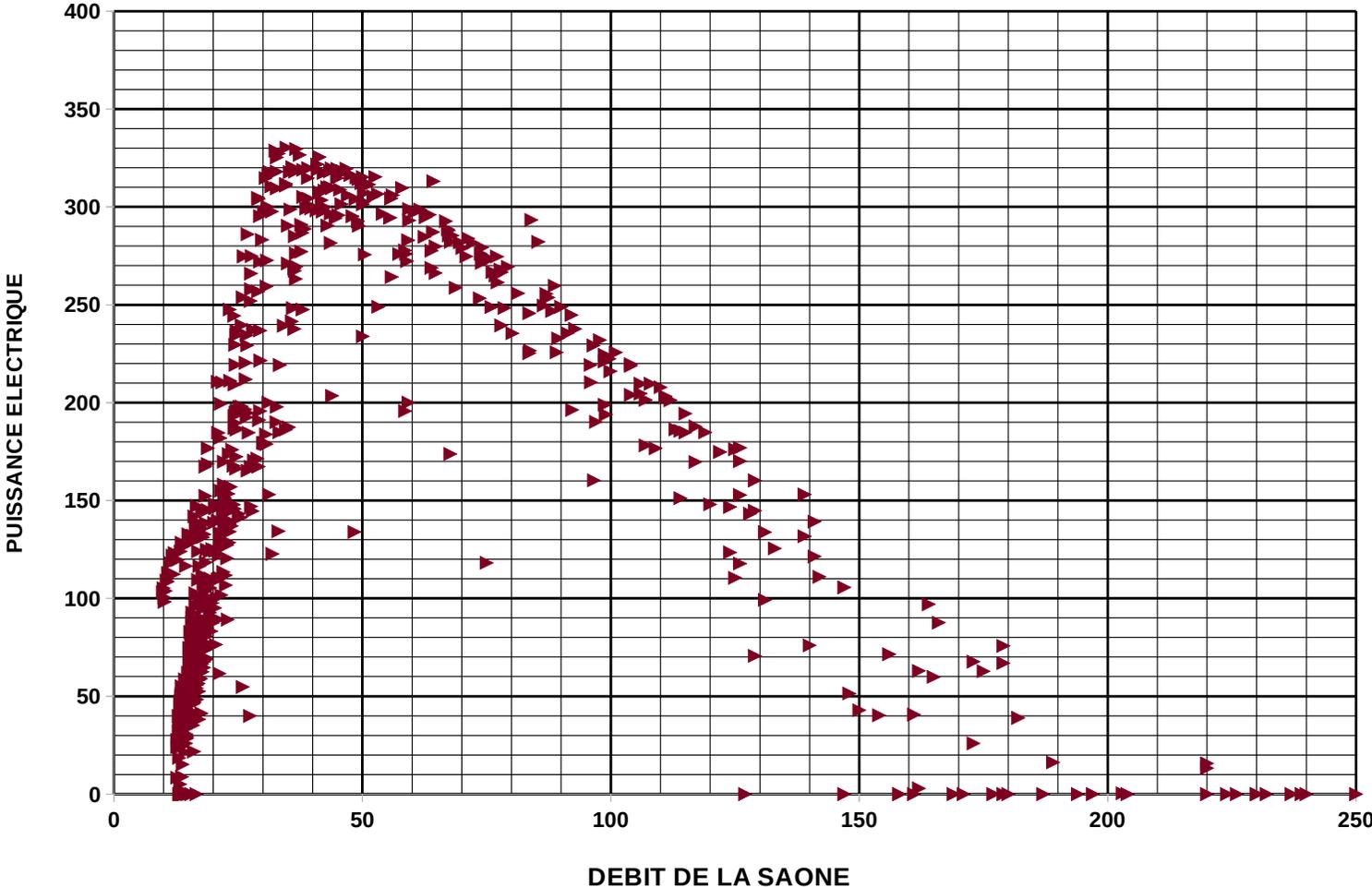
MON INTERVENTION

- QUANTIFIER LES GAINS POTENTIELS POUR CHAQUE
DISFONCTIONNEMENT IDENTIFIE ET A SOLUTIONNER

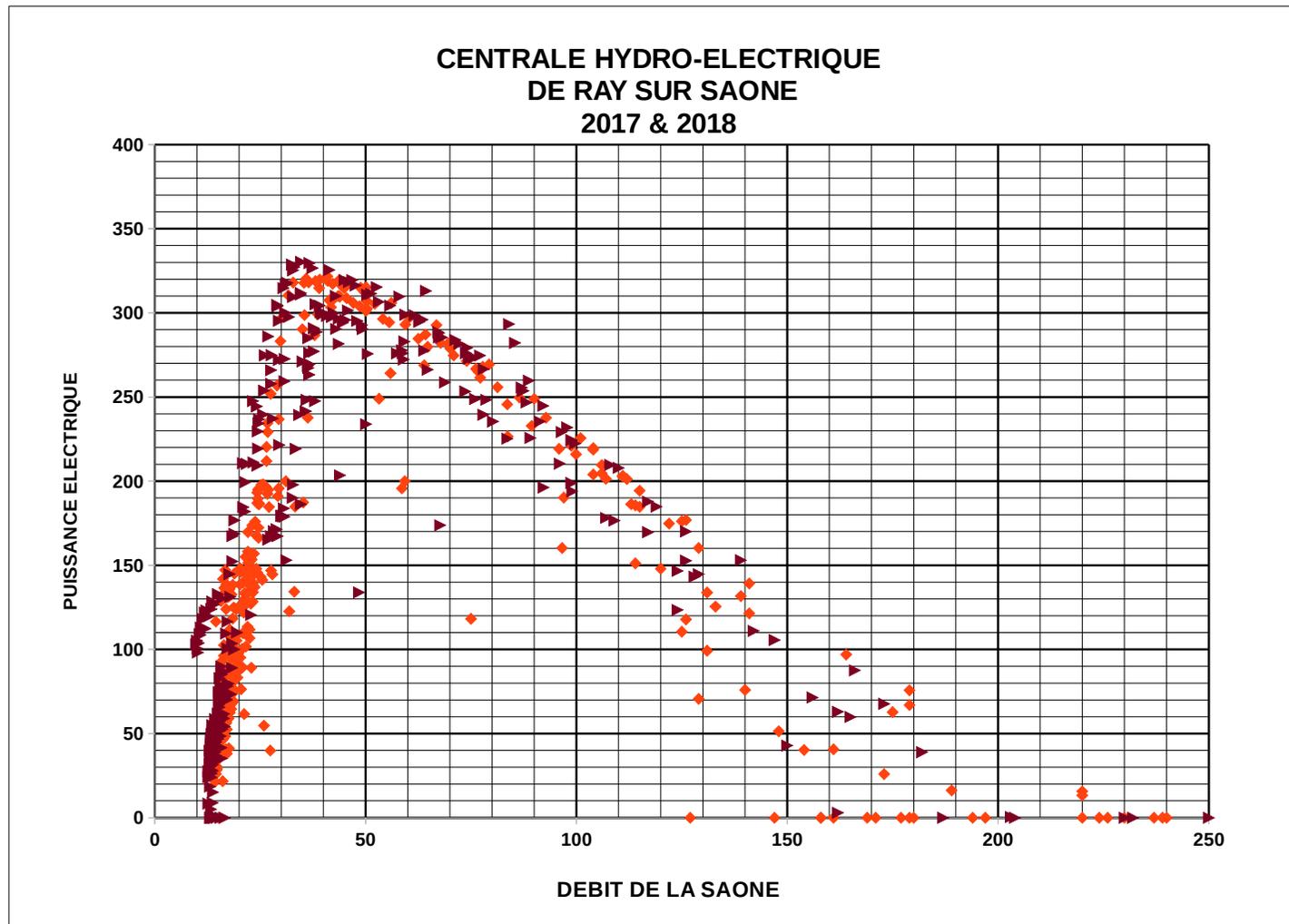
- IDENTIFIER D'EVENTUELS

AUTRES DISFONCTIONNEMENTS

**CENTRALE HYDRO-ELECTRIQUE
DE RAY SUR SAONE**

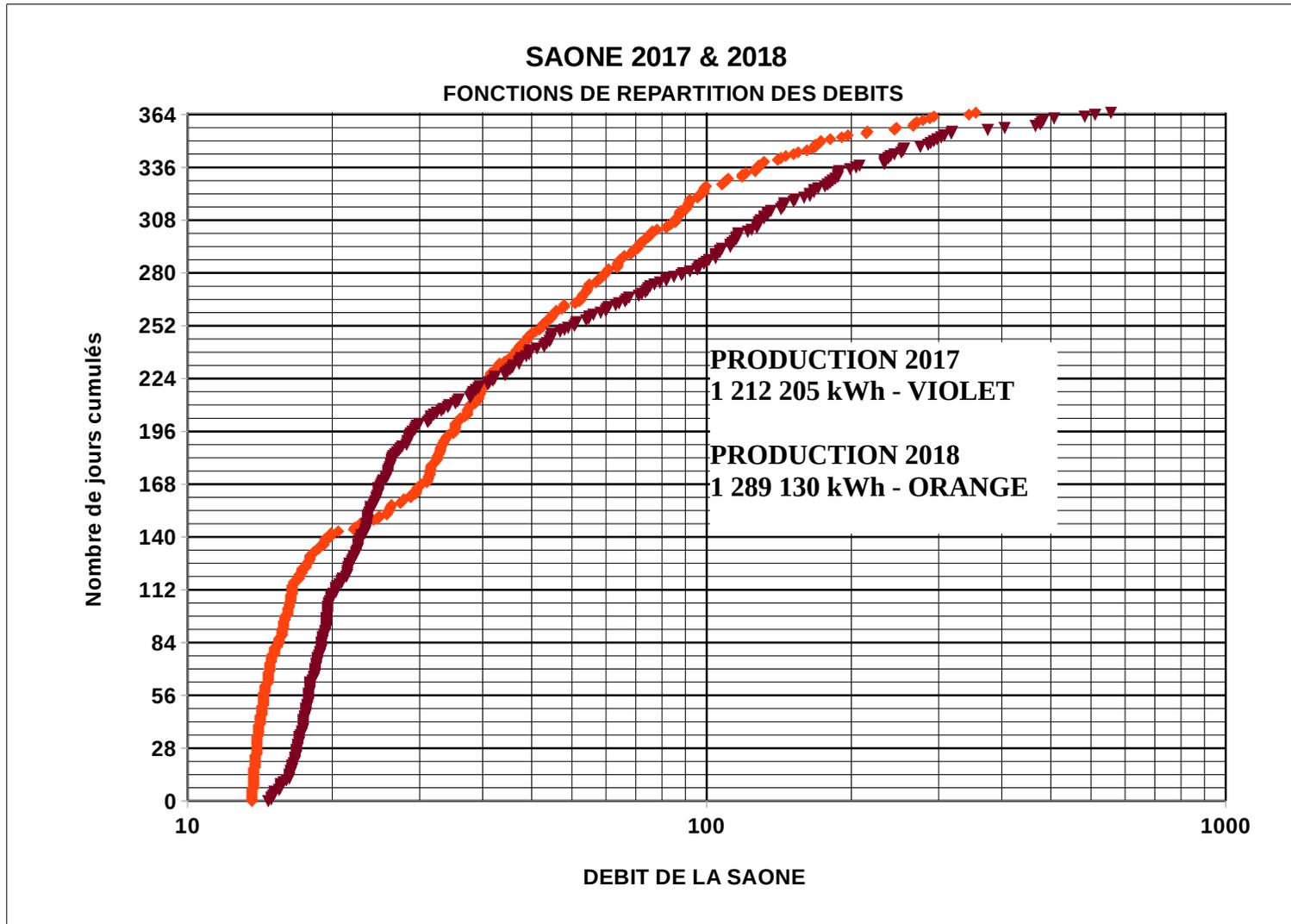


Exemple sur deux années avec en parallèle le diagramme de répartition annuel des débits.

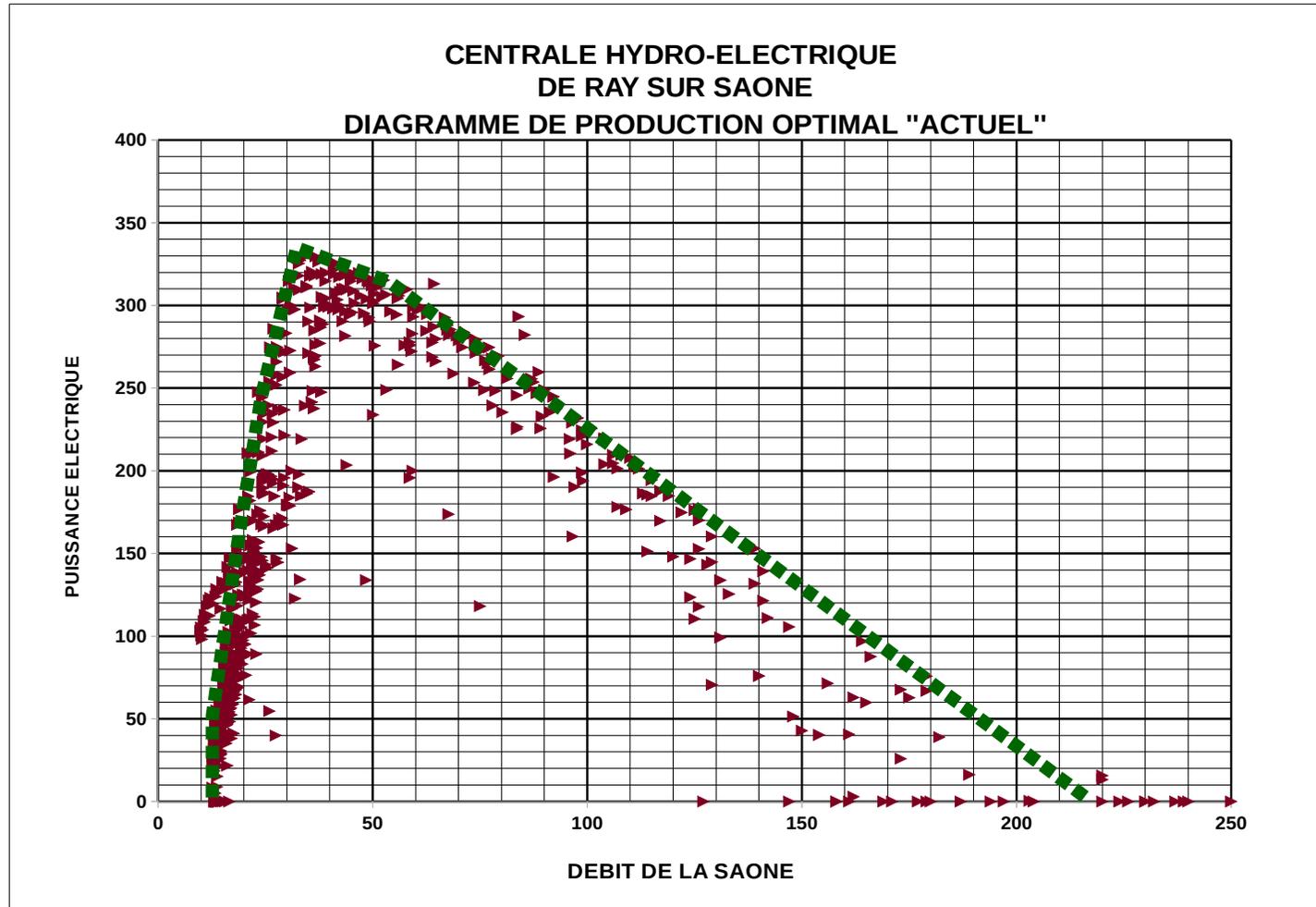


INSISTER SUR LE FAIT QUE LA FORME GENERALE DU DIAGRAMME EST IDENTIQUE POUR LES BONNES OU LES MAUVAISES ANNEES.

LA REPARTITION DES POINTS CHANGE PAR EXEMPLE EN 2018 PLUS DE POINTS SUR LA FIN DU DIAGRAMME.

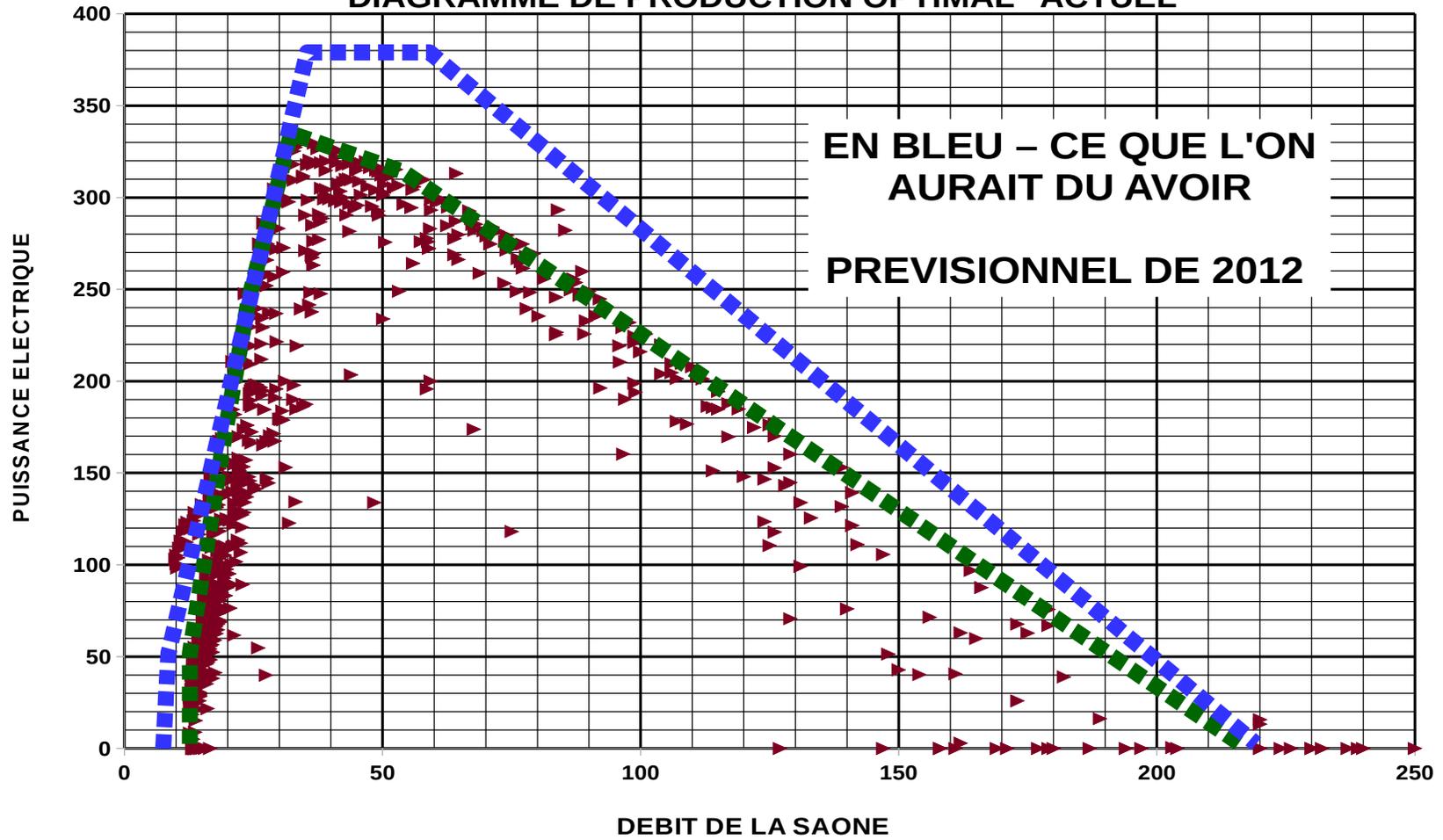


LE DIAGRAMME DE PRODUCTIVITE OPTIMALE D'UN SITE EST TOTALEMENT INDEPENDANT DE L'HYDROLOGIE – IL DEPEND DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DU SITE, DES TURBINES ET DU REGLAGE DES AUTOMATISMES.

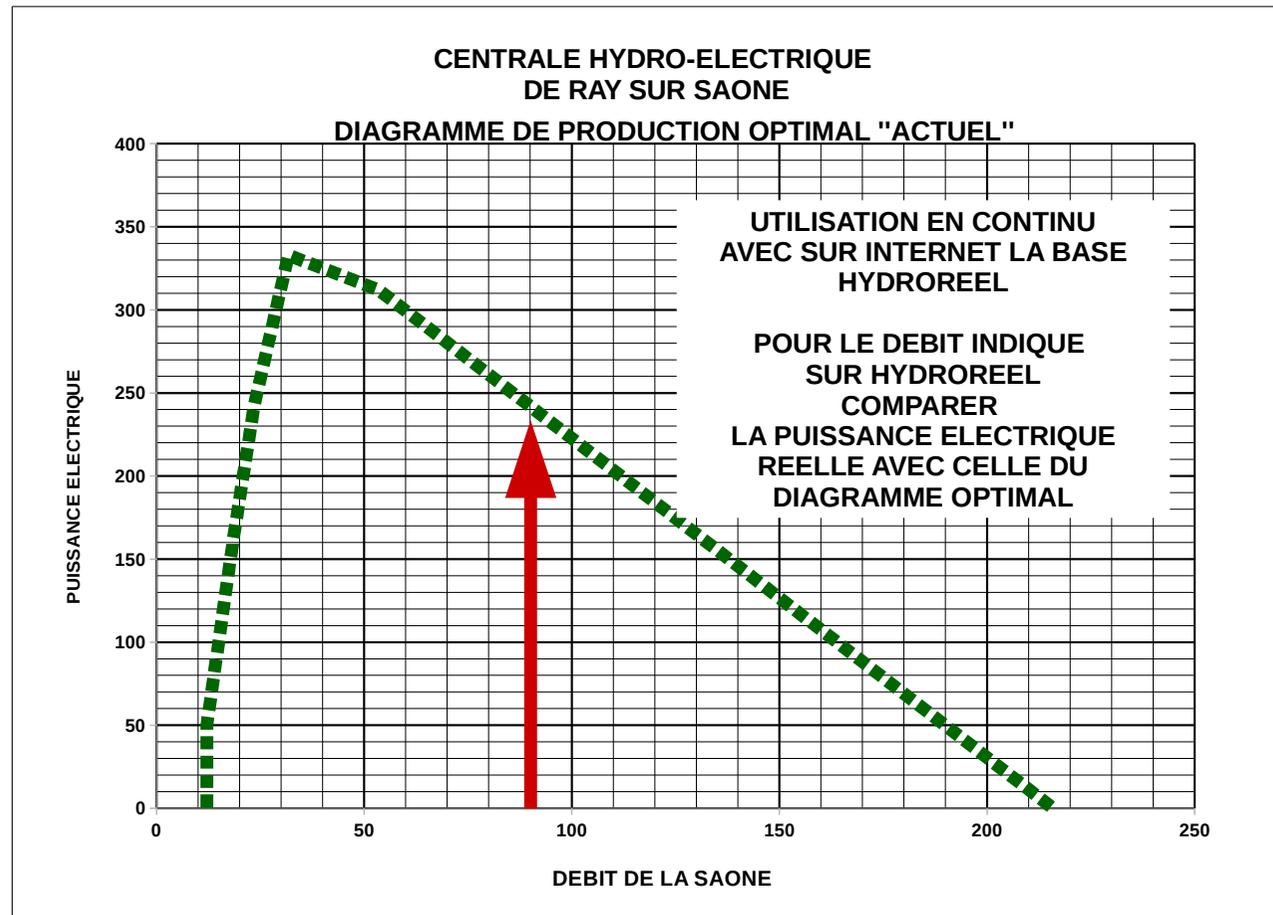


**CENTRALE HYDRO-ELECTRIQUE
DE RAY SUR SAONE**

DIAGRAMME DE PRODUCTION OPTIMAL "ACTUEL"

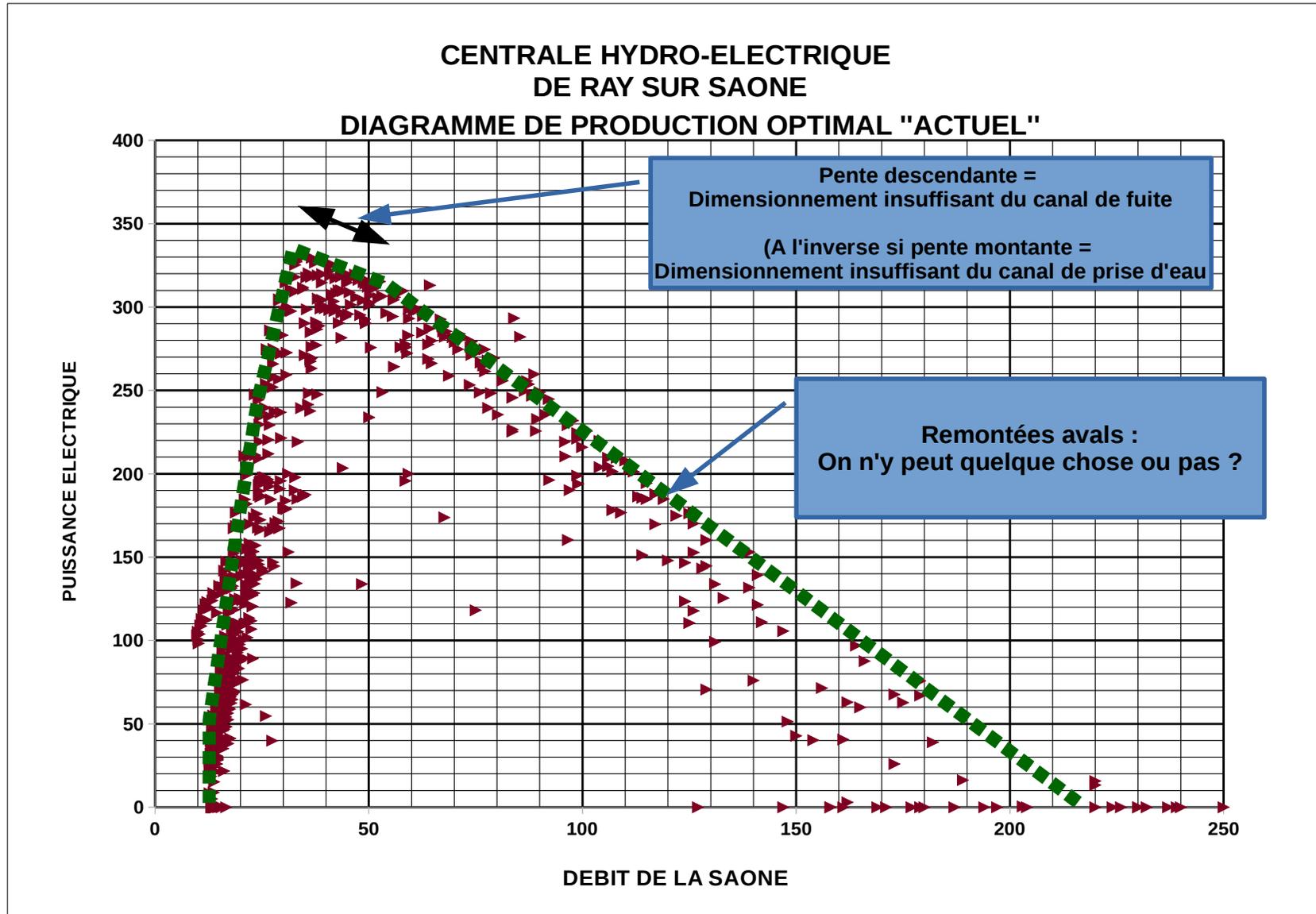


C/ PREMIERE UTILISATION DU DIAGRAMME DE PRODUCTIVITE OPTIMALE ACTUEL.



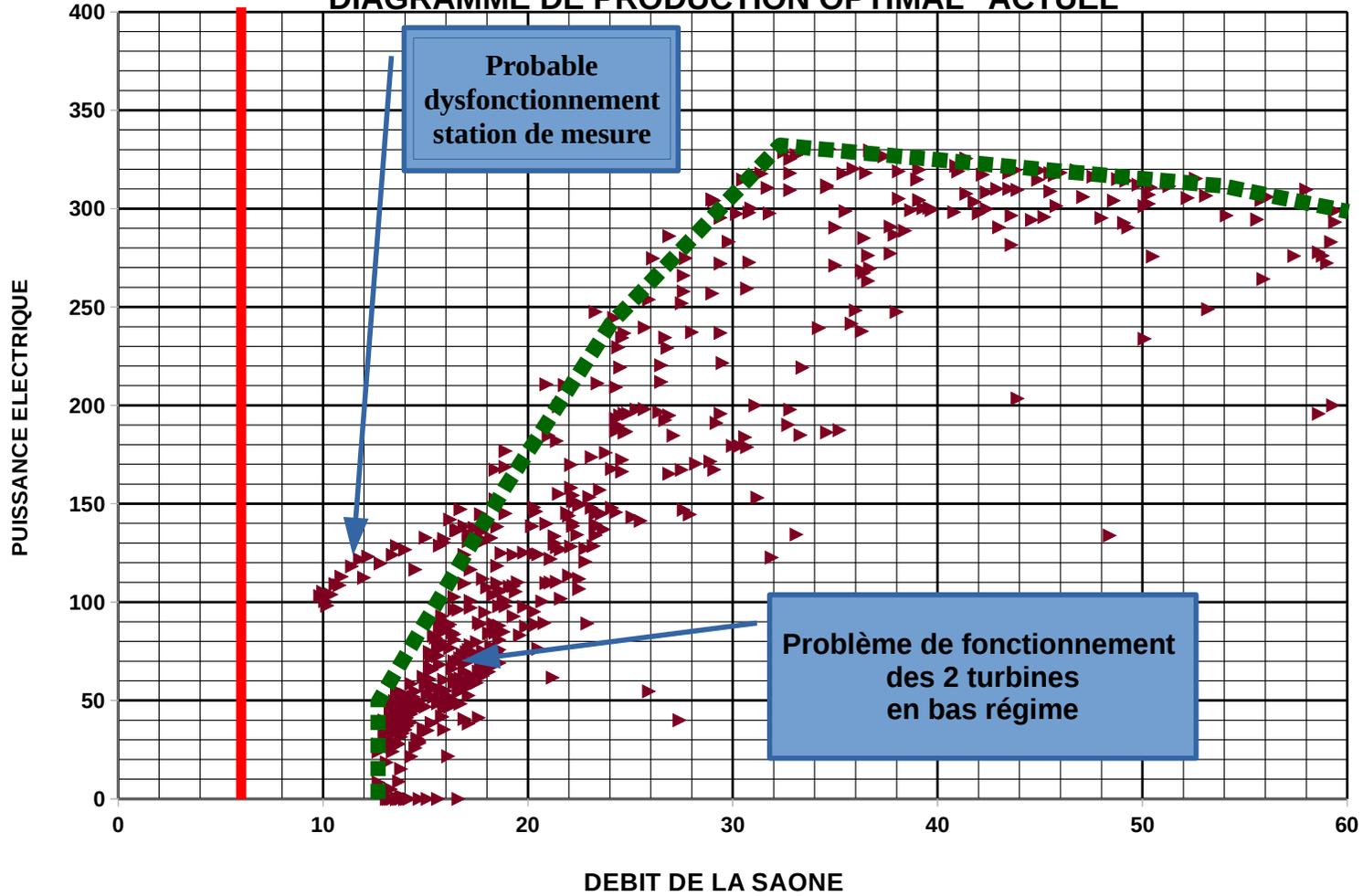
AU QUOTIDIEN SUR VOTRE SITE DANS SA CONFIGURATION ACTUELLE :UTILISATION DU DIAGRAMME DE PRODUCTION OPTIMAL POUR LE CONTROLE EN CONTINU DE L'INSTALLATION HYDRO-REEL – SURVEILLANCE EN CONTINU – ON PEUT DONC VERIFIER EN CONTINU QUE LA TURBINE FONCTIONNE DE MANIERE OPTIMALE OU NON.

D/ UTILISATION DU DIAGRAMME DE PRODUCTIVITE POUR REPERER LES POINTS DE FAIBLESSES D'UNE INSTALLATION.



**CENTRALE HYDRO-ELECTRIQUE
DE RAY SUR SAONE**

DIAGRAMME DE PRODUCTION OPTIMAL "ACTUEL"



EVALUATION DES GAINS DE PRODUCTION
PAR CALCUL SUR LES ANNEES 1998-2008

PRODUCTION MOYENNE ACTUELLE (AVANT 2019)

1 390 000 kWh/an

CHANGEMENT CAPTEUR AMONT

+

AMELIORATION DES AUTOMATISMES

+ REGLAGE PETITE TURBINE (DIRECTRICES / PALES)

1 715 000 kWh/an (+ 23 % par rapport à la situation actuelle)

AUGMENTATION VITESSE DE ROTATION

DE LA PETITE TURBINE (160 kW au lieu de 130 kW)

1 820 000 kWh/an (+ 31 % par rapport à la situation actuelle)

AMELIORATION DU CANAL DE FUITE (Pour qu'il ne sature plus)

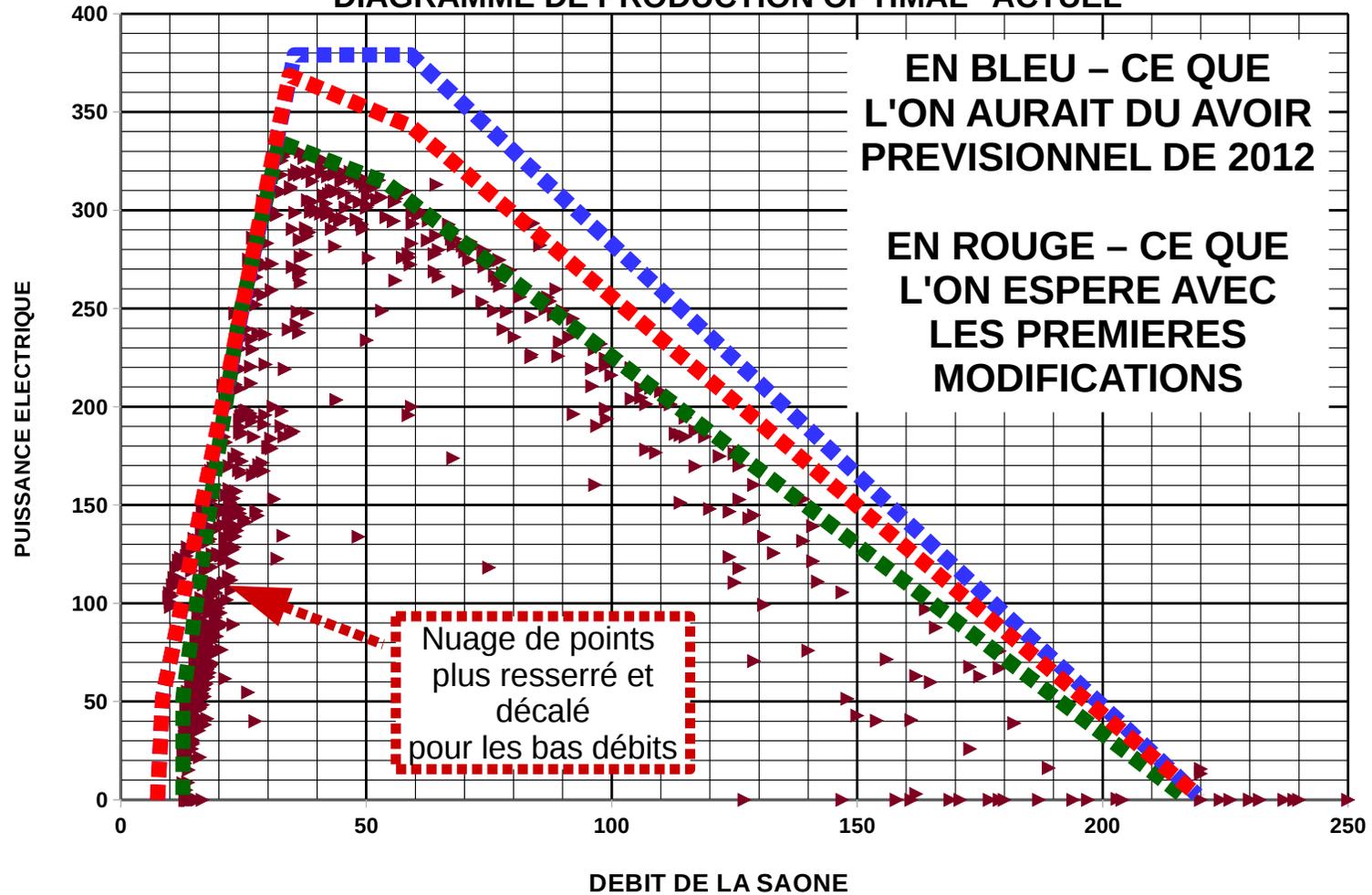
1 990 000 kWh/an (+ 43 % par rapport à la situation actuelle)

**TRAVAUX
MARS 2019**

**TRAVAUX
AOUT 2019**

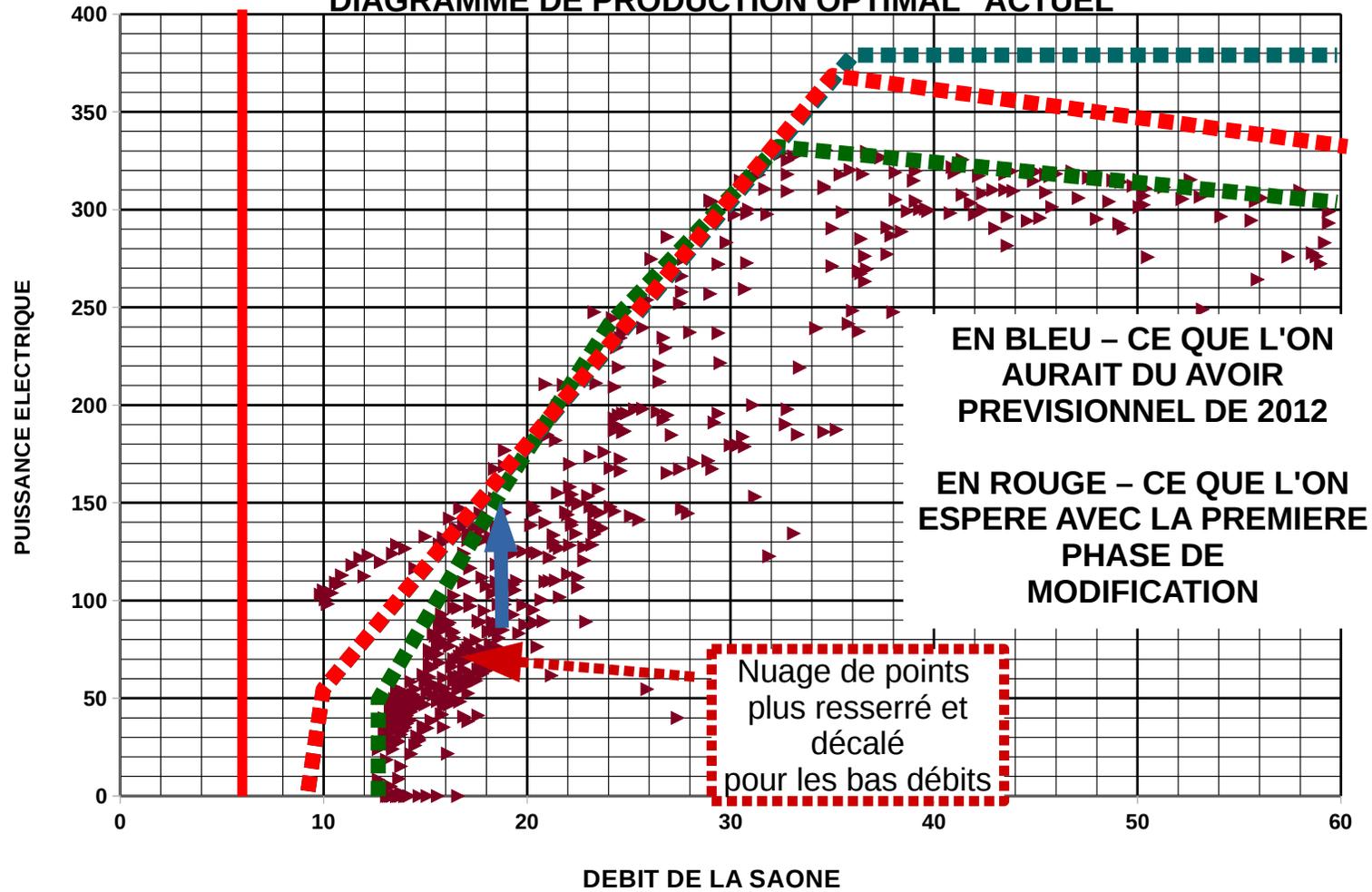
**CENTRALE HYDRO-ELECTRIQUE
DE RAY SUR SAONE**

DIAGRAMME DE PRODUCTION OPTIMAL "ACTUEL"

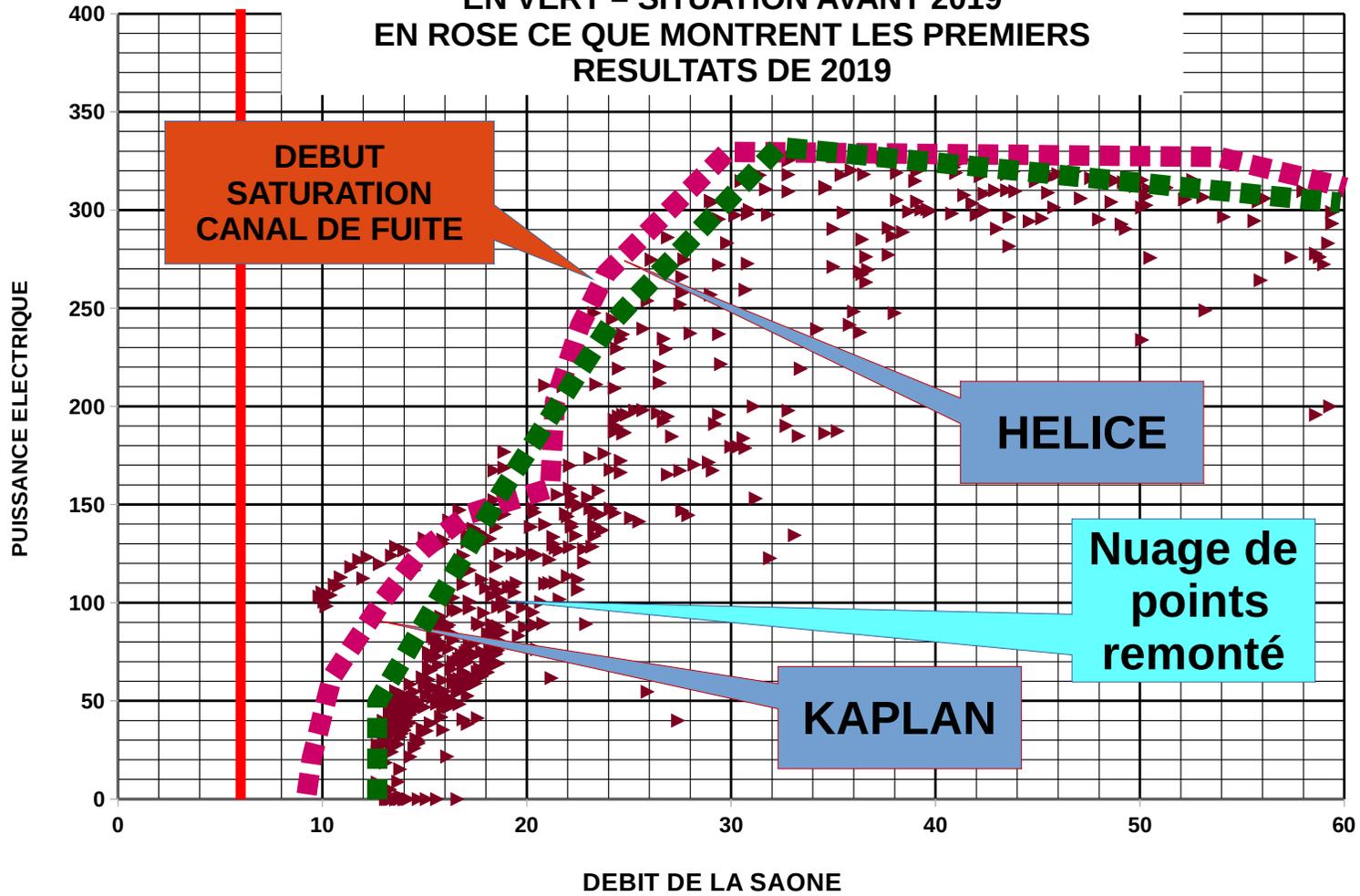


CENTRALE HYDRO-ELECTRIQUE DE RAY SUR SAONE

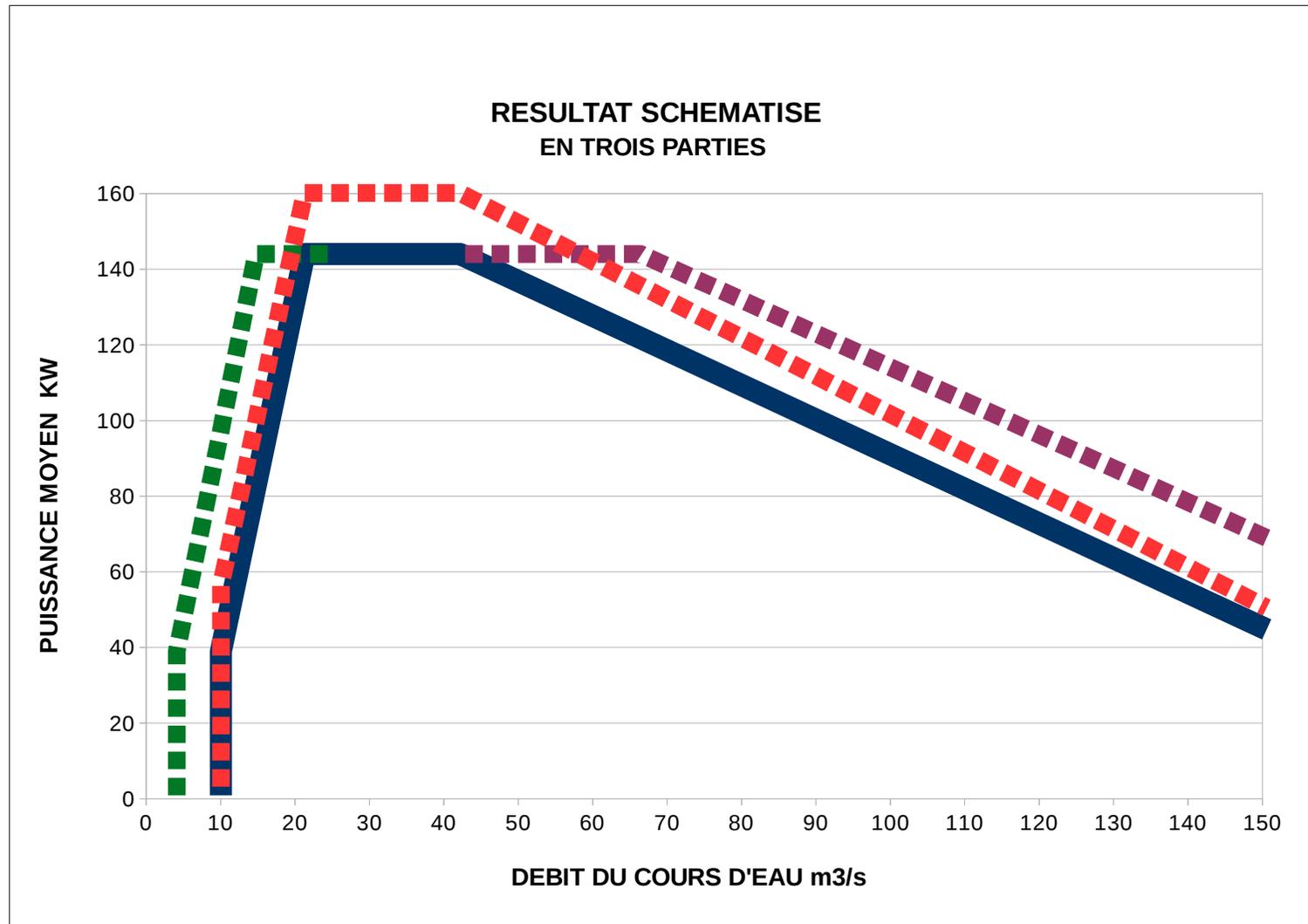
DIAGRAMME DE PRODUCTION OPTIMAL "ACTUEL"



**CENTRALE HYDRO-ELECTRIQUE
DE RAY SUR SAONE**
EN VERT – SITUATION AVANT 2019
**EN ROSE CE QUE MONTRENT LES PREMIERS
RESULTATS DE 2019**



E/ CAS GENERAL : LES PRINCIPAUX POINTS D'AMELIORATION SANS MODIFICATION DU BARRAGE OU AJOUT DE TURBINE.



LES TROIS POINTS PRINCIPAUX A AMELIORER :

1-LA GESTION DU DEBIT RESERVE : Est ce que je laisse plus d'eau que nécessaire ?

2-LA GESTION DE LA HAUTEUR DE CHUTE NETTE :

$P = \rho * g * Q * H$ === Attention Q est aussi une fonction de H

$$P (H + \Delta H) \sim P (H) + 1,5 * \rho * g * Q * \Delta H$$

**CHAQUE FOIS QUE VOUS GAGNEZ 1 % DE CHUTE NETTE,
VOUS GAGNEZ 1,5 % DE PRODUCTION (L'INVERSE EST VRAI
EGALEMENT).**

3-LA GESTION DES CRUES PAR UN CANAL DE DECHARGE (CAS SURTOUT DES MOULINS ANCIENS).

**EXEMPLE DE CALCUL POUR CES TROIS TYPES D'AMELIORATION
RIVIERE OGNON – ANNEE 1998 – DEBIT EQUIPEMENT 10 m³/s
KAPLAN SIMPLE REGLAGE – CHUTE NETTE 2,40 m.**

MAUVAIS REGLAGE DU DEBIT RESERVE (3 m³/s au lieu de 2 m³/s)

PRODUCTION ATTENDUE : 751 340 kWh.

PRODUCTION REELLE : 705 760 kWh (- 6 %).

AMELIORATION DE LA CHUTE NETTE DE + 5 % (+ 12 cm).

PRODUCTION ACTUELLE = 751 340 kWh.

PRODUCTION AMELIOREE = 816 780 kWh (+ 8,5 %).

UTILISATION D'UN CANAL DE DECHARGE (EVACUATION 10 m³/s).

PRODUCTION ACTUELLE = 751 340 kWh.

PRODUCTION AMELIOREE = 756 369 kWh (+0,7%).

F/ COMMENT "SOIGNER" SA CHUTE NETTE SANS TRAVAUX SUR LE BARRAGE

1/ FORMULE DE STRICKLER.

Pour simplifier on peut prendre une section rectangulaire :

$$\text{VITESSE} / V = Q / (L * h)$$
$$V = k * R^{2/3} * i^{1/2}$$

Q = Debit / L= largeur / h = hauteur d'eau

R = Rayon hydraulique $((L * h) / (L + 2 * h))$

i = pente

k = Coefficient de strickler / Lier à l'état de la surface du fond et des berges.

k varie de 20 à 100 environ suivant la nature des surfaces.

Donc la vitesse de l'eau, V, peut varier de Vmax à Vmax/5

Si on augmente la vitesse, pour un même débit, on diminue la hauteur d'eau dans le canal de fuite (h) et donc on augmente H, la hauteur de chute nette.

$$h = Q / (V * L)$$

DONC SI LA VITESSE DE L'EAU, V, AUGMENTE, h LA HAUTEUR D'EAU DANS LE CANAL DIMINUE,

H LA HAUTEUR DE CHUTE NETTE AUGMENTE.

Tableau ci dessous - ordre de grandeur.

NATURE DES SURFACES	COEFFICIENT DE STRICKLER
BETON LISSE RECENT	100
BETON ANCIEN	75
MUR ET FOND EN PIERRES MACONNEES	65
ENROCHEMENTS (face plane)	55
CANAL EN TERRE (sans rugosité)	45
FOND PETITS CAILLOUX – BERGES EN TERRE	40
CANAL ENHERBE (sans rugosité)	35
CANAL EMBROUSAILLE (branches, racines...)	25
FOND EN PIERRES RUGUEUSES	20

2/ TRAITEMENT DES SINGULARITES

REPERAGE EN BAS DEBIT :

Murs effondrés, racines, arbres tombés, des branches, des déchets, des pierres ou des enrochements déplacés...

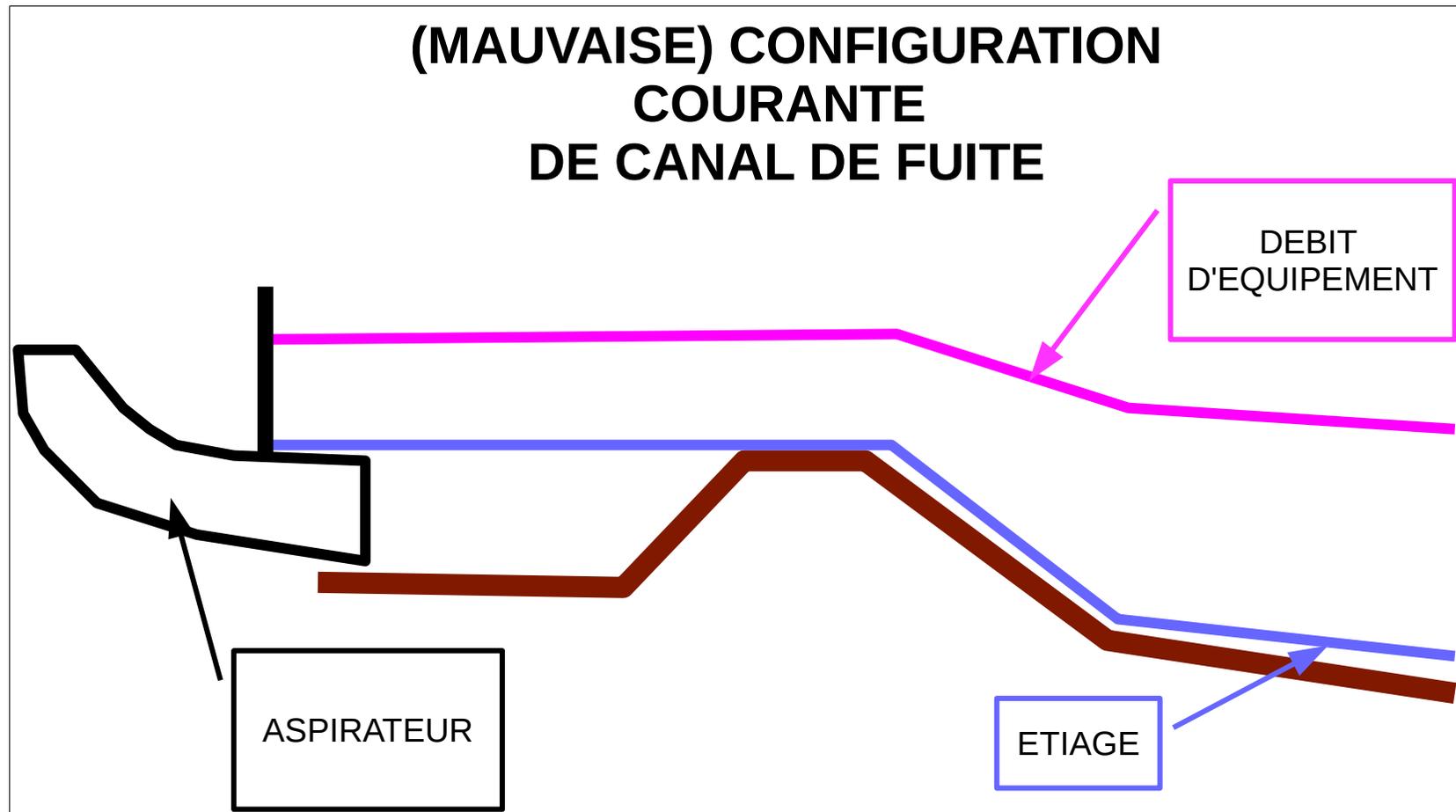
Et si vous voulez quand même de la verdure...

Une rive pour l'écologie et une rive pour l'efficacité du canal de fuite.

Pente régulière (pente minimum qui règle le débit).

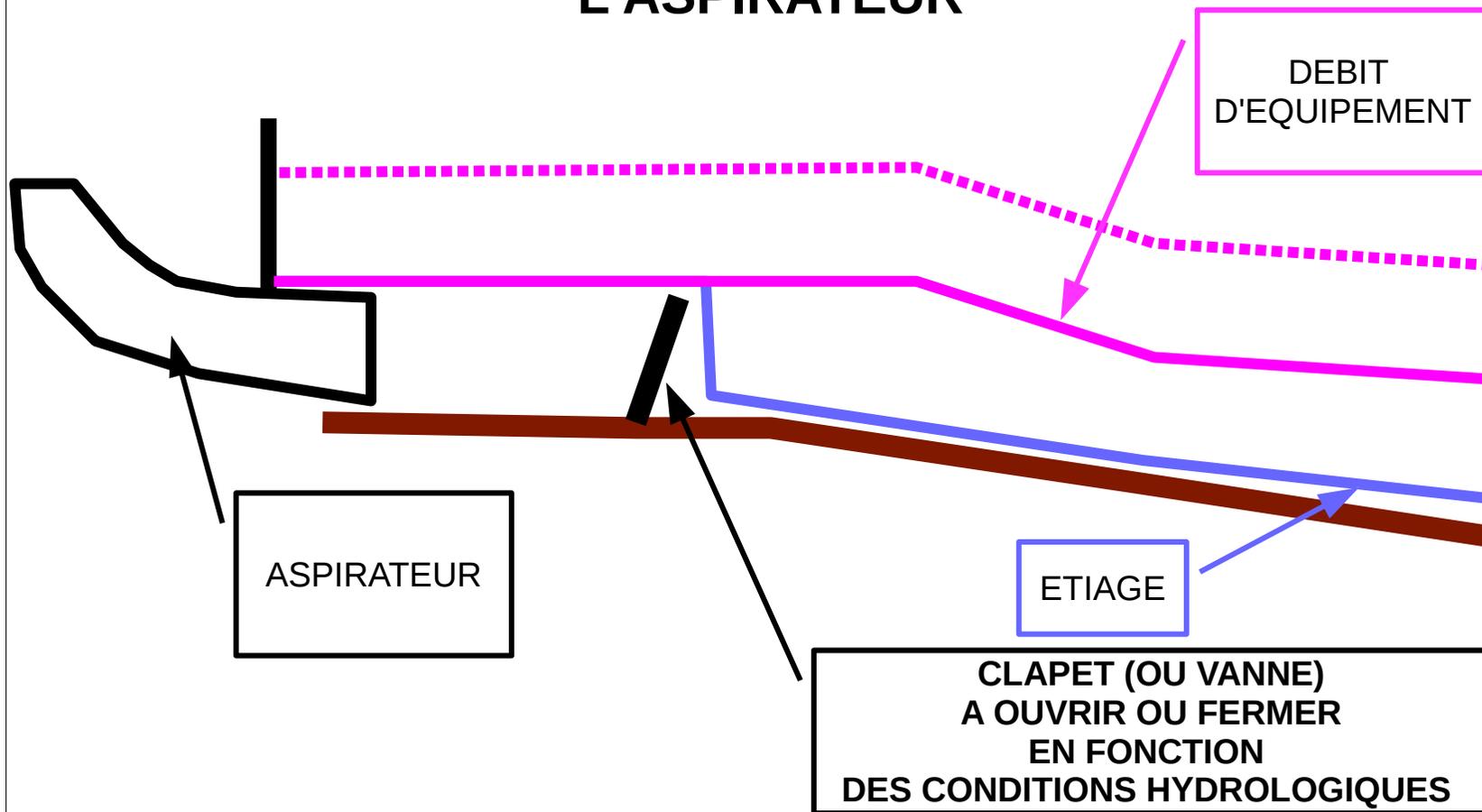
UNE REMARQUE : AVANT D'AUGMENTER LE DEBIT D'UNE INSTALLATION PAR AJOUT D'UNE TURBINE SUPPLEMENTAIRE VERIFIER QUE CELA NE SERA PAS (TROP) AU DETRIMENT DE LA HAUTEUR DE CHUTE NETTE

3/ LA TOPOGRAPHIE DANS LE CANAL DE FUITE.



SI ON NE PEUT PAS MODIFIER L'ASPIRATEUR, EST CE QU'IL FAUT ENLEVER LE REMBLAI? OUI/NON CAR EN ETIAGE ON RISQUE DE DENOYER L'ASPIRATEUR (ET EVENTUELLEMENT DE LE CASSER).

MODIFICATION DE CONFIGURATION SI ON NE PEUT PAS BAISSER L'ASPIRATEUR



CAPTEUR AVAL + CLAPET (OU VANNE).

4/ Autres types de problèmes à régler

Sur la turbine.

Par exemple des pales bloqués ou se réglant mal

Ou directrices pas bien réglées avec les pales.

Problème de rendement lié aux pales

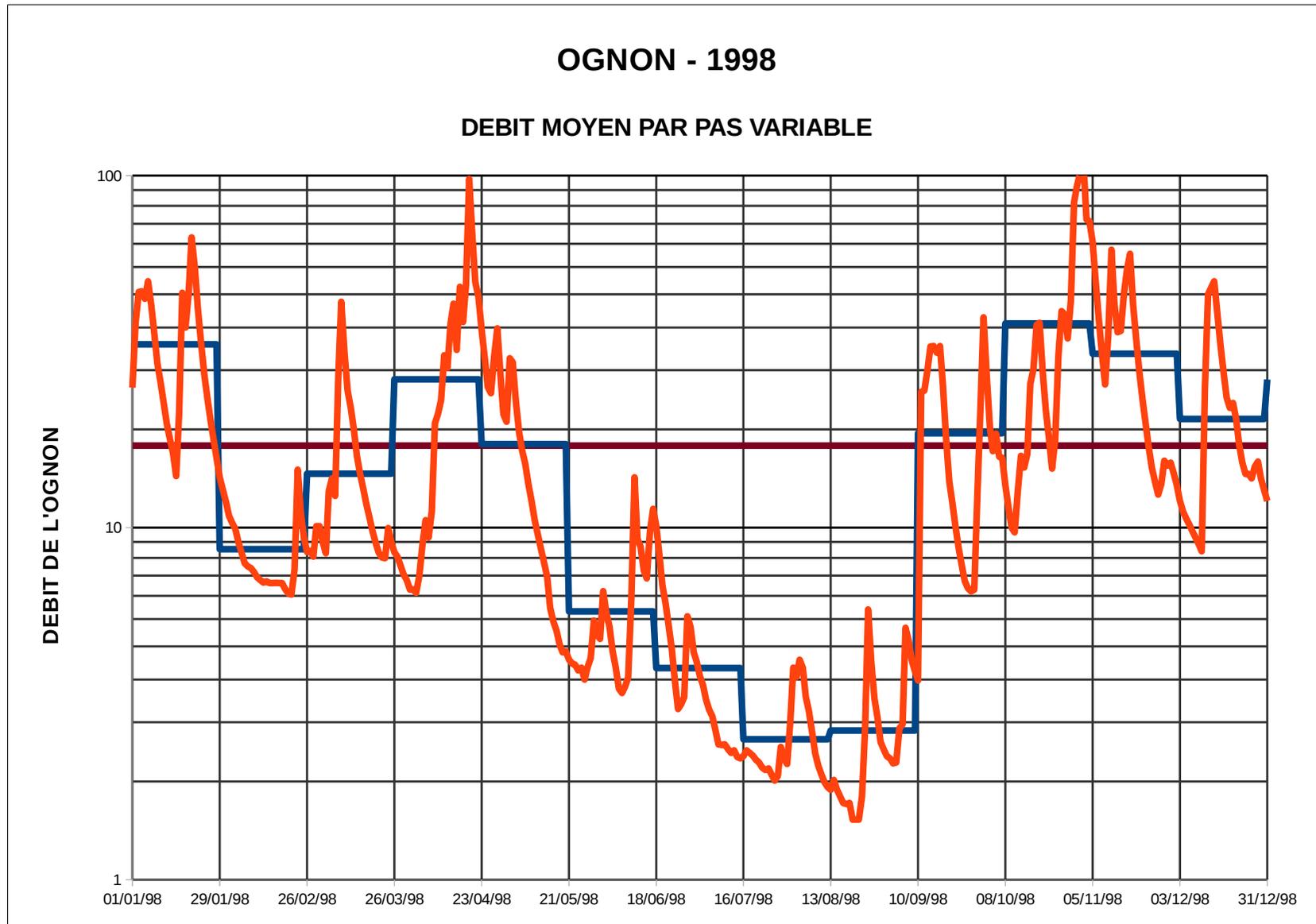
**LE FONCTIONNEMENT D'UNE
KAPLAN DOUBLE REGLAGE
RESSORT ALORS COMME CELUI
D'UNE TURBINE EN HELICE
(PALES FIXES)**

CELA SE VOIT SUR LE DIAGRAMME DE PRODUCTION CAR RENDEMENT FAIBLE EN BAS DEBIT.

Canal de prise d'eau. Raisonnement similaire à celui du canal de fuite.

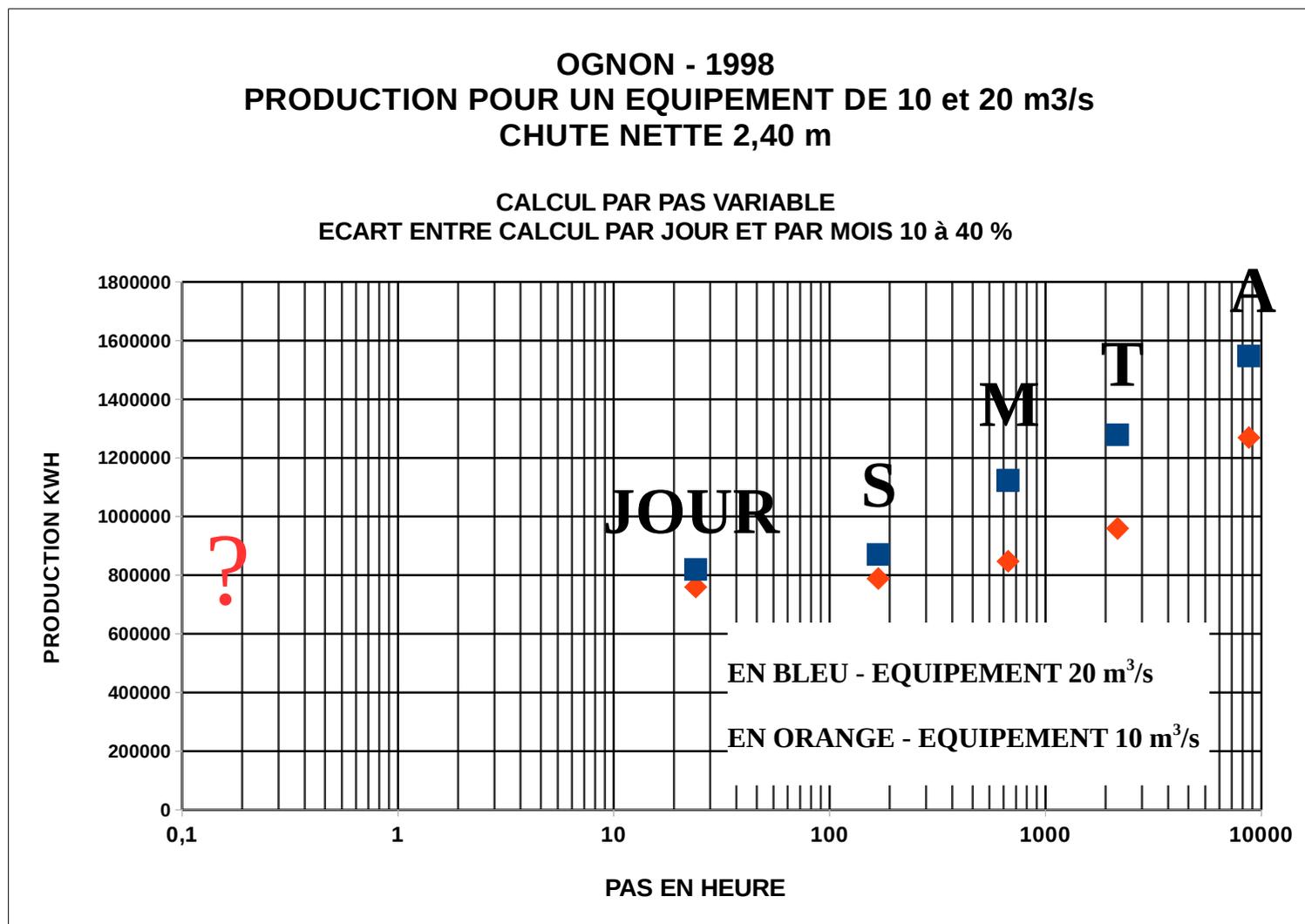
Sites avec plusieurs turbines différentes : Utiliser les turbines en priorité dans leurs plages de fonctionnement optimum.

B/ APPARTE SUR L'EVALUATION DE LA PRODUCTION DANS LES PROJETS.



HYDROLOGIE * MODELE DE PRODUCTION D'UNE TURBINE CALCUL PAR PAS

JOURNALIER – HEBDOMADAIRE – MENSUEL – TRIMESTRIEL - ANNUEL



FRACTAL

– ECART POSSIBLE ENTRE LE CALCUL BRUTE BE (PAS JOURNALIER) & CONSTRUCTEUR (PAS MENSUEL)

10 à 40 %

– ECART POSSIBLE ENTRE LE CALCUL BRUT BE (PAS JOURNALIER) & INDEX EDF

???

Évidemment tous le monde fait une correction après calcul mais l'incertitude est plus ou moins grande suivant la base de calcul.

F/ COMMENT FAIRE SI JE N'AI PAS DE STATION HYDRO A PROXIMITE

SOLUTION A :

IL FAUT UN CAPTEUR AMONT BARRAGE ET AMONT CENTRALE S'IL Y A DES PERTES DE CHARGES DANS LE CANAL DE PRISE D'EAU.

IL FAUT UN CAPTEUR A L'AVAL DE L'ASPIRATEUR (ET SI POSSIBLE UN CAPTEUR AU NIVEAU DE LA RESTITUTION DANS LE COURS D'EAU).

+ TOPOGRAPHIE DU BARRAGE

et si possible du canal de fuite et du canal de prise d'eau.

**SOLUTION B : PAR COMPARAISON DANS UN MEME BASSIN
VERSANT OU UN BASSIN VERSANT PROCHE**

Formule habituelle des bassins versants

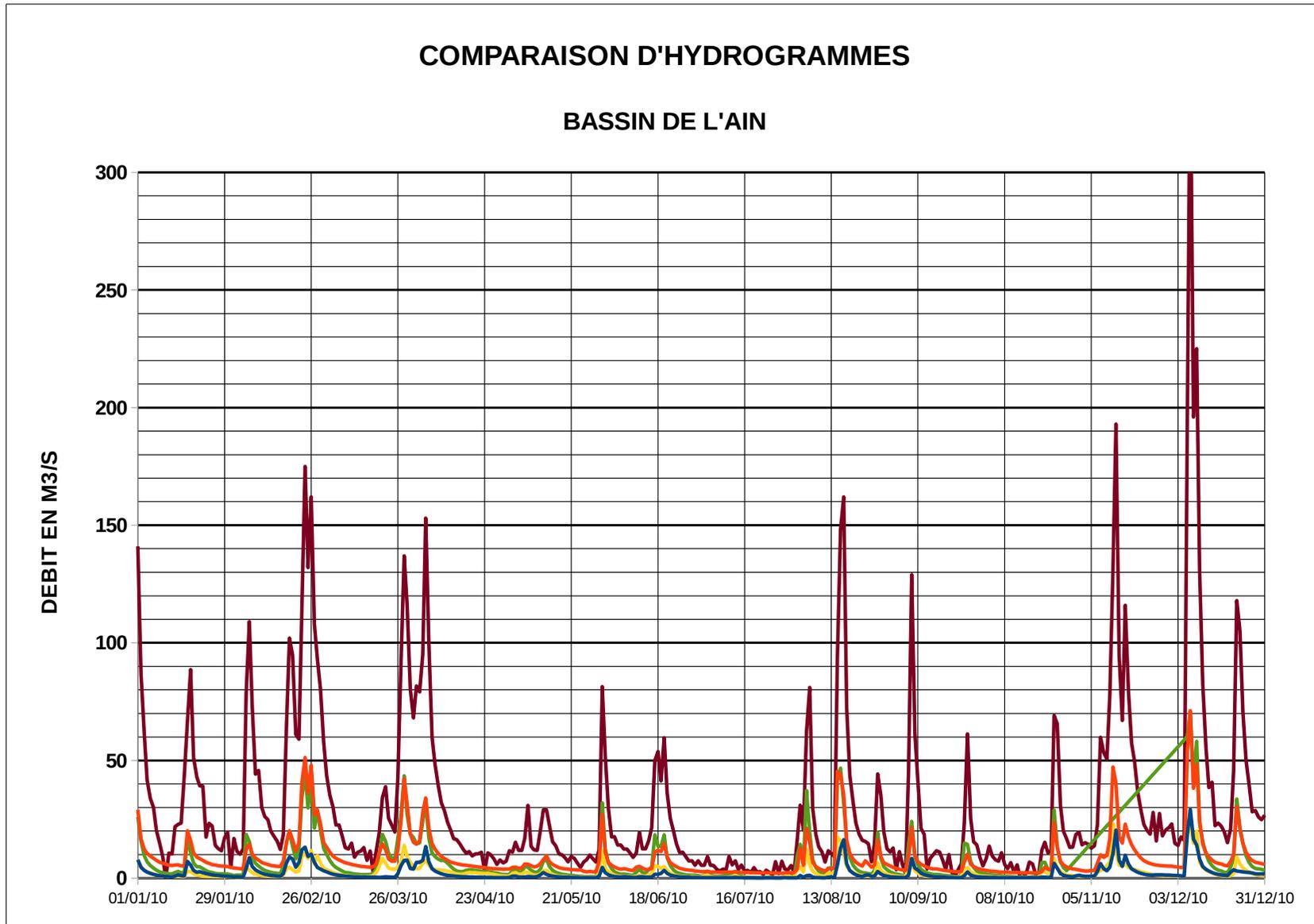
$$\mathbf{DEBIT\ 2 = DEBIT\ 1 * (SURFACE\ BV\ 2 / SURFACE\ BV\ 1)^\alpha}$$

$$\mathbf{LOG\ (DEBIT\ 2) = LOG\ (DEBIT\ 1 * (BV2 / BV1)^\alpha)}$$

$$\mathbf{LOG\ (DEBIT\ 2) = LOG\ (DEBIT\ 1) + Constante}$$

Est ce que cela marche toujours bien ???

Exemple du bassin de l'Ain.



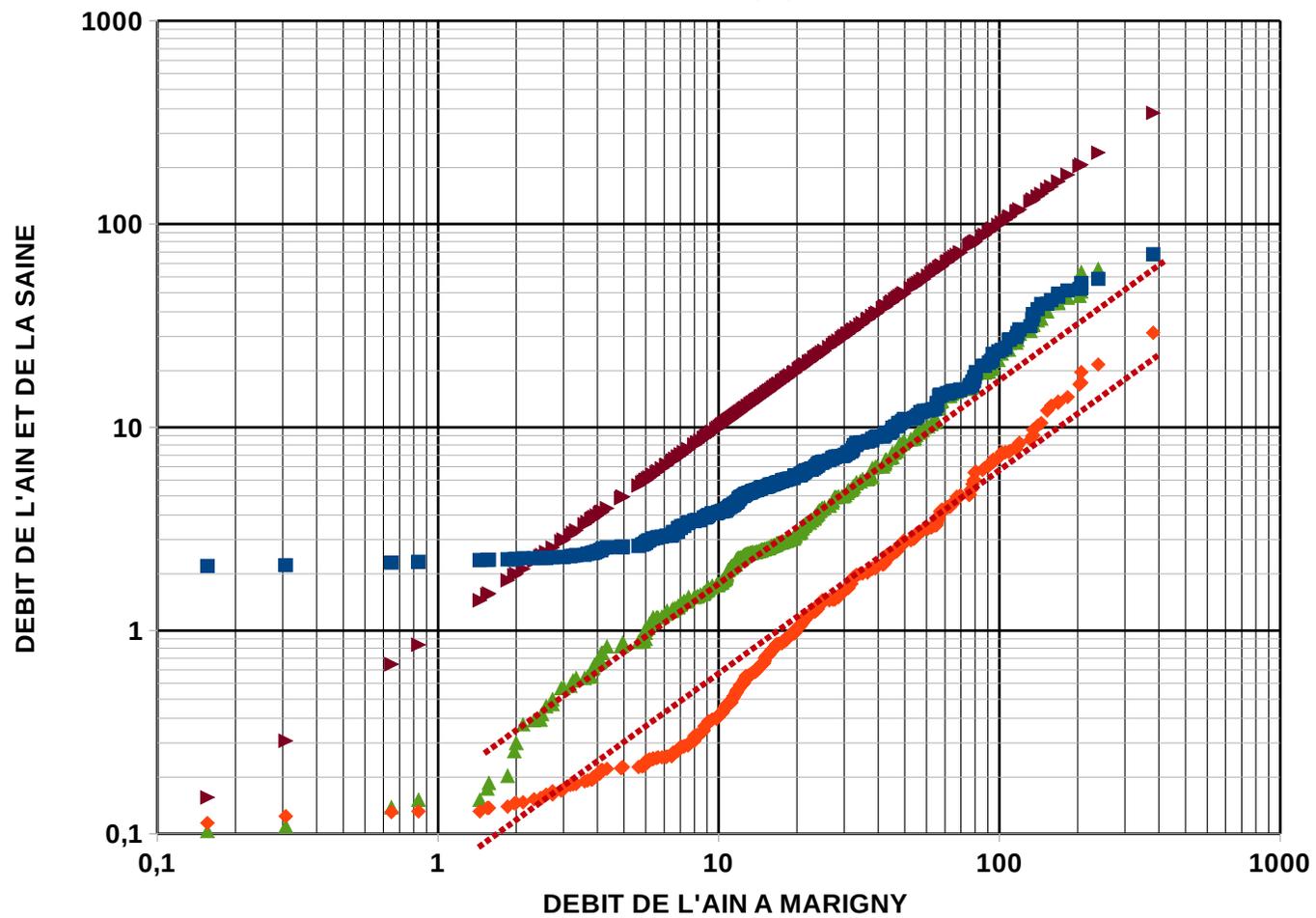
BASSIN DE L'AIN

ANNEE 2010

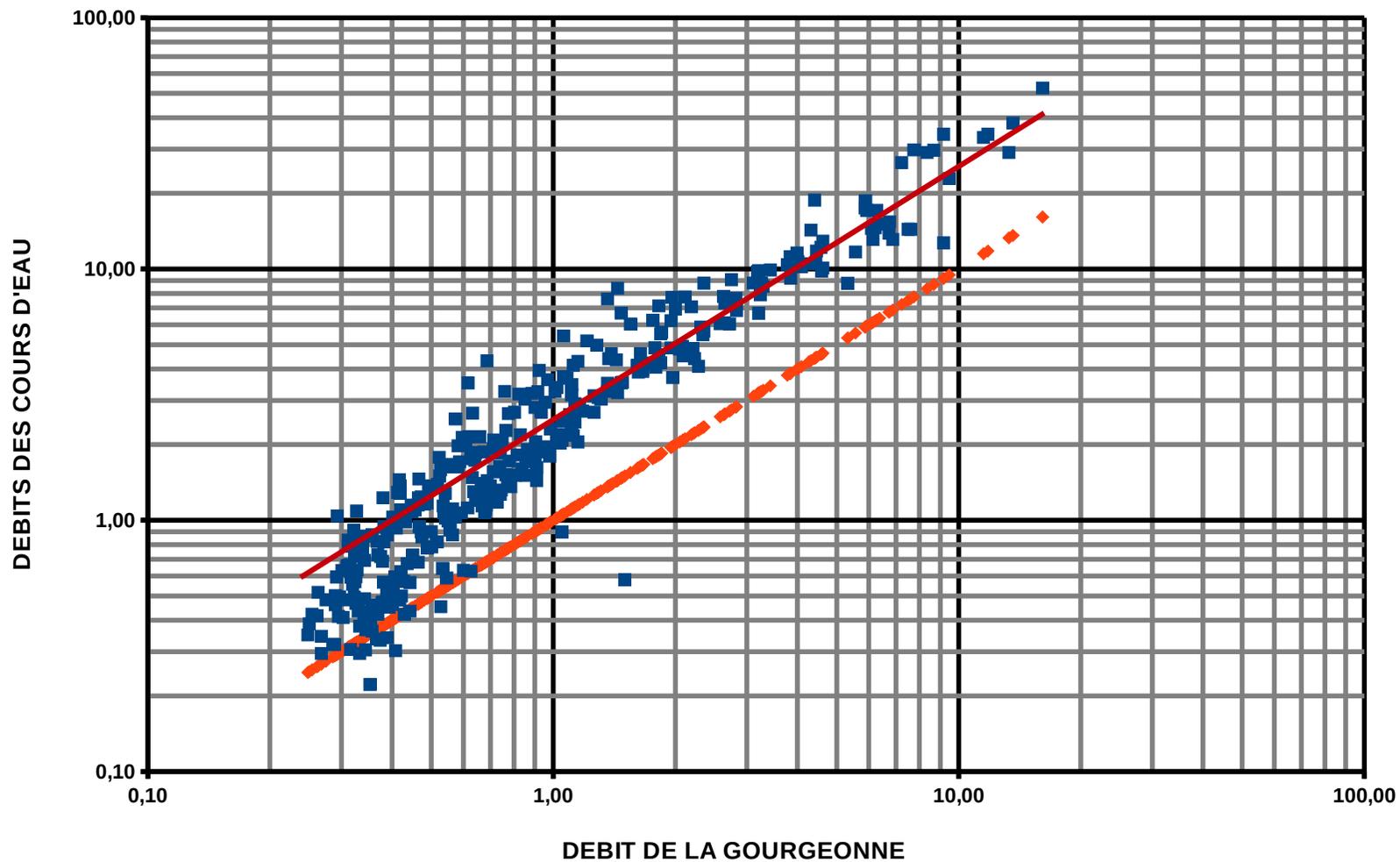


BASSIN DE L'AIN

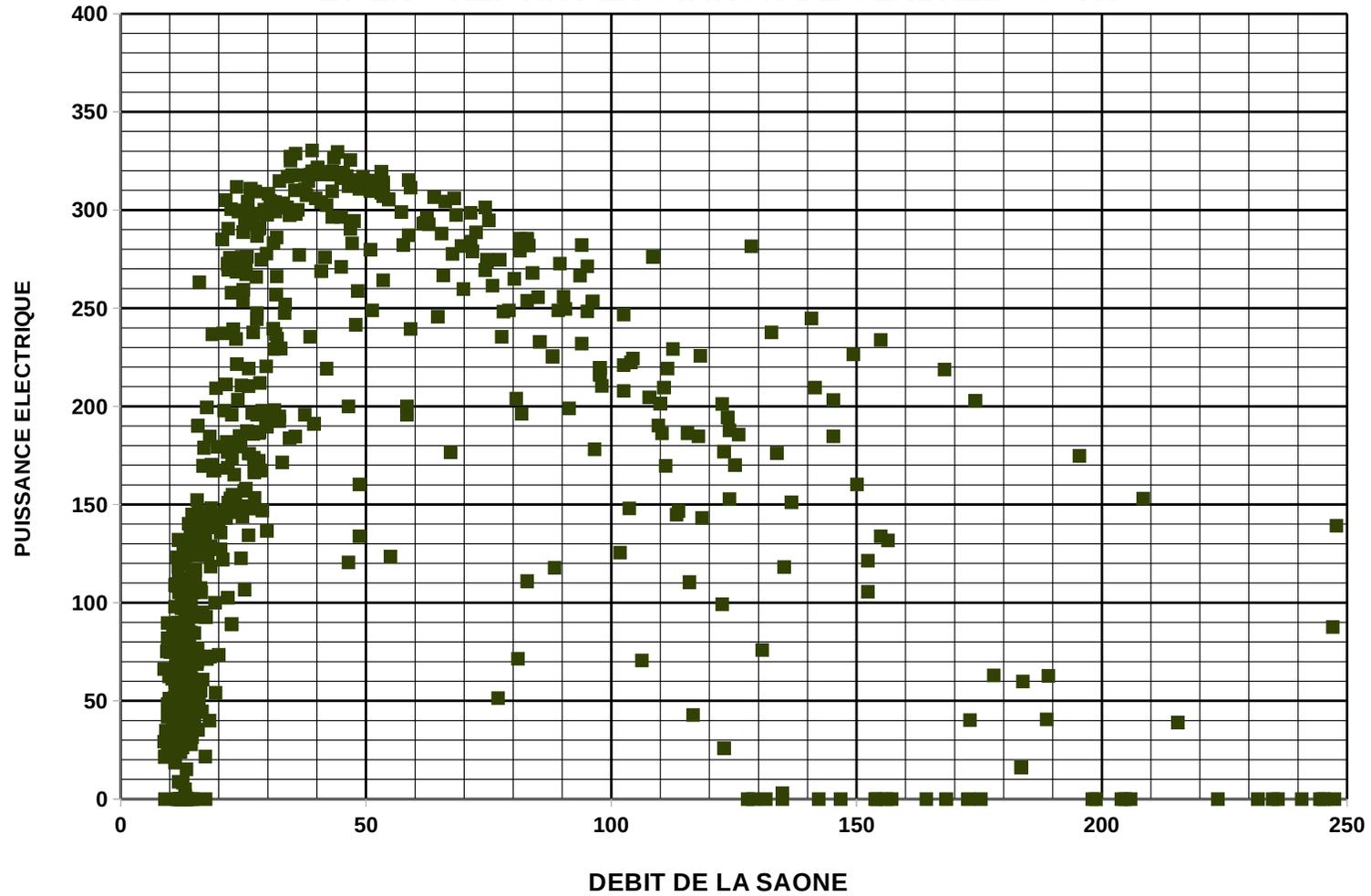
ANNEE 2010



COMPARAISON
SALON / GOURGEONNEANNEE 2006



**CENTRALE HYDRO-ELECTRIQUE
DE RAY SUR SAONE
ET EN UTILISANT LA STATION DE CENDREDCOURT**



**CENTRALE HYDRO-ELECTRIQUE
DE RAY SUR SAONE
ET EN UTILISANT LA STATION DE CENDRECOURT**

