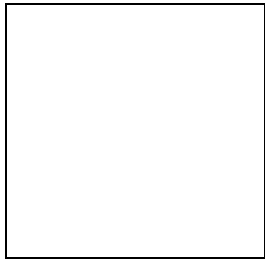


## ***ANNEXES***



### ***Annexe 1 - Etude de la puissance $n$ du bloc de Jordan***

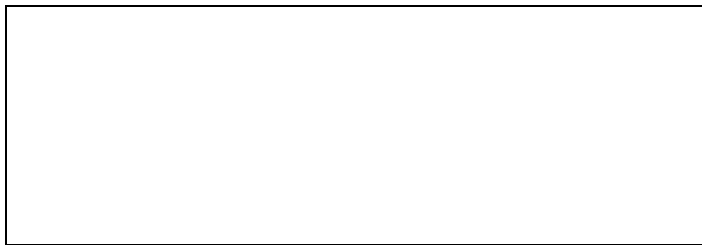
Soit le bloc de Jordan suivant :



(A1.1)

avec  $\mathbf{J}_i$  de dimension  $k_i \times k_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ).

Nous allons démontrer par récurrence que la puissance  $n$  de cette matrice ( $n \geq k_i$ ) s'écrit sous la forme :



(A1.2)

Pour  $n = 1$ , la relation (A1.2) est vérifiée. En effet,  $C^{n-1;1} = 0$ ,  $\lambda^n < 0$  et  $C^{0;1} = 0$  et nous pouvons écrire par conséquent :



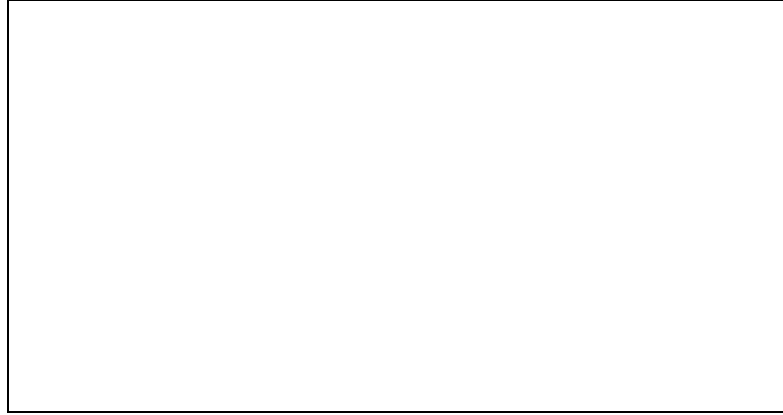
Nous supposons maintenant que la relation (A1.2) est vraie pour  $n$ . Nous démontrons que cette relation est vérifiée pour la puissance supérieure  $n+1$  :

$$\mathbf{J}_i^{n+1} = \mathbf{J}_i \times \mathbf{J}_i^n$$

En utilisant la formule:

$$C_n^q + C_n^{q-1} = C_{n+1}^q, \quad \forall q \in \hat{U}^+$$

nous pouvons écrire l'égalité suivante :



(A1.3)

Ceci démontre que la relation (A1.2) est valable pour tout  $n \geq 1$ ,  $n \in \mathbb{N}$ .

## Annexe 2 - Norme de matrices induite

Soit les normes de vecteurs  $N_1$  et  $N_2$  définies comme suit :

$$N_1 : \mathbb{R}^{1 \times m} \text{ tel que } \|x\|_{N_1} = \sum_{i=1}^m |x_i|, \quad x = [x_1, x_2, \dots, x_m] \in \mathbb{R}^{1 \times m} \quad (\text{A2.1})$$

$$N_2 : \mathbb{R}^{1 \times n} \text{ tel que } \|y\|_{N_2} = \max_{i=1}^n |y_i|, \quad y = [y_1, y_2, \dots, y_n] \in \mathbb{R}^{1 \times n} \quad (\text{A2.2})$$

Nous remarquons que la norme  $N_1$  est une norme de Hölder :

$$\|x\|_p = \left( \sum_{i=1}^n |x_i|^p \right)^{1/p}, \quad p \geq 1 \quad (\text{A2.3})$$

pour le cas particulier  $p = 1$ , tandis que la norme  $N_2$  provient d'une norme du même type ( $p = \infty$ ) par multiplication avec une constante. On vérifie facilement que les deux normes  $N_1$  et  $N_2$  ainsi définies satisfont les trois propriétés fondamentales d'une norme de vecteurs :

$$\|x\|, \|y\| \in \mathbb{R}^+, \quad \|\lambda x\| = |\lambda| \|x\| : \left\{ \begin{array}{l} \|x\| = 0 \Leftrightarrow x = 0 \\ \|\lambda x\| = |\lambda| \|x\| \\ \|x+y\| \leq \|x\| + \|y\| \end{array} \right. \quad (\text{A2.4})$$

Nous définissons la norme de matrices *induite* par  $N_1$  et  $N_2$ , de la façon suivante :

$$\|A\|_{N_1 N_2} = \inf \{ M, \|Ax\|_{N_2} \leq M \|x\|_{N_1}, \quad x \in \mathbb{R}^{1 \times n} \} \quad (\text{A2.5})$$

avec la matrice  $\dot{\mathbf{x}}' \hat{\mathbf{e}}^{n \times m}$ .

Dans nos démarches, nous allons utiliser une définition équivalente [ROT, 86] à (A2.5) :

$$\|\dot{\mathbf{x}}\|_{N_1 N_2} = \sup \{ \|\mathbf{x} \dot{\mathbf{x}}\|_{N_1}, \|\mathbf{x}\|_{N_2} = 1 \} \quad (\text{A2.6})$$

Par conséquent, nous considérons un vecteur :

$$\mathbf{P} = [P_1, P_2, \dots, P_n]' \hat{\mathbf{e}}^{1 \times n}$$

avec la propriété suivante :

$$\|\mathbf{P}\|_{N_2} = n \max_{i=1}^n |P_i| = 1 \quad (\text{A2.7})$$

Nous obtenons la relation qui suit :

$$\max_{i=1}^n |P_i| = \mathbf{Error!} \quad (\text{A2.8})$$

Considérons par la suite les notations suivantes :

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Error!}' \hat{\mathbf{e}}^{n \times m} \quad (\text{A2.9})$$

En appliquant la définition (A2.6), nous obtenons :

$$\|\mathbf{P} \dot{\mathbf{x}}\|_{N_1} = \mathbf{Error!} \leq \mathbf{Error!} = \mathbf{Error!} \leq \mathbf{Error!} |P_i| \mathbf{Error!}$$

Après l'utilisation de (A2.8), nous pouvons écrire l'inégalité suivante :

$$\|\mathbf{P} \dot{\mathbf{x}}\|_{N_1} \leq \mathbf{Error!} \quad (\text{A2.10})$$

Nous démontrons par la suite l'atteignabilité de l'expression du terme droit de l'inégalité (A2.10). Pour cela, nous considérons le vecteur suivant :

$$\mathbf{k} = \mathbf{Error!}, \quad \mathbf{k}' \hat{\mathbf{e}}^{1 \times n} \text{ et } \|\mathbf{k}\|_{N_2} = n \mathbf{Error!} = 1 \quad (\text{A2.11})$$

Pour ce vecteur, nous pouvons écrire :

$$\|\mathbf{k} \dot{\mathbf{x}}\|_{N_1} = \mathbf{Error!} = \mathbf{Error!} \quad (\text{A2.12})$$

Nous concluons que la norme de matrices induite par  $N_1$  et  $N_2$  s'écrit sous la forme suivante :

$$\|\dot{\mathbf{T}}\|_{N_1 N_2} = \mathbf{Error!}, \quad \dot{\mathbf{T}} \in \mathbb{R}^{n \times m} \quad (\text{A2.13})$$

Nous pouvons vérifier aisément que l'expression (A2.13) satisfait les propriétés d'une norme de matrices :

$$\begin{aligned} 1) \quad & \|\dot{\mathbf{T}}\|_{N_1 N_2} = 0 \iff \mathbf{Error!} = 0 \iff \mathbf{Error!} = 0 \iff p_{ij} = 0, \\ & \quad \quad \quad \text{À } i = 1, \dots, n \text{ et } j = 1, \dots, m \\ 2) \quad & \|\lambda \dot{\mathbf{T}}\|_{N_1 N_2} = \mathbf{Error!} = \lambda \mathbf{Error!}, \quad \lambda \in \mathbb{R} \\ 3) \quad & \|\dot{\mathbf{T}} + \mathbf{Q}\|_{N_1 N_2} = \mathbf{Error!} \leq \mathbf{Error!} + \mathbf{Error!} = \|\dot{\mathbf{T}}\|_{N_1 N_2} + \|\mathbf{Q}\|_{N_1 N_2} \\ & \quad \quad \quad \text{À } \dot{\mathbf{T}} = [p_{ij}] \text{ et } \mathbf{Q} = [q_{ij}] \in \mathbb{R}^{n \times m} \end{aligned}$$

### Annexe 3 - Propriété d'une chaîne de Markov à double échelle de temps

#### Théorème 3

Dans une chaîne de Markov ergodique à double échelle de temps, le rapport des dynamiques et le rapport des couplages sont du même ordre de grandeur.

-Démonstration-

Soit une chaîne de Markov irréductible finie, présentant la double échelle de temps :

$$\boxed{\hspace{15cm}} \quad (\text{A3.1})$$

En écrivant le coefficient de perturbation  $\mu$  de la chaîne, à l'aide de la norme de matrices définie dans l'annexe 2 :

$$\mu = \mathbf{Error!} \ll 1. \quad (\text{A3.2})$$

nous obtenons l'inégalité suivante :

$$\|\dot{\mathbf{T}}_{11}\|_{N_1 N_2} \gg \|\dot{\mathbf{T}}_{22}\|_{N_1 N_2} \quad (\text{A3.3})$$

La matrice de transition d'une chaîne de Markov présente la propriété de stochasticité. Dans ce sens, l'utilisation de la même norme de matrices nous permet d'écrire :

$$\|\dot{\mathbf{T}}_{11}\|_{N_1 N_2} + \|\dot{\mathbf{T}}_{12}\|_{N_1 N_2} = \|\dot{\mathbf{T}}_{21}\|_{N_1 N_2} + \|\dot{\mathbf{T}}_{22}\|_{N_1 N_2} \quad (\text{A3.4})$$

En utilisant la condition (A3.3) dans l'égalité (A3.4) il nous vient alors :

$$\| \dot{\tau}_{11} \|_{N_1 N_2} - \| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2} = \| \dot{\tau}_{21} \|_{N_1 N_2} - \| \dot{\tau}_{12} \|_{N_1 N_2} \gg 0 \quad (\text{A3.5})$$

d'où la relation :

$$\| \dot{\tau}_{21} \|_{N_1 N_2} \gg \| \dot{\tau}_{12} \|_{N_1 N_2} \quad (\text{A3.6})$$

Dans une chaîne de Markov ergodique à double échelle de temps, les probabilités de passage des états rapides vers les états lents sont plus importantes que celles de passage des états lents vers les rapides.

Nous allons noter par  $\theta$  le rapport des couplages entre les états lents et les rapides :

$$\theta = \frac{\| \dot{\tau}_{21} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{12} \|_{N_1 N_2}} \ll 1 \quad (\text{A3.7})$$

En introduisant les relations (A3.2) et (A3.7) dans l'égalité (A3.4), nous pouvons écrire :

$$\frac{\| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{12} \|_{N_1 N_2}} + \frac{\| \dot{\tau}_{12} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2}} = \frac{\| \dot{\tau}_{21} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{11} \|_{N_1 N_2}} + \frac{\| \dot{\tau}_{11} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{21} \|_{N_1 N_2}}$$

et par la suite :

$$\frac{\| \dot{\tau}_{12} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2}} = \theta \quad (\text{A3.8})$$

Vu que le facteur de séparation des dynamiques et le facteur de couplage sont proches de zéro, nous pouvons faire l'approximation  $\mu\theta \approx 0$ . Nous obtenons par conséquent :

$$\frac{\| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{12} \|_{N_1 N_2}} = \theta \quad (\text{A3.9})$$

Evaluons le rapport  $\frac{\| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{21} \|_{N_1 N_2}}$  en fonction des relations (A3.9) et (A3.7) :

$$\frac{\| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{21} \|_{N_1 N_2}} = \frac{\| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{12} \|_{N_1 N_2}} \cdot \theta = \mu \quad (\text{A3.10})$$

Une quantification de l'ordre de chaque sous matrice peut se faire à partir de la relation donnée par la stochasticté de la matrice de transition  $\dot{\tau}$  :

$$\| \dot{\tau}_{21} \|_{N_1 N_2} + \| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2} = 1 \quad (\text{A3.11})$$

En remplaçant l'expression (A3.10) dans cette relation, nous obtenons les résultats suivants :

$$\| \dot{\tau}_{21} \|_{N_1 N_2} = \theta \mu \quad \text{et} \quad \| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2} = 1 - \theta \mu \quad (\text{A3.12})$$

Si nous introduisons maintenant l'expression de la norme de  $\dot{\tau}_{22}$  dans la relation (A3.2) et (A3.9), nous obtenons :

$$\frac{\| \dot{\tau}_{11} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{12} \|_{N_1 N_2}} = \frac{\| \dot{\tau}_{11} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2}} \cdot \theta \quad \text{et respectivement} \quad \frac{\| \dot{\tau}_{11} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{21} \|_{N_1 N_2}} = \frac{\| \dot{\tau}_{11} \|_{N_1 N_2}}{\| \dot{\tau}_{22} \|_{N_1 N_2}} \cdot \theta \quad (\text{A3.13})$$

La relation entre les deux facteurs  $\mu$  et  $\theta$  peut être déduite à partir de l'égalité :



$$\| \dot{\mathbf{T}}_{11} \|_{N_1 N_2} + \| \dot{\mathbf{T}}_{12} \|_{N_1 N_2} = 1 \quad (\text{A3.14})$$

qui donne l'équation suivante :

$$\mathbf{Error}! + \mathbf{Error}! = 1, \text{ ce qui implique } \theta = \mu \quad (\text{A3.15})$$

Dans une chaîne de Markov à double échelle de temps, la séparation des dynamiques est du même ordre que le rapport des couplages.

#### Annexe 4 - Méthode globale de mise en évidence des dynamiques

##### Théorème 5

Soit la chaîne de Markov finie homogène ergodique à commande, caractérisée par l'équation fondamentale suivante :

$$\mathbf{P}(n+1) = \mathbf{P}(n) \mathbf{Error}! \quad (\text{IV.42})$$

avec  $\mathbf{P}(n) \in \mathbb{R}^{1 \times r}$ ,  $\mathbf{A}n = 0, 1, 2, \dots$ ;  $\dot{\mathbf{T}}_k \in \mathbb{R}^{r \times r}$ ,  $k = 1, \dots, K$ ;  $\mathbf{U} = [u_1; u_2; \dots; u_K] \in \Omega \in \mathbb{R}^K$ .

Si pour toutes les matrices  $\dot{\mathbf{T}}_k$  le tracé des disques de Gershgorine indique une séparation en deux dynamiques et que les variables lentes et les variables rapides sont dans tous les cas les mêmes, alors la chaîne de Markov à commande est à double échelle de temps sur tout l'espace de commande  $\Omega$ .

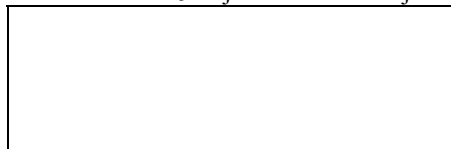
- Démonstration -

L'existence des disques de Gershgorine séparées pour toutes les matrices  $\dot{\mathbf{T}}_k$ , avec les mêmes variables lentes (indices  $I_i$ ) et rapides (indices  $I_j$ ) correspond à l'inégalité (proposition 1 chapitre II) :

$$\text{sign}\{u_k\} (p^{k,ii} - p^{k,jj}) >> R^{k,i} + R^{k,j} \quad (\text{A4.1})$$

$\forall i \in I_i \text{ et } \forall j \in I_j, \text{ avec } I_i \cap I_j = \emptyset, I_i \cup I_j = \{1, 2, \dots, r\}, k = 0, 1, \dots, K$

où



représentent les rayons des disques de Gershgorine construits sur les colonnes de la matrice :



La multiplication des relations (A4.1) avec  $|u_k|$  nous donne :

$$u_k p^{k,ii} - u_k p^{k,jj} \gg |u_k| R'^{k,i} + |u_k| R'^{k,j} \quad (A4.2)$$

$\forall i \in I_i \text{ et } \forall j \in I_j, \text{ avec } I_i \cap I_j = \emptyset, I_i \cup I_j = \{1, 2, \dots, r\}, k = 0, 1, \dots, K$

et en additionnant les relations (A4.2) pour  $k = 0, 1, \dots, K$ , nous pouvons écrire :

$$\gg p^{0,ii} + p^{1,ii} u_1 + p^{2,ii} u_2 + \dots + p^{K,ii} u_K - (p^{0,jj} + p^{1,jj} u_1 + p^{2,jj} u_2 + \dots + p^{K,jj} u_K)$$

$\gg$

$$\boxed{\phantom{\text{expression}}}$$

$$\forall i \in I_i \text{ et } \forall j \in I_j, \text{ avec } I_i \cap I_j = \emptyset, I_i \cup I_j = \{1, 2, \dots, r\}$$

En utilisant les propriétés du module, nous obtenons par la suite :

$$p^{i,ii}(U) - p^{i,jj}(U) \gg \boxed{\phantom{\text{expression}}} \geq$$

$$\geq \boxed{\phantom{\text{expression}}} = \boxed{\phantom{\text{expression}}}$$

$\forall i \in I_i \text{ et } \forall j \in I_j, \text{ avec } I_i \cap I_j = \emptyset, I_i \cup I_j = \{1, 2, \dots, r\}, \forall U \in \Omega$

et sous une autre forme :

$$p^{i,ii}(U) - p^{i,jj}(U) \gg R'^{k,i}(U) + R'^{k,j}(U) \quad (A4.3)$$

$\forall i \in I_i \text{ et } \forall j \in I_j, \text{ avec } I_i \cap I_j = \emptyset, I_i \cup I_j = \{1, 2, \dots, r\}, \forall U \in \Omega$

avec  $R'^{k,i}(U)$ ,  $R'^{k,j}(U)$  représentant les rayons des disques de Gershgorine de la matrice de transition :

$$\ddagger(U) = \ddagger_0 + \ddagger_1 \cdot u_1 + \ddagger_2 \cdot u_2 + \dots + \ddagger_K \cdot u_K$$

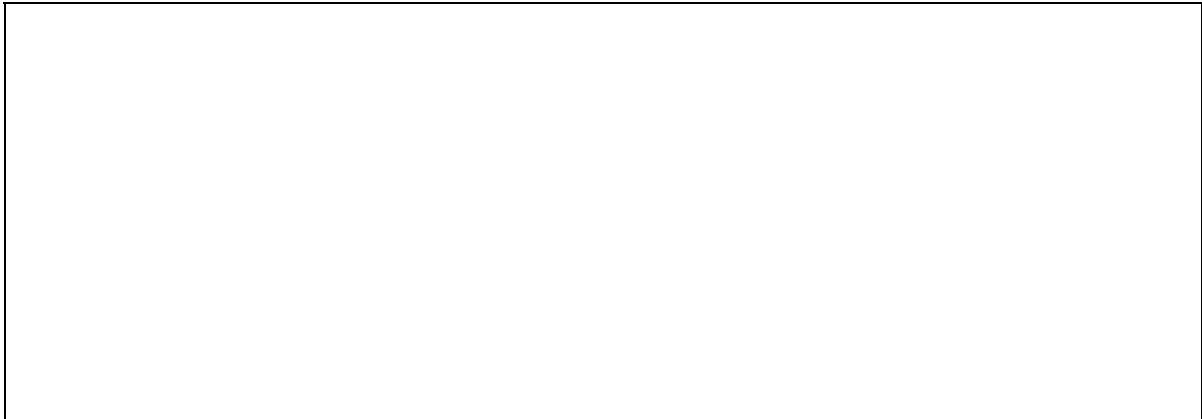
La relation (A4.3) démontre l'existence de la double échelle de temps de la chaîne de Markov bilinéaire sur tout l'espace de commande.

## ***Annexe 5 - Présentation du système de barrages***

### ***A5.1. Aménagement du Chatelot***

La chute du Chatelot, le premier barrage du système énergétique étudié, utilise la dénivellation du Doubs franco-suisse entre le pied du "Saut du Doubs" et les "Graviers". La rive gauche fait partie du département du Doubs - France, tandis que la rive droite appartient au canton Neuchâtel - Suisse (fig. A5.1).

Le barrage est géré par une société anonyme de droit suisse avec le siège à Chaux-de-Fonds, dont 50% du capital-actions appartient à l'Electricité de France et 50% à diverses sociétés suisses. La mise en service du barrage date de 1930.



*Fig. A5.1. Emplacement du barrage et de l'usine du Chatelot.*

Le profil correspondant en long du Doubs est représenté dans la figure suivante



Fig. A5.2. Le Chatelot - profil en long du Doubs.

Hydrologie : - Cours d'eau : Doubs  
- Bassin versant : 911 km<sup>2</sup> (64,7 km<sup>2</sup> sur territoire suisse et 846,3 km<sup>2</sup> sur territoire français)  
- Débit max. aménagé (prise d'eau max.) : 44 m<sup>3</sup>/s

Puissance installée : 30 000 kW - 61 200 kVA  
2 groupes - turbines 15 000 kW  
- alternateurs 20 400 kVA

Productibilité moyenne annuelle : 100·10<sup>6</sup> kWh (partagés 50% France, 50% Suisse)

Mode d'exploitation : éclusée

Chute brute (différence de niveau entre la retenue et la restitution) : maximum 97 m  
minimum 67 m

Retenue : Réserve utile : 16 000 000 m<sup>3</sup>  
Niveau max. : 716 m  
Niveau min. : 686 m

Débit réservé (débit minime en aval du barrage) :  $\Omega_{\text{barrage}} \geq 1000 \text{ l/s}$

Ouvrages d'amenée :

- galerie en charge de longueur 3 km et diamètre 3,70 m ; pente 4,10‰
- puits sous pression longueur 141 m diamètre 3 à 1,5 m.

Un schéma du système hydro-énergétique du Chatelot, avec les éléments de base, est présenté dans la figure qui suit :



Fig. A5.3. Le Chatelot - caractéristiques générales.

### A5.2. Aménagement du Refrain

Concession : Française 31 Août 1962  
Suisse 24 Mars 1961

Mise en service : 1909

Modernisation : 1917 Groupe 2 (3,2 MW)  
1940 Groupes 1 et 3 (4,38 MW)  
1957 Nouveau barrage  
1968 Automatisation  
1979 Automatisation  
1994 Automatisation

Commune : CHARQUEMONT

Hydrologie : - Cours d'eau : Doubs  
- Bassin versant : 1055 km<sup>2</sup>  
- Débit moyen naturel : 23,7 m<sup>3</sup>/s

Puissance installée : 12 560 kW - 18 600 kVA  
Groupe 1 et 3 - turbines 4380 kW  
- alternateurs 7300 kVA  
Groupe 2 - turbine 3200 kW  
- alternateur 4000 kVA

Productibilité moyenne annuelle : 60·10<sup>6</sup> kWh

Coefficient énergétique : 0,130 kWh/m<sup>3</sup>

Mode d'exploitation : éclusée

Chute Brute : 66 m maximal

Nette : 56 m (à débit nominal)

Débit maximal turbinable : 23 m<sup>3</sup>/s

Retenue : Réserve utile : 1 600 000 m<sup>3</sup>

Niveau max. : 609,5 m

Tranche utile : 2 m

Ouvrages d'amenée : Galerie en charge de longueur 2689 m et section 7,44 m<sup>2</sup>

Conduites forcées : 2 conduites de longueur 122 m et section 3,14 m<sup>2</sup>

Débit réservé (débit minime en aval du barrage) :  $\Omega_{\text{barrage}} \geq 250 \text{ l/s}$

Un plan de l'aménagement de l'usine du Refrain est présenté dans la figure A5.4.

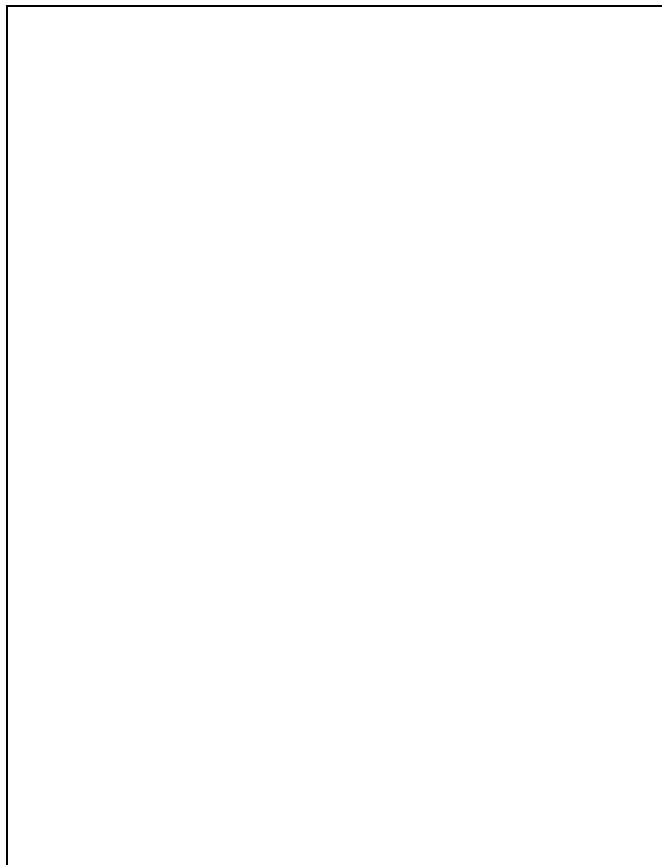


Fig. A5.4. Usine du Refrain.

### **A5.3. Aménagement de Vaufrey**

Concession : Française 14 Octobre 1942

Mise en service : 1949

Modernisation : 1968 Télécommande

1983 Modernisation

1996 Automatisation

Commune : VAUFREY

Hydrologie : - Cours d'eau : Doubs

- Bassin versant : 1357 km<sup>2</sup>

- Débit moyen naturel : 33 m<sup>3</sup>/s

Puissance installée : 6 400 kW - 8 000 kVA

2 groupes - turbines 3200 kW

- alternateurs 4000 kVA

Productibilité moyenne annuelle : 21,5 10<sup>6</sup> kWh

Coefficient énergétique : 0,024 kWh/m<sup>3</sup>

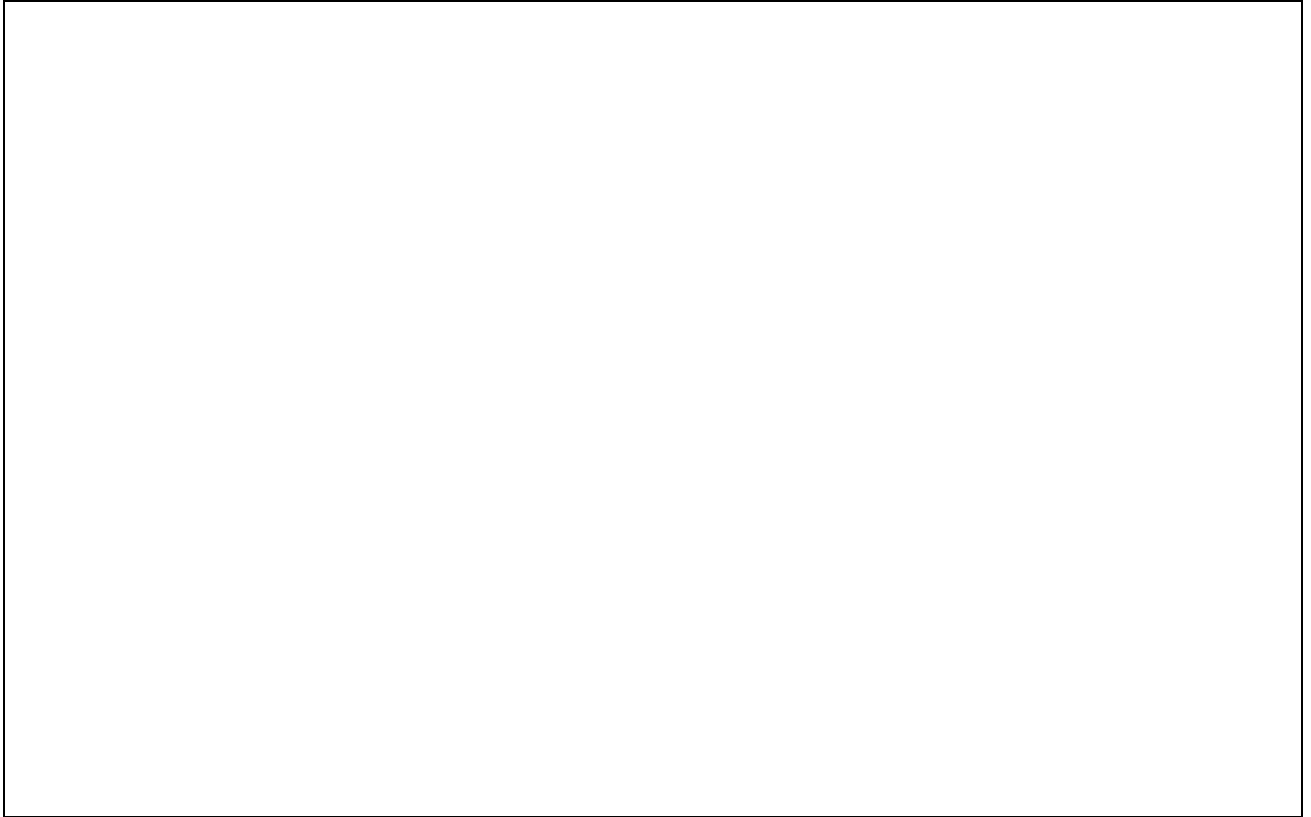
Mode d'exploitation : Éclusée

Chute Brute : 12,80 m maximal

Nette : 11,15 m (à débit nominal)

Débit maximal turbinable : 70 m<sup>3</sup>/s

Retenue : Réserve utile : 1 500 000 m<sup>3</sup>  
 Niveau max. : 409 m  
 Tranche utile : 4 m



*Fig. A5.5. Chute de Vaufrey.*

#### **A5.4. Aménagement de Grosbois**

Concession : Française 5 Avril 1923

Mise en service : 1927

Modernisation : 1979 Automatisation

1980 Installation groupe de restitution (0,004 MW)

Commune : SOULCE - CERNAY

Hydrologie : - Cours d'eau : Doubs

- Bassin versant : 1400 km<sup>2</sup>

- Débit moyen naturel : 33 m<sup>3</sup>/s

Puissance installée : 1 325 kW - 1400 kVA

Groupe 1 - turbine 1100 kW

- alternateur 1400 kVA

Groupe de restitution - turbine 41 kW

- alternateur 50 kVA

Productibilité moyenne annuelle : 2,8·10<sup>6</sup> kWh

Coefficient énergétique : 0,020 kWh/m<sup>3</sup>

Mode d'exploitation : Turbine les débits laissés disponibles par Liebvillers

Chute Brute : 11 m maximal

Nette : 10,65 m (à débit nominal)  
Débit maximal turbinable : 15,5 m<sup>3</sup>/s  
Retenue : Réserve utile : 1 500 000 m<sup>3</sup>  
Niveau max. : 396,5 m  
Tranche utile : 3 m  
Débit réservé : 4000 l/s ( $\Omega_{\text{barrage}} \geq 4000 \text{ l/s}$ )  
Consignes d'exploitation :

La retenue de Grosbois commence pratiquement au pied du barrage de Vaufrey.

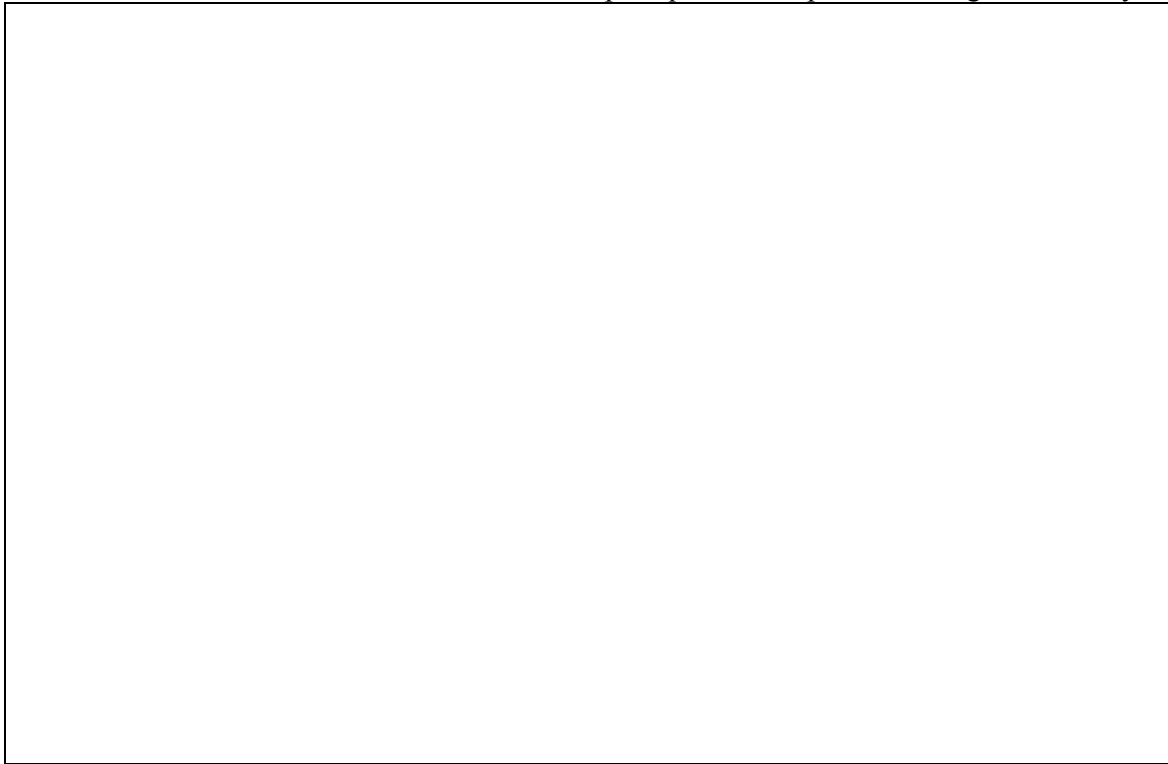


Fig. A5.6. Barrage de Grosbois.

#### ***A5.5. Aménagement de Liebvillers***

Concession : Française 5 Avril 1923  
Mise en service : 1927  
Modernisation : 1934-35 Turbines  
1966 Automatisation et modernisation des tableaux  
1971 Remplacement transformateur interne par un transformateur externe  
1979 Modernisation  
Commune : LIEBVILLERS  
Hydrologie : - Cours d'eau : Doubs  
- Bassin versant : 1400 km<sup>2</sup>  
- Débit moyen naturel : 33 m<sup>3</sup>/s  
Puissance installée : 12 880 kW - 13 200 kVA  
4 groupes - turbines 2400 kW  
- alternateurs 3300 kVA



Productibilité moyenne annuelle :  $48,5 \cdot 10^6$  kWh  
 Coefficient énergétique :  $0,054$  kWh/m<sup>3</sup>  
 Mode d'exploitation : Éclusee  
 Chute Brute : 37 m maximal  
       Nette : 26,70 m (à débit nominal)  
 Débit maximal turbinable :  $44$  m<sup>3</sup>/s  
 Retenue (barrage de Grosbois) :     Réserve utile :  $1\,500\,000$  m<sup>3</sup>  
   Niveau max. : 396,5 m  
   Tranche utile : 3 m  
 Ouvrages d'amenée : Galerie en charge de longueur 6000 m et section 17,10 à 15,35 m<sup>2</sup>  
 Conduites forcées : 4 conduites de longueur 91,60 m et section 3,14 m<sup>2</sup>

#### **A5.6. Aménagement de Dampjoux**

Concession : Française 19 Mai 1926

Mise en service : 1943

Modernisation :     1952 Semi-automatisation  
                           1968 Télécommande  
                           1982 Installation Groupe 3 (1,3 MW)  
                           1983 Modernisation  
                           1996 Automatisation

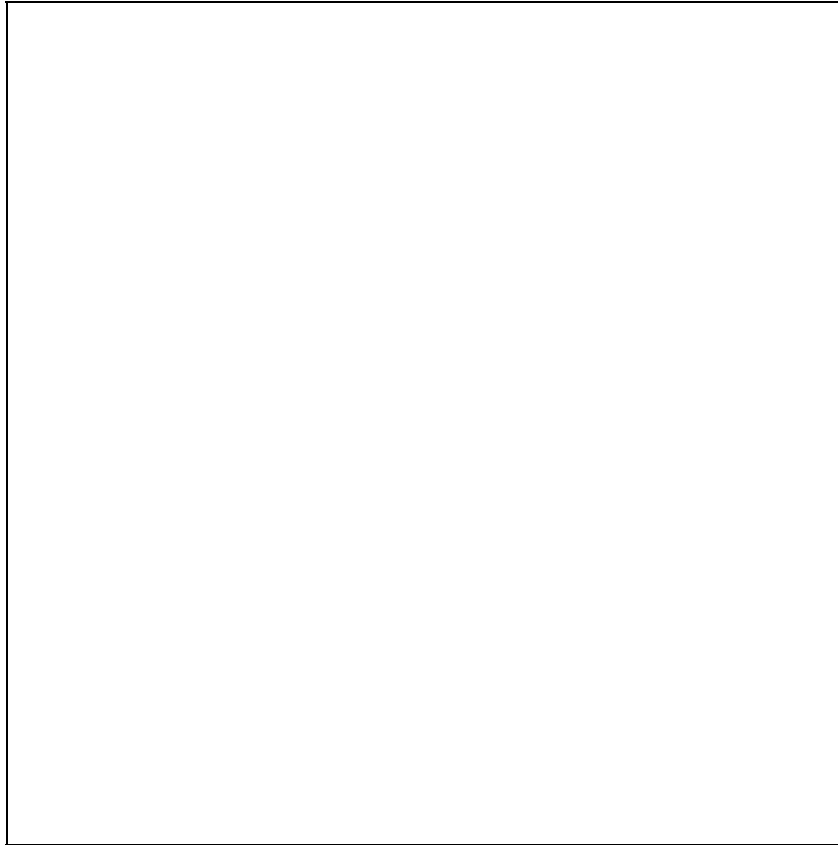
Commune : NOIREFONTAINE

Hydrologie : - Cours d'eau : Doubs  
                   - Bassin versant : 2000 km<sup>2</sup>  
                   - Débit moyen naturel :  $46,8$  m<sup>3</sup>/s

Puissance installée :  $4\,900$  kW -  $5\,945$  kVA  
                                   Groupe 1 et 2     - turbines 1800 kW  
   - alternateurs 2250 kVA  
                                   Groupe 3     - turbines 1300 kW  
   - alternateurs 1445 kVA

Productibilité moyenne annuelle :  $11,6 \cdot 10^6$  kWh  
 Coefficient énergétique :  $0,012$  kWh/m<sup>3</sup>  
 Mode d'exploitation : équipée pour travailler en éclusee mais travaille effectivement au fil de l'eau, à l'aide d'un système de régulation du débit. Ce système permet de laisser passer un même débit égale à celui d'entrée.

Chute Brute : 7,20 m maximal  
       Nette : 5,65 m (à débit nominal)  
 Débit maximal turbinable :  $105$  m<sup>3</sup>/s  
 Retenue :     Réserve utile :  $500\,000$  m<sup>3</sup>  
                   Niveau max. : 359,5 m  
                   Niveau min. : 357 m  
                   Tranche utile : 2 m

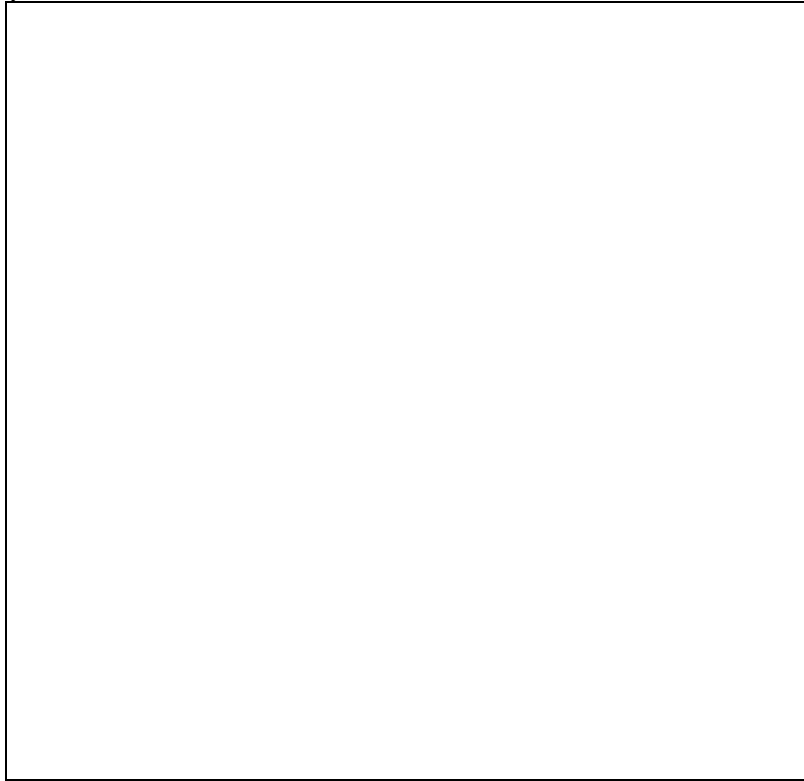


*Fig. A5.7. Barrage de Dampjoux.*

#### ***A5.7. Aménagement de la Prétière***

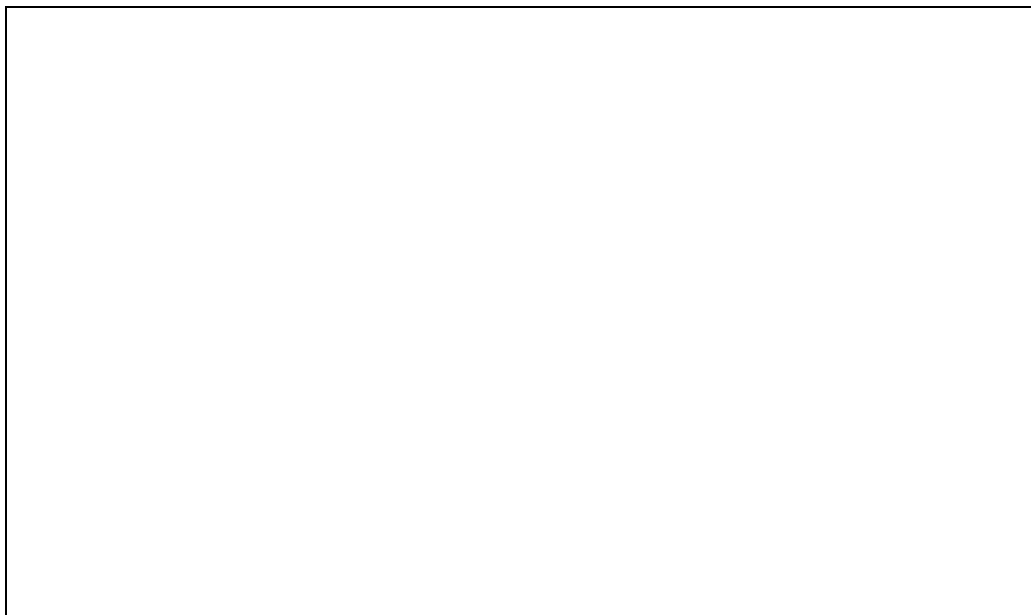
Concession : Française 1985  
Mise en service : 1923  
Commune : LA PRETIERE  
Hydrologie : - Cours d'eau : Doubs  
                  - Débit moyen naturel : 60 m<sup>3</sup>/s  
Puissance installée : 1 500 kW - 1 890 kVA  
                                  3 groupes       - turbines 504 kW  
  - alternateurs 630 kVA  
  
Productibilité moyenne annuelle : 9,7·10<sup>6</sup> kWh  
Coefficient énergétique : 0,010 kWh/m<sup>3</sup>  
Mode d'exploitation : Au fil de l'eau  
Chute Brute : 7 m maximal  
              Nette : 5,50 m (à débit max.)  
Débit maximal turbinable : 42 m<sup>3</sup>/s  
Retenue : Niveau max. : 296 m  
              Niveau restitution : 289,60 m  
              Hauteur de tranche utile insignifiante  
Ouvrages d'amenée : Canal de longueur 478 m, section 34 m<sup>2</sup>  
Conduites forcées : Néant

Le plan de l'emplacement de l'aménagement de La Prétière présente de façon schématique la prise d'eau, le tunnel et l'usine :



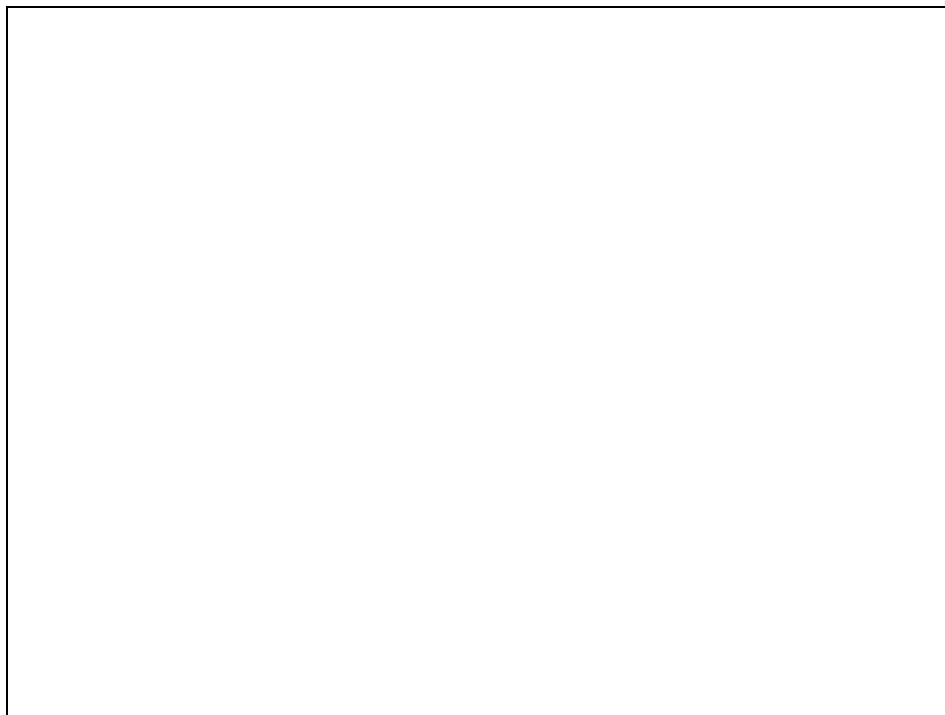
*Fig. A5.8. Usine de la Prétière.*

Dans la figure A5.9 nous présentons un détail de la prise d'eau correspondante :

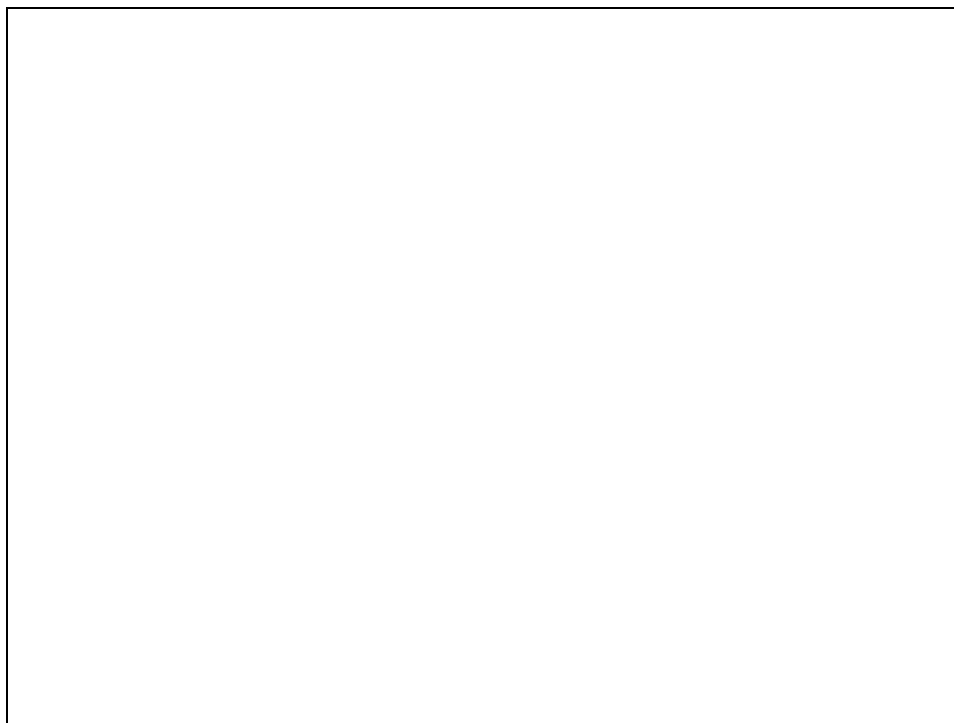


*Fig. A5.9. Chute de la Prétière - déversoir et prise d'eau.*

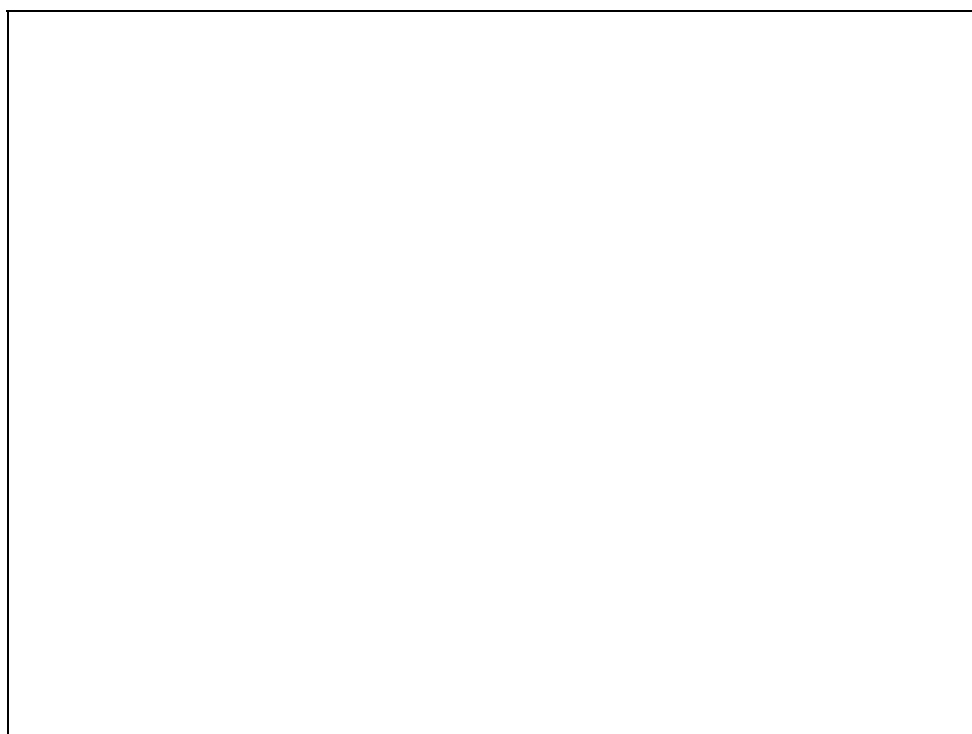
## ***Annexe 6 - Analyse statistique des apports d'eau***



*Fig.A6.1. Analyse statistique des apports du Saut du Doubs :  $x'_1$ .*



*Fig.A6.2. Analyse statistique des apports entre Chatelot et Refrain :  $x'_2$ .*



*Fig.A6.3. Analyse statistique sur les apports entre Refrain et Vaufrey :  $x'_3$ .*

\_\_\_\_\_

[illegible]











.....



**Chatelot** (*etats lents*) - commande  $u_I$

**Refrain** (*etats lents*) - commande  $u_2$

[illegible]

Tab.A8.2. Commande optimale du système lent - Refrain.

[illegible]

.....

.....





Tab.A8.5. Commande optimale du système rapide - Refrain.

| Age Group | Percentage |
|-----------|------------|
| 18-24     | 25%        |
| 25-34     | 20%        |
| 35-44     | 15%        |
| 45-54     | 10%        |
| 55-64     | 8%         |
| 65-74     | 7%         |
| 75-84     | 6%         |
| 85+       | 5%         |

