

Décembre 2011

ÉTUDE ECOLOGIQUE RELATIVE AU RETABLISSEMENT D'UN MARNAGE SUR LE LAC D'ANNECY



Vanne clapet du canal du Thiou



Marais de l'Enfer



Etude réalisée avec le soutien financier de :



Assistance au pilotage de l'étude et validation scientifique : Professeur G. Blake

Préambule

La stabilisation du niveau du Lac d'Annecy, par la régulation des débits des canaux du Thiou et du Vassé, a été identifiée comme un des facteurs responsables de la régression des roselières au cours du XX^{ème} siècle. Dans ce contexte et faisant suite aux différentes études réalisées depuis 2007, le SILA a initié une réflexion sur l'opportunité de modifier la gestion du niveau du Lac à des fins environnementales. C'est l'objectif du présent document qui se décompose en quatre modules principaux :

- Module 1 : Caractérisation de l'hydrologie du Lac et de sa gestion hydraulique.
- Module 2 : Synthèse bibliographique des expériences menées en termes de marnage ayant pour objectif une amélioration des herbiers d'hélophytes en général et de phragmitaie en particulier.
- Module 3 : Détermination des relations entre niveaux du Lac et la mise en eau des secteurs de roselières.
- Module 4 : Proposition et étude des impacts de différents scénarii de gestion hydraulique du Lac d'Annecy en utilisant en particulier les résultats des modules 1 et 3.

Ce dossier a été réalisé par les personnes suivantes :

- Muriel Haond (CNR) - module 1 : § 1, §2, §5, §6, §7, §8,
- Laurent Bourgoïn (SAGE Environnement) : module 1 : § 3 et § 4, modules 2, 3 et 4,
- Solène Nozay (SAGE Environnement) : module 2,
- Christophe Moiroud (CNR) : conseiller technique pour les modules 3 et 4.

Ont également participé à la réalisation des relevés topographiques de terrain nécessaires à la mise en œuvre du module 3 :

- Pierre Yves Mevellec (SAGE Environnement),
- Julien Lechanoine (SAGE Environnement),
- Camille Banne (SAGE Environnement),
- Jean Baptiste Fortin (SAGE Environnement),
- Franck Auger (SAGE Environnement)
- Laurent Bourgoïn (SAGE Environnement).

SOMMAIRE

MODULE 1

1	OBJECTIFS DU MODULE	11
2	PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT.....	11
3	REGULATION DU LAC D'ANNECY.....	12
3.1	HISTORIQUE.....	12
3.1.1	Les premiers travaux.....	12
3.1.2	Le projet de Sadi Carnot.....	13
3.2	LA REGULATION ACTUELLE.....	13
4	LES OUVRAGES ET LES METHODES DE REGULATION.....	14
4.1	LES OUVRAGES.....	14
4.2	METHODES DE REGULATION.....	16
4.3	ACTIVITES DEPENDANTES DU THIOU.....	16
5	HYDROLOGIE ET BILAN HYDRIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC D'ANNECY.....	18
5.1	DONNEES CLIMATIQUES.....	18
5.1.1	Pluviométrie au droit du Lac.....	18
5.1.2	Température.....	21
5.2	DONNEES HYDROMETRIQUES.....	22
5.2.1	Affluents instrumentés.....	22
5.2.2	Emissaires du Lac.....	28
5.3	EVAPORATION AU DROIT DU LAC.....	31
5.4	PRELEVEMENTS POUR ACTIVITES HUMAINES.....	32
5.5	FORMULATION DU BILAN HYDRIQUE.....	34
6	ANALYSE DES CHRONIQUES DE NIVEAU.....	37
6.1	HISTORIQUE DE LA REGULATION DU LAC.....	37
6.2	EVOLUTION DU NIVEAU MOYEN DE LA RETENUE ET DU MARNAGE ANNUEL.....	37
6.2.1	Niveau moyen annuel du Lac.....	37
6.2.2	Niveau moyen mensuel.....	38
6.2.3	Niveau moyen journalier.....	42
6.3	ETUDE DES EXTREMES.....	44
6.3.1	Recensement des extrêmes.....	44
6.3.2	Dates d'observation des extrêmes.....	45
6.3.3	Recensement des débordements extrêmes.....	46
7	SIMULATION DU FONCTIONNEMENT DU LAC EN REGIME NATUREL.....	48
7.1	COURBES DE TARAGE DES EMISSAIRES EN ECOULEMENT LIBRE.....	48
7.1.1	Emissaire du Thiou :.....	48
7.1.2	Emissaire du canal du Vassé.....	49
7.1.3	Courbe de tarage des émissaires.....	50
7.2	COURBE DE CAPACITE DU LAC.....	51
7.3	SIMULATION DU NIVEAU DU LAC EN REGIME NATUREL ET SOUS CONDITIONS CLIMATIQUES ACTUELLES.....	52
7.4	SIMULATION DU NIVEAU DU LAC EN REGIME NATUREL AVEC HYPOTHESES DE CONDITIONS CLIMATIQUES A HORIZON 2050.....	53
8	CONCLUSION DU MODULE 1.....	57

MODULE 2

1	REMARQUES	58
2	SYNTHESE.....	58

MODULE 3

1	METHODOLOGIE	67
1.1	ELABORATION DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN	67
1.2	LES SIMULATIONS D'EXONDATIONS- INONDATIONS	67
2	RESULTATS ET COMMENTAIRES.....	70
2.1	SIMULATIONS DE HAUSSES DU NIVEAU DU LAC.....	70
2.2	SIMULATIONS DE BAISES DU NIVEAU DU LAC	72
2.3	CONCLUSION.....	78

MODULE 4

1	DONNEES ECOLOGIQUES SUR LE ROSEAU ET EFFETS DU NIVEAU DES EAUX SUR SON DEVELOPPEMENT ..	83
1.1	PHENOLOGIE DU ROSEAU (<i>PHRAGMITES AUSTRALIS</i>)	83
1.2	FICHE D'IDENTITE D'UNE ROSELIERE AQUATIQUE.....	84
1.3	FACTEURS INFLUENÇANT L'EVOLUTION DES ROSELIERES	85
1.4	AUGMENTATION/BAISSE DU NIVEAU DES EAUX	85
2	L'AVIFAUNE.....	87
3	LE CASTOR.....	88
4	LES ODONATES.....	89
5	PEUPEMENT PISCICOLE DU LAC D'ANNECY	90
5.1	DONNEES DE CADRAGE DISPONIBLES	90
5.2	CARACTERISTIQUES ET REPARTITION DU PEUPEMENT PISCICOLE EN ZONE LITTORALE.....	91
5.3	GROUPES D'ESPECES POTENTIELLEMENT INFLUENCEES.....	93
6	DEFINITION DES SCENARII HYDROLOGIQUES ET EVALUATION DE LEUR FAISABILITE TECHNIQUE	93
6.1	SCENARIO N°1 - TYPE « CONDITIONS PRIVILEGIEES POUR LE ROSEAU».....	94
6.2	SCENARIO N°2 - TYPE EVOLUTION « REGIME NATUREL » APPLIQUEE AUX CONDITIONS ACTUELLES.....	96
6.3	SCENARIO N°3 CONSTRUIT A PARTIR DE LA COURBE DE NIVEAUX SIMULEE A L'HORIZON 2050 MAIS APPLIQUEE (EN PARTIE) AUX CONDITIONS DE REGULATION ET CLIMATIQUES ACTUELLES	97
6.4	TABLEAU DE SYNTHESE DES TROIS SCENARII	99
7	LES IMPACTS ENVISAGES	100
7.1	SCENARIO 1	100
7.1.1	La roselière aquatique	100
7.1.2	Les oiseaux.....	106
7.1.3	Le castor.....	107
7.1.4	Les odonates.....	107
7.1.5	L'ichtyofaune	108
7.1.6	Les sédiments	110
7.2	SCENARIO 2	111
7.2.1	La végétation	111
7.2.2	La faune	112
7.2.3	Les sédiments	117
7.3	SCENARIO 3	117
7.3.1	La végétation	117
7.3.2	La faune	123

7.3.3	Les sédiments	123
7.4	LES INDICATEURS A SUIVRE	124
8	CONCLUSION	127
9	FICHES DE SYNTHÈSE	129

RESUME DE L'ETUDE

126

Liste des figures

MODULE 1

figure 1	Courbes hypsométriques – affluents du Lac d'Annecy	12
figure 2	Localisation des exutoires du Lac et des micros centrales.....	15
figure 3	Pluviométrie de l'année hydrologique 1966-1967 – source ORSTOM [4]	19
figure 4	Précipitations mensuelles, période 1976 -2010 – Lac d'Annecy	20
figure 5	Précipitations annuelles – Cran-Gévrier.....	20
figure 6	Température moyenne annuelle °C , période 1976 – 2010 – Cran Gévrier	21
figure 7	Débits moyens mensuels spécifiques – affluents instrumentés	23
figure 8	Ajustement de Gumbel – station de la Bornette à Lathuile	25
figure 9	Répartition saisonnières des crues extrêmes – affluents du Lac d'Annecy	27
figure 10	Chronique des débits annuels du Thiou et du canal du Vassé, 1967 - 2010	29
figure 11	Evolution des débits mensuels du Thiou et du canal du Vassé	29
figure 12	Coefficients mensuels des débits sortants et des apports instrumentés	30
figure 13	Répartition saisonnière des crues extrêmes des canaux d'Annecy	31
figure 14	Evaporation mensuelle – retenue du Lac d'Annecy.....	32
figure 15	Evolution des prélèvements annuels pour activités humaines – pompage d'Annecy	34
figure 16	Lames d'eau écoulées trimestrielles (mm) – BV d'Annecy	35
figure 17	Evolution du niveau moyen annuel du Lac d'Annecy pour différentes périodes historiques.....	38
figure 18	Evolution mensuelle du niveau du Lac d'Annecy – début du XX ^{ème} Siècle.....	39
figure 19	Evolution mensuelle des débits et précipitations - Lac d'Annecy – début du XX ^{ème} Siècle.....	40
figure 20	Evolution des niveaux mensuels du Lac d'Annecy pour différentes périodes	41
figure 21	Evolution des niveaux extrêmes mensuels du Lac d'Annecy pour différentes périodes historiques .	42
figure 22	Evolution des niveaux journaliers du Lac d'Annecy pour différentes périodes	43
figure 23	Chroniques historiques des cotes extrêmes annuelles	44
figure 24	Répartition des cotes maxima annuelles en fonction du régime hydraulique du Lac d'Annecy naturel ou influencé	45
figure 25	Répartition des cotes minima annuelles en fonction du régime hydraulique du Lac d'Annecy naturel ou influencé	46
figure 26	Recensement des cotes extrêmes du Lac : supérieures à 1m30 / zéro de l'échelle du Pont de la Halle	47
figure 27	Recensement des étiages extrêmes du Lac : inférieurs ou égaux à 40 cm / zéro de l'échelle du Pont de la Halle	47
figure 28	Courbe de tarage écoulement libre – canal du Thiou	49
figure 29	Courbe de tarage écoulement libre – canal du Vassé.....	50
figure 30	Courbe de tarage – Emissaires du Lac d'Annecy en écoulement libre.....	51
figure 31	Courbe de capacité du Lac d'Annecy - source Orstom.....	52
figure 32	Evolution de la cote du Lac d'Annecy en régime naturel et régulé, sous conditions climatiques actuelles	53
figure 33	Evolution de la cote du Lac d'Annecy en régime naturel pour différents scénarii de changement climatique à horizon 2050.....	55
figure 34	Evolution de la cote du Lac d'Annecy en régime naturel pour différents scénarii de changement climatique à horizon 2050.....	56

MODULE 3

figure 1	: Localisation des secteurs ayant fait l'objet de relevés topographiques	69
figure 2	: Surfaces totales exondées pour les trois secteurs	73
figure 3	: Pourcentage de roselières exondées pour les trois secteurs.....	74
figure 4	: Pourcentages de surfaces exondées non végétalisées par rapport à la surface de roselières aquatiques	74
figure 5	: Taux d'occupation par la phragmitaie entre les cotes 445,91 et 446,91	76
figure 6	: Répartition des roselières par profondeur.....	76
figure 7	: Répartition des surfaces exondées pour les trois secteurs.....	78
figure 8	Marais de L'enfer - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau simulées de 446,41 et 447,41	80
figure 9	Sentier des roselières - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau simulées de 446,41 et 447,41	81
figure 10	Bout du Lac - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau simulées de 446,41 et 447,41	82

MODULE 4

figure 1	Résultats bruts lors de l'échantillonnage de la zone littorale du Lac d'Annecy	91
figure 2	Distribution verticale des captures réalisées sur la zone littorale prospectée du Lac d'Annecy	92
figure 3	Chronique mensuelle des niveaux du Lac dans le cas du scénario 1	95
figure 4	Chronique mensuelle du débit du Thiou dans le cas du scénario 1	95
figure 5	Chronique annuelle des niveaux du Lac dans le cas du scénario 2	96
figure 6	Chronique mensuelle du débit du Thiou dans le cas du scénario 2	97
figure 7	Chronique annuelle des niveaux du Lac dans le cas du scénario 3	98
figure 8	Chronique mensuelle du débit du Thiou dans le cas du scénario 3	98
figure 9	Marais de L'enfer - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 1	102
figure 10	Sentier des roselières - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 1	103
figure 11	Bout du Lac - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 1	104
figure 12	Marais de L'enfer - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 2	114
figure 13	Sentier des roselières - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 2	115
figure 14	Bout du Lac - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 2	116
figure 15	Marais de L'enfer - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 3	119
figure 16	Sentier des roselières - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 3	120
figure 17	Bout du Lac - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 3	121

Liste des tableaux

MODULE 1

tableau 1.	Liste des postes pluviométriques –source Météo-France	18
tableau 2.	Pluviométries annuelles – Lac d'Annecy	18
tableau 3.	Précipitation mensuelles en mm – observations au poste de Cran-Gévrier, période 1976 - 2010	19
tableau 4.	Température mensuelle en °C – poste de Cran Gévrier 1976- 2010	21

tableau 5.	Recensement stations hydrométriques – bassin du Lac d’Annecy (source : Banque Hydro)	22
tableau 6.	Débits moyens mensuels et annuels– affluents instrumentés	23
tableau 7.	Débits caractéristiques de crues des affluents instrumentés du Lac d’Annecy	26
tableau 8.	Débits caractéristique d’étéages - affluents instrumentés du Lac d’Annecy	27
tableau 9.	débits moyens mensuels et annuel – canaux d’Annecy.....	28
tableau 10.	Débits caractéristiques de crue – canaux d’Annecy période 1993 - 2010	30
tableau 11.	Débits caractéristiques des étéages – émissaires du Lac d’Annecy.....	31
tableau 12.	Evaporation mensuelle et annuelle calculée pour le Lac d’Annecy.....	32
tableau 13.	Prélèvements mensuels dans Lac d’Annecy pour activités humaines (10 ³ m ³) – source Communauté de l’Agglomération d’Annecy.....	33
tableau 14.	Prélèvements annuels dans Lac d’Annecy pour activités humaines (10 ³ m ³) – source Agence de l’Eau RMC 33	
tableau 15.	Prélèvements mensuels dans Lac d’Annecy pour activités humaines (10 ³ m ³).....	34
tableau 16.	lames d’eau écoulées (mm) – bassin versant d’Annecy	35
tableau 17.	Bilan hydrique mensuel du Lac d’Annecy – m ³ /s.....	36
tableau 18.	Variation du marnage annuel du Lac – début XX ^{ème} Siècle	40
tableau 19.	Synthèse du marnage moyen annuel du Lac en fonction de la régulation	41
tableau 20.	Synthèse du marnage annuel pour différents pas de temps – mensuel et journalier.....	43
tableau 21.	Cotes moyennes journalières extrêmes annuelles par période historique	45
tableau 22.	Présentation des hypothèses retenues pour les 9 scénarii de changement climatique à horizon 2050	54
tableau 23.	Bilan hydrique annuel des 9 scénarii de changement climatique retenus	54

MODULE 3

tableau 1.	: Marais de l’Enfer - Données de surfaces pour une simulation à la hausse de la cote du Lac.....	70
tableau 2.	Sentier des Roselières - Données de surfaces pour une simulation à la hausse de la cote du Lac.....	70
tableau 3.	: Bout du Lac - Données de surfaces pour une simulation à la hausse de la cote du Lac	71
tableau 4.	: Marais de l’Enfer - Données de surfaces pour une simulation à la baisse de la cote du Lac	72
tableau 5.	: Données de surfaces pour une simulation à la baisse de la cote du Lac.....	72
tableau 6.	: Données de surfaces pour une simulation à la baisse de la cote du Lac.....	73

Liste des annexes

Annexe 1	Bibliographie relative au module 1
Annexe 2	Relation systèmes orthométriques NGF - IGN
Annexe 3	Arrêtés préfectoraux concernant l’autorisation de la remise en état des micros centrales des Forges et des Papeteries.
Annexe 4	Implantation des stations hydrométriques et pluviométriques
Annexe 5	Recensement des sources de données
Annexe 6	Répartition saisonnière des volumes entrant en jeu dans le bilan hydrique du Lac d’Annecy
Annexe 7	Evolution des niveaux mensuels extrêmes du Lac par saison et par période historique
Annexe 8	Profil en long du canal du Thiou
Annexe 9	Profil en long du canal du Vassé
Annexe 10	Evolutions historiques mensuelles du niveau du Lac + Simulation écoulement libre – climat actuel
Annexe 11	Evolutions mensuelles du niveau du Lac : climat actuel et à Horizon 2050
Annexe 12	Synthèse bibliographique – Evolution de la climatologie du Lac d’Annecy à l’horizon 2050
Annexe 13	Règlement de 1877

Remarque :

Sauf mention contraire dans le texte, les altitudes indiquées sont données dans le système orthométrique IGN. Les correspondances entre le système NGF (antérieures à 1969) et IGN sont rappelées en annexe 2.

MODULE 1 :

Caractérisation de la gestion du niveau du Lac d'Annecy

SYNTHESE

Cinq chapitres principaux constituent ce module.

Phases 1 : Rappel des consignes et objectifs de régulation du Lac

Le Lac est domaine d'Etat qui depuis la fin du XIX^{ème} Siècle a confié à la Ville d'Annecy la responsabilité des manœuvres de vannes. Le niveau du Lac doit être maintenu le plus près possible de la "cote légale de retenue" qui a été fixée à 80 cm à l'échelle de lecture située au Pont de la Halle. Cependant, compte tenu des risques d'inondation dus aux conditions météorologiques très variables selon les saisons, et inversement en période d'étiage, des seuils de sécurité à respecter ont été établis par les services techniques de la ville d'Annecy :

- en période d'hiver : cote mini 60 cm et cote maxi 70 cm,
- en période d'été : cote mini 70 cm et cote maxi 90 cm.

Phase 2 : Description des ouvrages de régulation au droit des différents émissaires

La Ville dispose de trois déversoirs équipés de jeux de vannes de retenue pouvant évacuer un débit maximal de 51 m³/s :

- le canal du Thiou (canal principal) dont les vannes ont été changées en 1965,
- le canal du Vassé,
- le canal Saint Dominique.

Précisons que la quasi-totalité du débit sortant transite par les deux premiers canaux, le troisième étant anecdotique.

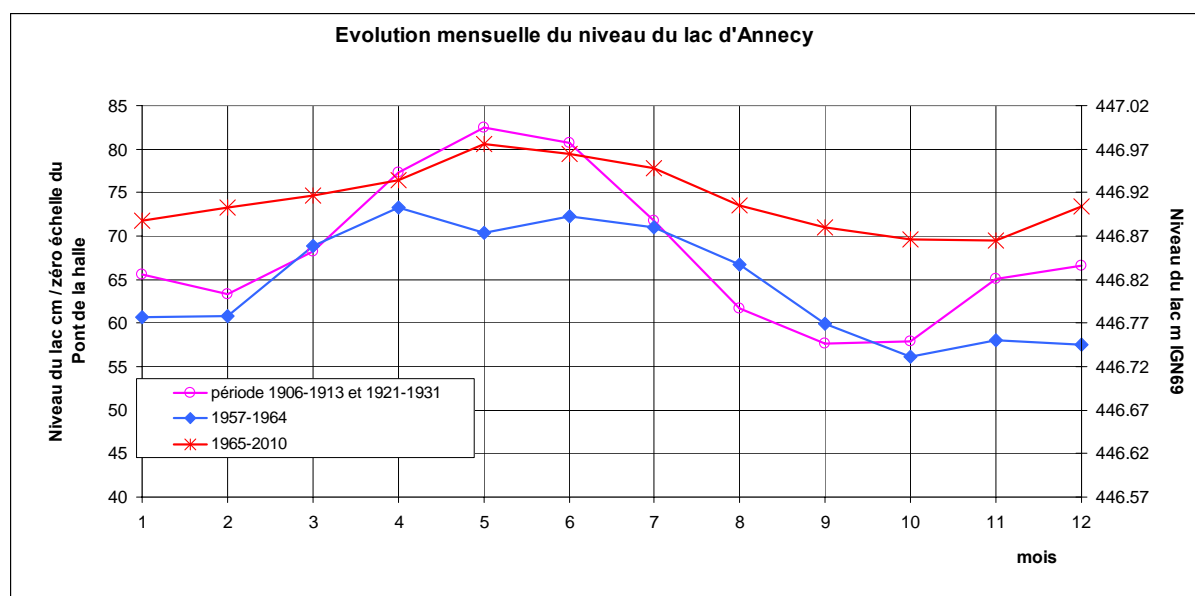
Phase 3 : Connaissances hydrologiques :

La présente étude a permis de mettre à jour les connaissances hydrologiques du bassin versant du Lac d'Annecy (apport moyen, débits extrêmes, bilan hydrique mensuel...) Le volume annuel d'eau entrant en jeu dans le bilan hydrique a été estimé à 290,4 10⁶ m³. Les données hydrométéorologiques récentes ont confirmé que la dernière décennie est plus sèche que la normale : un déficit de 13% du débit des émissaires du Lac (Thiou et canal du Vassé) a été enregistré.

Phase 4 : Chroniques historiques :

Le niveau du Lac est régulé depuis 1874. Des travaux de modernisation des ouvrages de régulation ont eu lieu en 1965 ; ils ont eu pour effet d'augmenter la stabilisation de la cote du Lac. Entre temps, de 1906 à 1914 plusieurs phases de travaux ont été réalisées au droit du Thiou et du canal du Vassé (curage, recalibrage, bétonnage). Elles ont permis d'améliorer les écoulements dans les canaux d'Annecy.

Les chroniques mensuelles du niveau du Lac ont été collectées sur la période 1957-2010. Des données plus ponctuelles ont également permis d'avoir des informations sur le marnage mensuel du niveau du Lac d'Annecy au début du XX^{ème} Siècle. Le graphique qui suit apporte des éléments sur l'évolution mensuelle de la cote du Lac depuis 1900.



Les événements extrêmes (crues et étiages) du niveau du Lac ont été recensés :

- pour les crues, on note une baisse du nombre d'événements forts depuis les travaux de calibrage et bétonnage des canaux d'Annecy entre 1906 et 1914 ;
- pour les étiages, on constate que la mise en place de la régulation a limité l'apparition des étiages extrêmes. Ce phénomène s'est renforcé avec la modernisation des ouvrages de régulation en 1965.

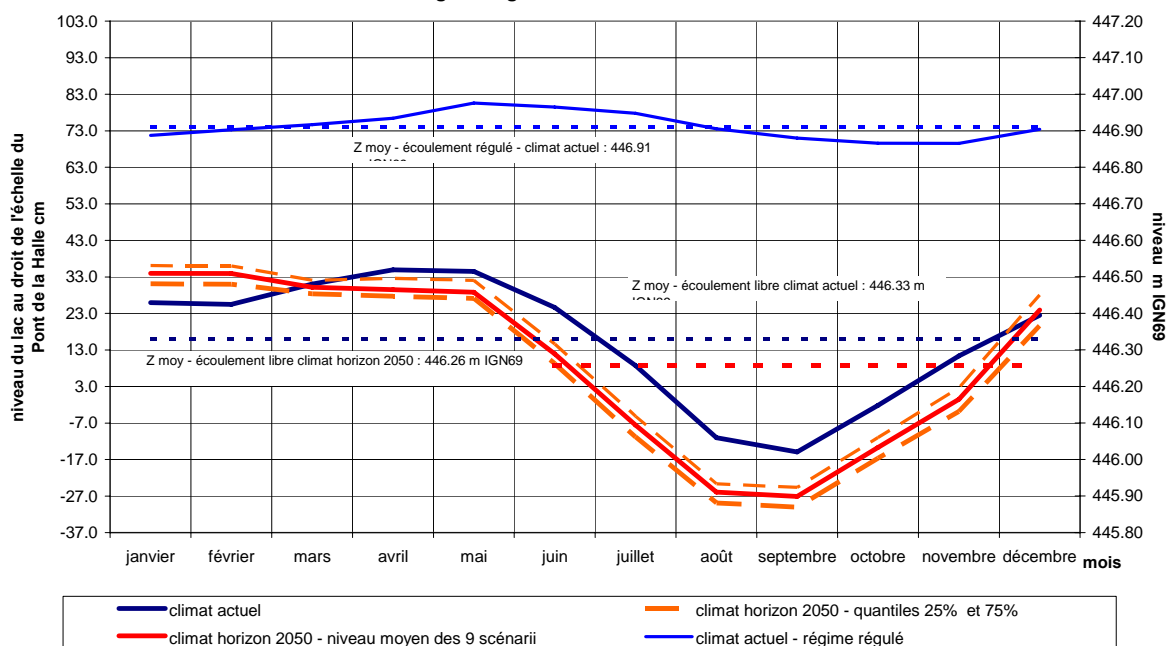
Phase 5 : Simulation du régime naturel du Lac

A partir des courbes de tarage des émissaires du Lac, de la courbe de capacité de la retenue et du bilan hydrique mensuel calculé dans la première partie de l'étude, le régime naturel du Lac en écoulement libre a été modélisé sous conditions climatiques actuelles. La simulation fait apparaître un marnage annuel de la cote moyenne mensuelle du Lac de 50 cm contre seulement 11 cm en régime régulé.

Une synthèse bibliographique a été menée pour faire l'état des lieux des connaissances scientifiques sur le changement climatique dans les Alpes à horizon 2050. Suite à cela, 9 scénarii de changement climatique ont été retenus. Le régime naturel du Lac a été calculé pour chacun de ces scénarii. Les résultats des simulations des 9 scénarii sont proches ; le marnage annuel de la cote moyenne du Lac à horizon 2050 est évalué à 60 cm. La principale différence entre la simulation sous condition

climatique actuelle et sous condition de changement climatique concerne l'étiage : la cote minimale à horizon 2050 est inférieure de 10 cm par rapport à l'étiage actuel en régime naturel.

**Evolution du régime du niveau du lac d'Annecy
Climat actuel et hypothèses du Climat à Horizon 2050
régime régulé et écoulement naturel**



1 OBJECTIFS DU MODULE

Le présent module consiste à compiler, analyser et synthétiser les informations historiques permettant de caractériser la gestion du niveau du Lac. Il se compose pour cela de 5 chapitres principaux :

- Rappel des consignes et objectifs de régulation du Lac d'Annecy, (§ 3)
- Description des ouvrages de régulation du Lac, (§ 4)
- Description de l'hydrologie du bassin versant du Lac avec mise à jour du bilan hydrique au pas de temps mensuel, (§ 5)
- Recensement et analyse des chroniques historiques du niveau du Lac en remontant le plus loin possible et en identifiant les différentes évolutions, (§ 6)
- Evaluation de ce que serait le régime naturel du niveau du Lac c'est-à-dire en écoulement libre donc non régulé. A partir des connaissances scientifiques actuelles sur le changement climatique dans les Alpes, le régime naturel du Lac sera simulé à horizon 2050. (§ 7)

2 PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT

Le Lac d'Annecy se situe dans la partie la plus externe des Alpes occidentales. Son bassin versant occupe l'extrémité Nord d'une des cluses transversales, reliant les massifs internes à l'avant pays alpin. La cluse d'Annecy sépare les massifs subalpins des Bornes, au Nord Est, et des Bauges au Sud-Ouest.

Le bassin versant draine une superficie de 278 km² dont 27 km² sont occupés par le Lac. Il est encadré par :

- A l'Est par les crêtes du Veyrier et de la Tournette,
- Au Sud par la Dent de Cons et de l'Arcalod,
- A l'Ouest par la voute du Semnoz.

Le Lac occupe la partie septentrionale de son bassin versant.

Le bassin versant du Lac d'Annecy est un bassin montagnard avec une altitude moyenne de 900 m. Il est situé dans une zone essentiellement calcaire et marneuse. L'altitude maximale correspond à la pointe de la Tournette à 2 351 m ; le point bas correspond au Lac dont la cote moyenne est de 446.9 m (IGN 69). La pente moyenne du bassin d'alimentation est élevée (6%). La figure 1 présente Les courbes hypsométriques du bassin versant du Lac et de ses principaux affluents

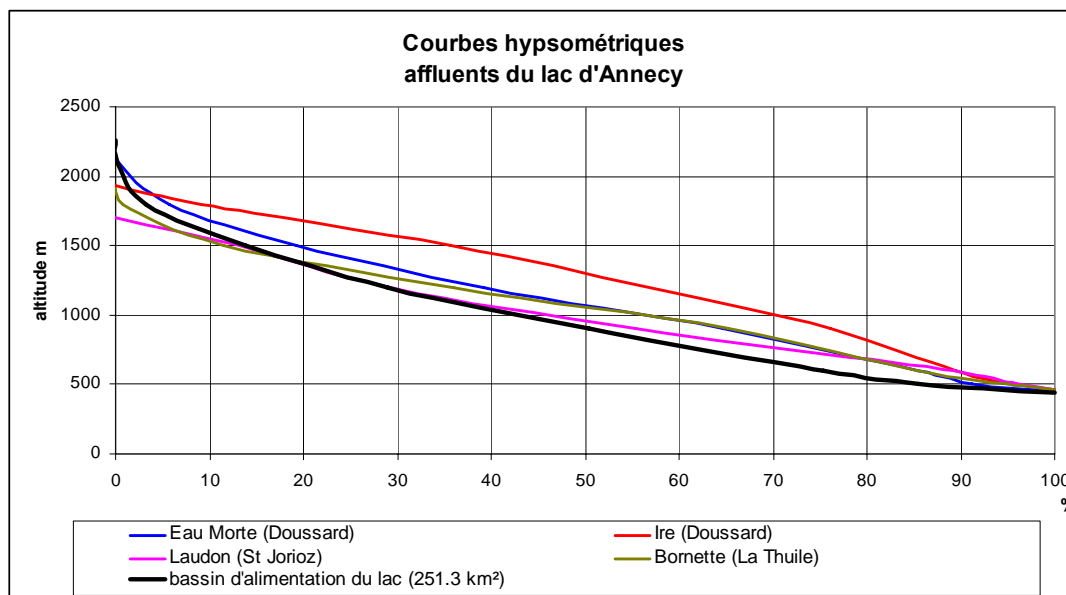


figure 1 Courbes hypsométriques – affluents du Lac d'Annecy

Le Lac d'Annecy est né il y a 18 000 ans des fontes glaciaires. Il est aujourd'hui principalement alimenté par 4 affluents : l'Eau Morte, l'Ire, la Bornette et le Laudon. Les affluents sont concentrés au Sud du Lac, secteur qui correspond à l'extension maximale du bassin versant. Le Thiou lui sert de déversoir naturel vers le Fier (affluent du Rhône). Vers la Puya, une source sous-lacustre, alimentée par les infiltrations karstiques provenant du Semnoz, débouche dans le gouffre du Boubioz (80.6 m de profondeur).

Au niveau climatologie, la région annécienne est sous double influence océanique et continentale. Le climat est influencé par la morphologie (orientation des vallées, exposition des versants...) et également par la présence du Lac qui apporte un effet adoucissant.

3 REGULATION DU LAC D'ANNECY

3.1 Historique

Source bibliographique : [7] & rencontre avec les Services Techniques de la ville d'Annecy le 21/03/11.

3.1.1 Les premiers travaux

Depuis le XV^{ème} Siècle, le souci de discipliner l'écoulement du Lac et d'améliorer l'évacuation de ses crues via ses trois exutoires (Thiou, Vassé et Saint Dominique) a été une des préoccupations essentielles des organisateurs de la cité d'Annecy. C'est entre 1827 et 1855 que l'on voit apparaître les premières réalisations importantes de curages systématiques, la rectification du Thiou (par le recoupement de méandres) à l'aval de l'île Saint-Joseph, l'aménagement à peu près définitif des quais et des canaux (tout au moins en ce qui concerne leur tracé) et l'idée d'un système de régulation du Lac.

Vinrent ensuite le projet de l'ingénieur Sadi Carnot en 1870 (cf. ci-dessous) et ce qui en résulte : les systèmes de régulation des canaux (qui ont fonctionné jusqu'en 1964) et le règlement de 1877 ; le

dragage en 1884-1906 du chenal du Thiou, les bétonnages en 1913 et 1914 du canal du Thiou entre les vannages et l'usine Sainte-Claire, et du Vassé entre la rue Vaugelas et la rue de la République.

3.1.2 Le projet de Sadi Carnot

En 1874, des barrages surgissent en travers des canaux et, trois ans plus tard, un règlement toujours officiellement en vigueur en détermine les conditions d'emploi. Entre les vannes industrielles auxquelles avait incombé jusqu'alors la mission de commander le Lac et l'entrée des canaux s'interpose une valve indépendante et un répartiteur de débit. Grâce à ces ouvrages et à la faveur d'un rehaussement d'une vingtaine de centimètres du niveau moyen, une réserve supplémentaire est constituée. Celle-ci assure aux usines un appoint d'énergie et à la ville de meilleures conditions d'utilisation du port et des canaux aux jours de pénurie. Les vannes d'Annecy ont incontestablement contribué à fixer les caractères de l'hydrologie de la cluse ainsi que la physionomie de la ville et de son Lac.

À la suite de sept années d'observations (1862-1868) sur les niveaux du Lac et les débits des canaux, Sadi Carnot arrête le 5 mars 1870 un projet détaillé, approuvé le 10 septembre par le ministère des Travaux publics de l'époque. Le barrage principal est établi entre le pont Perrière et l'étrave du palais de l'Île. Aux vannes automobiles à débit constant, inventées par Carnot, sont substituées des vannes ordinaires, mais, et c'est l'essentiel, les niveaux extrêmes prévus en 1870 ont été conservés après deux années d'essais.

Commencés le 16 juin 1874, achevés le 7 juillet suivant- les trois barrages du Thiou (10 vannes, 18,60 m d'ouverture), du Vassé (5 vannes, 9,50 m d'ouverture), du canal Saint-Dominique, (4 vannes, 7,60 m d'ouverture) sont immédiatement entrés en service.

Régulariser l'écoulement du Lac, procurer aux usines une alimentation à peu près constante, maintenir dans le Lac et la ville une couche d'eau suffisante pour rendre la navigation facile et empêcher toute exhalaison malsaine, tels sont les buts assignés par le règlement de 1877 aux ouvrages d'Annecy.

Les derniers travaux permettant de réguler de manière plus précise le niveau du Lac ont été réalisés en 1965, année durant laquelle les vannes à glissières de l'exutoire principal (le Thiou) ont été remplacées par une vanne motorisée encore en fonctionnement de nos jours.

Ajoutons que le niveau du Lac se lit historiquement à l'échelle fixée au pont de la Halle, à Annecy, et dont le zéro est celui de l'eau le 26 août 1862.

En amont des trois barrages, la cote maximum conventionnelle est de 80 cm¹ (446,69 m N.G.F.) par rapport au zéro de cette échelle, cote de consigne conservée de nos jours.

3.2 La régulation actuelle

Source bibliographique : [8] & rencontre avec les Services Techniques de la ville d'Annecy

Le Lac est domaine d'Etat qui depuis la fin du XIX^{ième} Siècle a confié à la Ville d'Annecy la responsabilité des manœuvres de vannes. De manière générale, il est défini qu'en période normale,

¹ Cette cote 80, approuvée dès le 4 décembre 1876 par le ministère des Travaux Publics, est d'ailleurs moins celle du Lac que celle des canaux. Elle est en effet mesurée en un point où les eaux sont déjà animées d'une vitesse appréciable et où des remous se produisent en période de crue. On sait déjà que les cotes du pont de la Halle et du pont de Pâquier ne concordent pas.

quand il n'y a pas de risques de crues, la cote de consigne du Lac d'Annecy doit se situer entre 75 cm et 80 cm, et que la cote mini ne doit pas descendre en dessous de 60 cm, soit.

- Altitude IGN 69 de la cote 80 cm à l'échelle de lecture située au Pont de la Halle : 446.97m.

- Altitude IGN 69 de la cote 60 cm à l'échelle de lecture située au Pont de la Halle : 446.77 m.

La cote 80 cm a longtemps été considérée comme étant une cote d'alerte ou de sécurité qu'il ne fallait impérativement pas dépasser, quelle que soit la saison. Cependant, cette règle ne s'avère pas absolue.

En effet, suivant les saisons et les conditions météorologiques locales changeantes, la cote d'alerte 80 cm peut même ne rien vouloir dire. En effet, en début de saison d'été par exemple (pour un été normal), une réserve d'eau suffisante permettant de maintenir un bon niveau du Lac notamment pour les activités touristiques doit être maintenu jusqu'à fin septembre.

A savoir qu'en période d'été, avec un ensoleillement normal et une température ambiante moyenne comprise entre 25°C et 30 °C, le niveau du Lac baisse régulièrement d'un demi-centimètre tous les deux jours, pour un débit mini d'eau dans les canaux du Lac compris entre 1 m³ à 2 m³ / seconde. Selon les services techniques de la ville d'Annecy, ce débit minimal est indispensable pour l'esthétique et la propreté des canaux du Lac, mais aussi pour tous les utilisateurs de l'eau du Lac, comme les usines par exemple qui utilisent l'eau (Cf. plus bas).

A l'inverse en période d'hiver, à l'automne, ou en début de printemps, les services technique en charge de la régulation doivent tenir compte et réagir en fonction des chutes et fontes des neiges, des pluies abondantes et des redoux où il est important de ne pas dépasser la cote 80 qui est alors à considérer à ce moment-là comme une cote d'alerte à ne pas atteindre.

Ainsi, l'ensemble des différentes contraintes ont conduit les services techniques de la ville d'Annecy à établir des seuils de sécurité à respecter en termes de cotes:

- en période d'hiver : cote mini 60 cm et cote maxi 70 cm,

- en période d'été : cote mini 70 cm et cote maxi 90 cm.

Comme le montrent ces valeurs, la marge de manœuvre demeure relativement faible (20 à 30 cm), d'autant que le niveau du Lac peut monter de 20 centimètres en une nuit², et que la surface libre de la section d'évacuation des trois déversoirs du Lac d'Annecy (cf. § suivant) n'est que de 45 m² pour un débit maxi de 51 m³/s, toutes vannes ouvertes.

4 LES OUVRAGES ET LES METHODES DE REGULATION

Source bibliographique : [8]

4.1 Les ouvrages

Le Lac d'Annecy dispose de trois déversoirs équipés de jeux de vannes de retenue, disposés de la façon suivante :

² Selon des témoignages du personnel en charge de la régulation du niveau du Lac, rencontré en 2011 lors de cette étude, des phénomènes encore plus rapides de montée des eaux sont de plus en plus fréquemment observés, phénomènes dus probablement pour une part significative à l'urbanisation croissante du bassin versant générant une augmentation des surfaces imperméabilisées et une diminution du temps de concentration.

- Pour le canal du Thiou : (canal principal) : Une vanne unique de retenue se trouvant en amont du Pont Perrière entre le quai du Semnoz et le quai Perrière. C'est un clapet vanne de 16 m de long dont la manœuvre se fait par moto-réducteur électrique.

La section de l'ouvrage est de 24 m² (16 m x 1.5 m). La hauteur maximum de retenue est de 0.80m. La vanne qui est motorisée permet un débit totalement libre des eaux du Lac. Elle a été installée en Novembre 1965 pour remplacer les anciennes vannes à glissières qui se trouvaient devant le Palais de l'île. Son ouverture totale permet un débit maximum de 40 m³/s.

- Pour le canal du Vassé : Jeux de cinq vannes à glissières, commandées également par moto-réducteurs électriques. L'ouvrage est situé sous la voûte du Pont Albert Lebrun. La surface de section libre sous vanne 13.5 m² pour une largeur de l'ouvrage de 23m.

- Pour le canal Saint Dominique : Jeux de quatre vannes à glissières, à commande manuelle, qui se trouvent le long du quai du Semnoz à quelques mètres en amont du clapet vanne du Thiou. La surface libre de l'ensemble est de 4.48 m²

Le débit maximum pour ces deux derniers canaux étant de 11,5 m³/s.

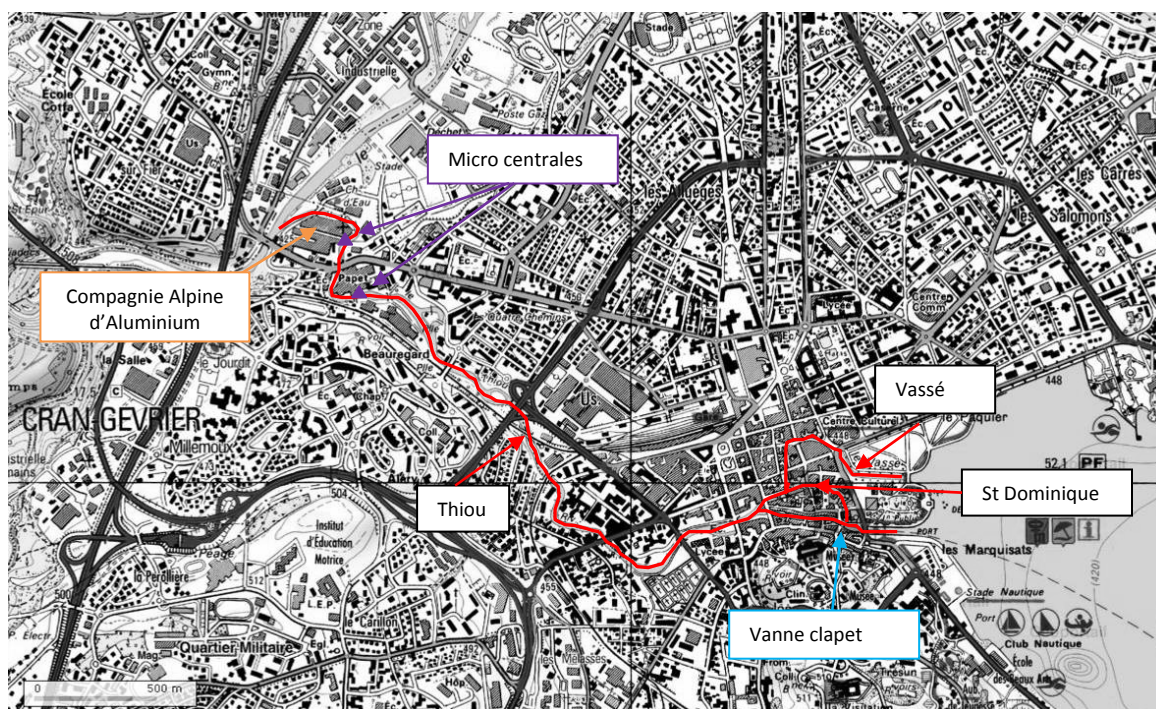


figure 2 Localisation des exutoires du Lac et des micros centrales

Vingt et une autres vannes de retenue servant à régler le débit d'eau dans les différents canaux sont dispersées beaucoup plus en aval du Lac, jusqu'au barrage situé sur la commune de Cran Gévrier (vannes Mercier). Ces vannes « annexes » n'ont pas pour vocation de régler le niveau du Lac en tant que tel (uniquement contrôlé par les trois ouvrages sus-mentionnés), elles permettent de réguler le niveau des canaux dans la vieille ville en configurant le faciès plus ou moins lentique de ces derniers (rôle essentiellement liés au tourisme).

4.2 Méthodes de régulation

La lecture de la cote du Lac se fait visuellement tous les jours de l'année, trois fois en période normale (5 h, 8 h, et 17 h) et jusque six fois par jour quand le temps est plus ou moins incertain.

Tous les renseignements et données sont ensuite consignés dans un registre et sur ordinateur.

Chaque mois, un état des côtes et débits du Lac est communiqué aux différentes administrations intéressées par la régulation du Lac.

Les manœuvres des vannes (régulation du débit) se décident par les services techniques de la Ville d'Annecy. En période d'incertitude du temps, de doute et de risques possibles, toutes les vannes placées sur le parcours du Thiou, en aval, sont déjà ouvertes en totalité plusieurs jours à l'avance, dans l'éventualité d'une ouverture importante des vannes de retenue.

Une fois décidée, chaque manœuvre fait l'objet de démarches auprès des différents utilisateurs des eaux du Lac.

Quand tous les usagers sont prévenus, que les anciens débits et nouveaux débits ont été annoncés, que l'heure de la manœuvre a été communiquée, la manœuvre est faite par l'un des responsables du service de la Propreté Urbaine de la Ville d'Annecy, qui est habituellement chargé de cette prestation. Les manœuvres se font de jour comme de nuit. Après chaque manœuvre le responsable de service doit vérifier sur place si les usiniers ont bien manœuvré leurs propres vannes, et si l'écoulement des eaux se fait normalement dans les différents canaux qui évacuent l'eau au Fier.

Rappelons que chaque fois qu'une vanne est manœuvrée en amont, les vannes situées en aval doivent aussi et à nouveau être réglées.

La fréquence des manœuvres peut varier de deux fois par jour à dix par mois. Chaque manœuvre nécessite en moyenne de 0 h 30 à 1 h d'intervention. Une manœuvre de moyenne importance immobilise trois à quatre agents durant 2 h à 3 h.

Pour le calcul des débits, lorsque la manœuvre a été décidée, ces derniers sont calculés par l'un des responsables du service, à l'aide d'abaques et courbes qui, en fonction des ouvertures de vannes et des hauteurs d'eau prises au niveau des différentes échelles de lecture placées dans les canaux du Lac permettent d'en déterminer la quantité d'eau à évacuer.

4.3 Activités dépendantes du Thiou

Peu d'activités dépendent de ce cours d'eau. Ainsi, la DDT et la DREAL³ contactées à ce sujet précisent les points suivants :

◆ En termes d'activité industrielle, seule une entreprise utilise actuellement les eaux du Thiou. Il s'agit de la Compagnie Alpine d'Aluminium spécialisée dans les traitements de surface et qui est autorisée à prélever les volumes suivants:

- 400 m³ par heure (soit environ 0,11 m³/s)
- 5000 m³ par jour

◆ En termes d'hydroélectricité, 2 micro-centrales localisées sur Cran Gévrier sont actuellement exploitées par la SARL COEXHYE :

³ DDT : Service Eau et Environnement, personne contactée Mr DAMOUR ; DREAL : Personne contactée Mr CLARY

- une micro-centrale de puissance brute maximale de 624 kW au droit de la chute dites des Forges. L'exploitant est autorisé à turbiner 6 m³/s. Le débit réservé ne doit pas être inférieur à 0,750 m³/s.

- une micro-centrale de puissance brute maximale de 703 kW au droit de la chute dites des Papeteries autorisée à turbiner 7 m³/s. Le débit réservé ne doit pas être inférieur à 0,188 m³/s. A compter du 1^{er} janvier 2014, et en application de l'article L 214-18 du Code de l'Environnement, le débit réservé ne devra pas être inférieur à 0,750 m³/s.

Nous faisons figurer en annexe les arrêtés préfectoraux concernant ces deux installations.

La DDT précise que le fonctionnement actuel du vannage ne favorise pas l'hydroélectricité car il s'agit d'un fonctionnement « tout ou rien » :

- en période normale : le débit est régulé à 2,5 m³/s environ, ce qui est insuffisant pour des centrales équipées à 6 ou 7 m³/s,
- une fois que le Lac est monté jusqu'à une cote haute, les vannes sont ouvertes en grand, avec un débit de l'ordre de 20 à 30 m³/s pendant 2 à 3 jours max, jusqu'à ce que le Lac atteigne la cote basse. Ce débit est majoritairement déversé sur les micro-centrales du Thiou.

Précisons que la centrale EDF localisée plus à l'aval sur le Fier (centrale localisée à la chute dite de Brassilly et de puissance brute maximale de 2884 kW), est autorisée en référence à l'arrêté préfectoral du 21 septembre 1994 à turbiner un débit entrant de 14 m³/s, le débit réservé étant de 2,7 m³/s.

5 HYDROLOGIE ET BILAN HYDRIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC D'ANNECY

5.1 Données climatiques

5.1.1 Pluviométrie au droit du Lac

L'établissement du bilan hydrique nécessite de connaître les précipitations mensuelles tombant directement sur le Lac. Nous faisons l'hypothèse que les précipitations reçues par la surface du bassin versant sont déjà prises en compte dans les apports d'eau amenés par les affluents.

Les caractéristiques des postes pluviométriques identifiés sur le bassin versant du Lac sont présentées dans le tableau 1 .

N°poste	Poste	altitude	période disponible	Précipitation annuelle en mm / période disponible
74093001	Cran-Gévrier	426 m	1976-2010	1 245
74104001	Doussard	465 m	1991-1998	1 184
74187001	Montmin	1 050 m	1976-2009	1 584
74242001	Saint Jorioz	460 m	1976-1980	1 480

tableau 1. Liste des postes pluviométriques –source Météo-France

Le poste de Montmin n'est pas retenu pour l'estimation des précipitations au droit du Lac d'Annecy en raison de l'altitude trop élevée de ce poste qui, de ce fait, bénéficie d'une pluviométrie nettement supérieure par rapport à celles des postes situés à proximité du Lac. E. Benedetti-Crouzet [1] a identifié un gradient pluviométrique positif de 70 mm/an pour 100 m sur la totalité du bassin versant.

Les séries des postes de Doussard et de Saint Jorioz sont de longueurs trop faibles pour être considérées comme représentatives du secteur étudié. La pluviométrie de ces 2 postes a cependant été rapprochée de celle enregistrée au poste de Cran-Gévrier, pour des courtes périodes, afin d'étudier la variabilité spatiale des précipitations sur le bassin récepteur du Lac d'Annecy.

Période	Poste	Précipitation annuelle en mm
1991-1998	Cran-Gévrier	1 063
	Doussard	1 184
1976 - 1980	Cran-Gévrier	1 364
	Saint Jorioz	1480

tableau 2. Pluviométries annuelles – Lac d'Annecy

Les précipitations annuelles des trois postes pluviométriques sont proches. Les isohyètes de l'année hydrologique 1966-1967, représentées sur la figure 3, confirment que la pluviométrie mesurée à Cran-Gévrier peut être considérée comme représentative de la pluviométrie au droit du Lac d'Annecy.

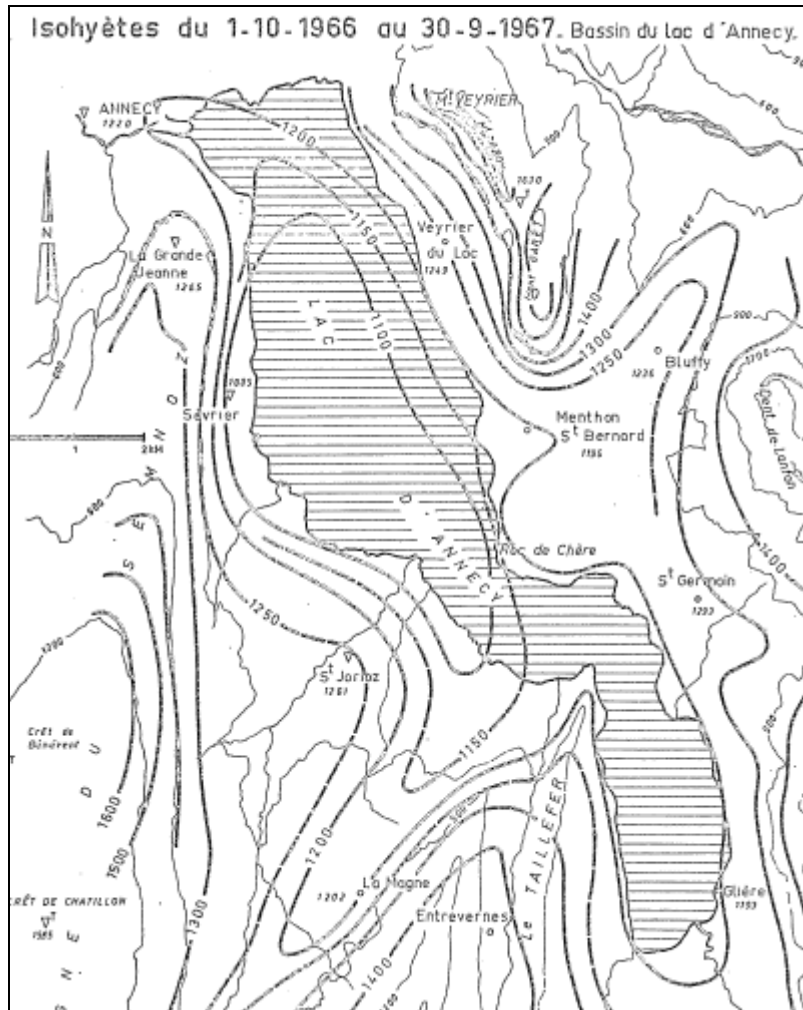


figure 3 Pluviométrie de l'année hydrologique 1966-1967 – source ORSTOM [4]

Les valeurs mensuelles de précipitation sur le Lac d'Annecy, retenues pour la présente étude, sont données dans le tableau 3.

Pluie mm	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	annuel
Cran Gévrier Lac d'Annecy	99	89	99	94	111	109	101	100	112	119	102	111	1 245

tableau 3. Précipitation mensuelles en mm – observations au poste de Cran-Gévrier, période 1976 - 2010

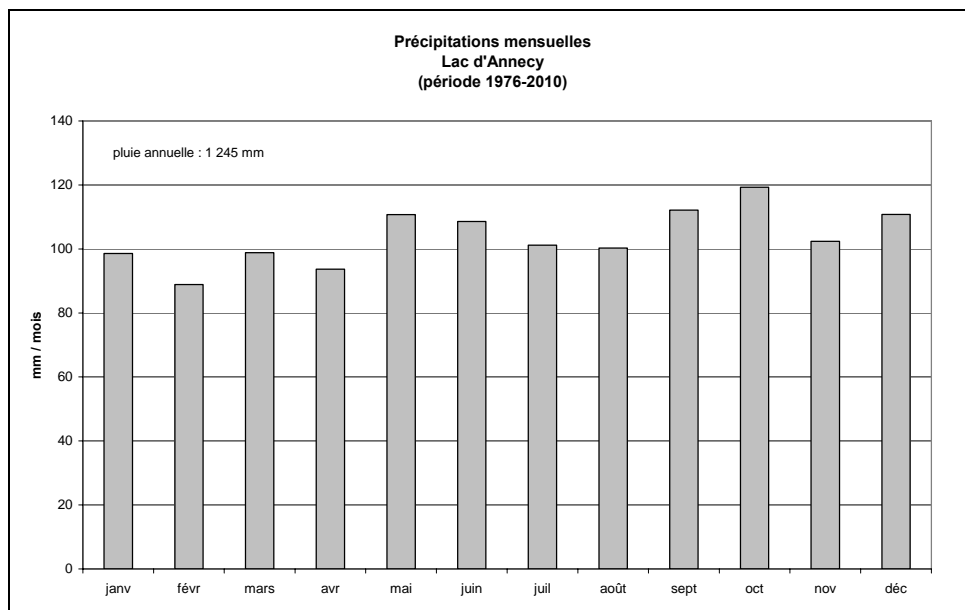


figure 4 Précipitations mensuelles, période 1976 -2010 – Lac d’Annecy

La répartition mensuelle des précipitations est régulière (cf. figure 4). Deux saisons plus pluvieuses sont identifiées : printemps (mai – juin) et automne (septembre – octobre).

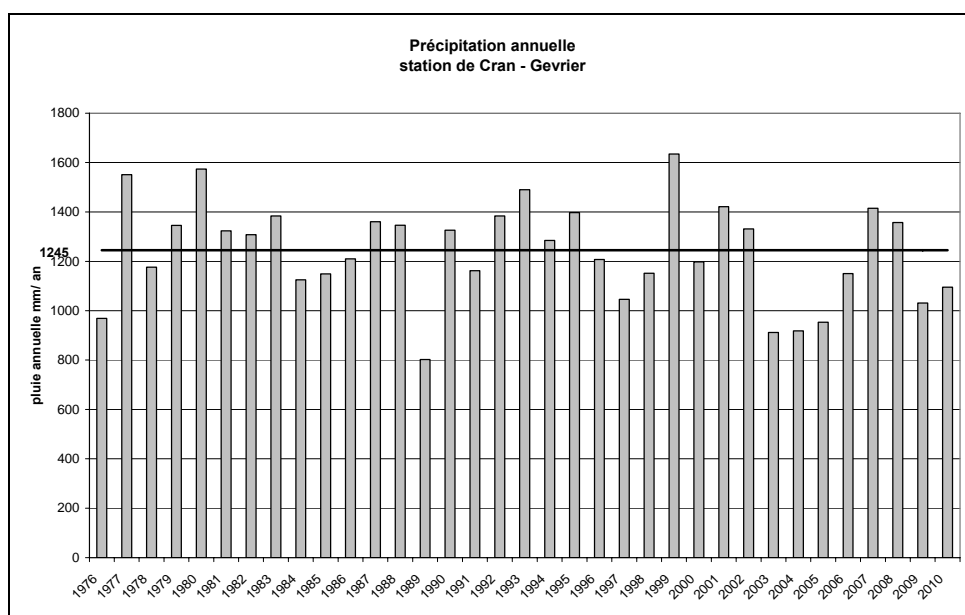


figure 5 Précipitations annuelles – Cran-Gévrier

La figure 5 indique que la variabilité annuelle de la pluviométrie est très conséquente. Pour la station de Cran-Gévrier les précipitations annuelles, observées sur la période 1976 -2010, présentent un minimum de 802 mm en 1989 et un maximum de 1 634 mm en 1999.

A noter que la pluviométrie moyenne directe sur le Lac de la dernière décennie (2001-2010) est de 1 158 mm/an ce qui représente un déficit pluviométrique de 7% par rapport à la période totale (1976-2010).

5.1.2 Température

Une seule station météorologique disposant d'une chronique de température suffisamment longue et récente pour être représentative du bassin annécien a été identifiée :

- station de Cran-Gévrier, gérée par Météo France, disposant d'une chronique de températures journalières pour la période 1976 -2010, soit 35 ans de données.

Les températures moyennes, minimales et maximales mensuelles et annuelles ont été calculées :

	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	Oct	nov	déc	annuel
T°moy (°C)	1.4	3.0	6.5	9.6	14.2	17.7	20.1	19.5	15.8	11.5	5.6	2.3	10.6
T°max (°C)	4.6	6.8	9.8	14.7	17.1	23.9	24.3	24.5	19.0	15.1	8.8	4.9	11.9
T°min (°C)	-4.1	-1.3	3.4	7.0	10.5	14.6	16.5	16.9	12.9	9.2	2.5	-0.6	9.2

tableau 4. Température mensuelle en °C – poste de Cran Gévrier 1976- 2010

La température annuelle est variable avec une moyenne de 10.6 °C pour un maximum observé de 11.9°C (2003) et un minimum de 9.2°C (1980) sur les 35 années étudiées. La figure 6 permet d'identifier une tendance actuelle des températures annuelles à la hausse. Pour la dernière décennie, 2001 – 2010, la température moyenne annuelle est de 11.2 °C, soit +0.6°C par rapport à la période totale disponible.

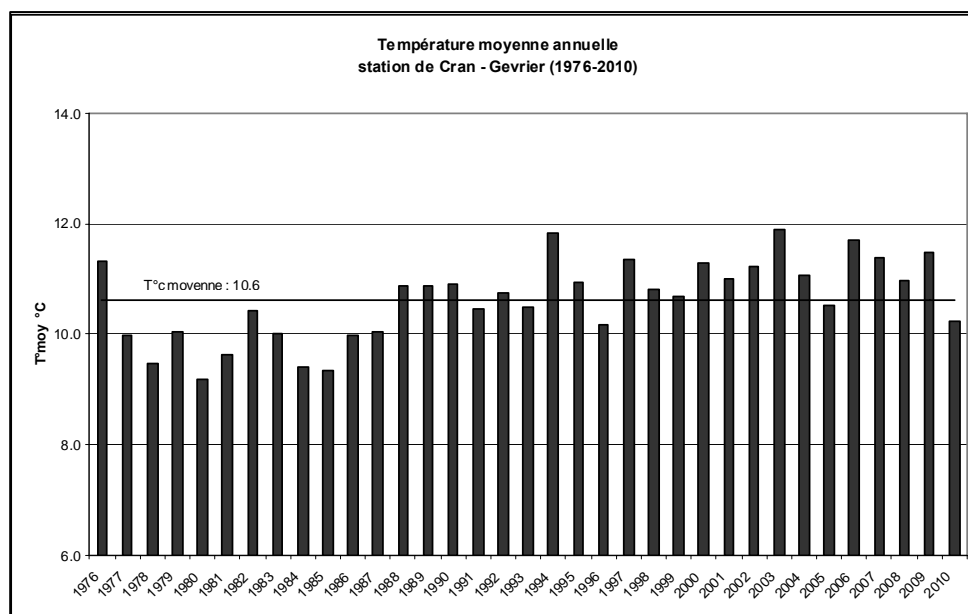


figure 6 Température moyenne annuelle °C , période 1976 – 2010 – Cran Gévrier

5.2 Données hydrométriques

5.2.1 Affluents instrumentés

Les sept affluents les plus importants du Lac sont :

- L'Eau Morte,
- L'Ire,
- Le Laudon,
- La Bornette,
- Le Ruisseau d'Entrevernes,
- Le Nant d'Oy,
- Le Bilon.

4 affluents sont instrumentés. Les caractéristiques des stations hydrométriques sur le bassin versant du Lac d'Annecy sont listées dans le tableau 5.

affluent	N° poste	station	gestionnaire	superficie Km ²	altitude m	période	commentaires B.Hydro sur qualité données
Eau Morte	V1235610	Doussard	DREAL RA	92.5	452 m	1975-2010	données 2010 provisoires
Ire	V1235210	Doussard	DREAL RA	27.1	452 m	1972-2010	débits douteux de 1972 à 1979
Laudon	V1237410	St Jorioz	DREAL RA	29.2	455 m	1977-2010	données 2010 provisoires
Bornette	V1235420	Lathuile	DREAL RA	11.6	452 m	1987-2010	données 2010 provisoires
Bornette	V1235410	Doussard	DREAL RA	10	510 m	1974-1987	débits douteux sur toute la période

tableau 5. Recensement stations hydrométriques – bassin du Lac d'Annecy (source : Banque Hydro)

Les débits de l'Ire à Doussard ont été exploités uniquement sur la période 1980 – 2010 pour ne travailler qu'avec des données valides.

La station de la Bornette à Doussard n'a pas été retenue pour la suite de l'étude en raison de la qualité douteuse de ces données.

Les 4 stations hydrométriques retenues drainent une superficie de 160.4 km² ce qui représente 64% du bassin d'alimentation du Lac.

5.2.1.a Apports moyens

Le tableau 6 fournit les débits moyens mensuels calculés pour les 4 affluents instrumentés du bassin annécien.

	Période d'étude	Eau Morte à Doussard (92.5 km ²)	L'Ire à Doussard (27.1 km ²)	Le Laudon à St-Jorioz (29.2 km ²)	La Bornette à Lathuile (11.6 km ²)	Total BV instrumenté (160.4 km ²)
		1975-2010	1980-2010	1977-2010	1987 - 2010	
Débit moyen mensuel (m ³ /s)	Janvier	2.90	0.89	1.02	0.40	5.20
	Février	3.05	0.85	1.03	0.38	5.31
	Mars	3.90	1.29	1.12	0.55	6.86
	Avril	4.16	1.68	0.98	0.54	7.36
	Mai	4.22	1.78	0.77	0.35	7.12
	Juin	2.89	1.09	0.57	0.30	4.86
	Juillet	1.96	0.60	0.32	0.20	3.08
	Aout	1.15	0.37	0.20	0.13	1.86
	Septembre	1.50	0.61	0.35	0.21	2.67
	Octobre	2.08	0.90	0.64	0.33	3.95
	Novembre	2.45	0.95	0.75	0.41	4.57
	décembre	3.04	1.02	1.01	0.43	5.50
Module annuel	absolu m ³ /s	2.77	1.01	0.73	0.35	4.86
	Spécifique l/s/km ²	30.0	37.1	25.0	30.3	30.3
Débit moyen (m ³ /s) Période : 2001 - 2010		2.24	0.82	0.61	0.29	3.95

tableau 6. Débits moyens mensuels et annuels- affluents instrumentés

Une diminution de l'hydraulicité des cours d'eau, de l'ordre de 19%, est constatée lors de la dernière décennie.

Les hydrogrammes, en débit spécifique, des affluents instrumentés du Lac d'Annecy ont été rapportés sur la figure 7 .

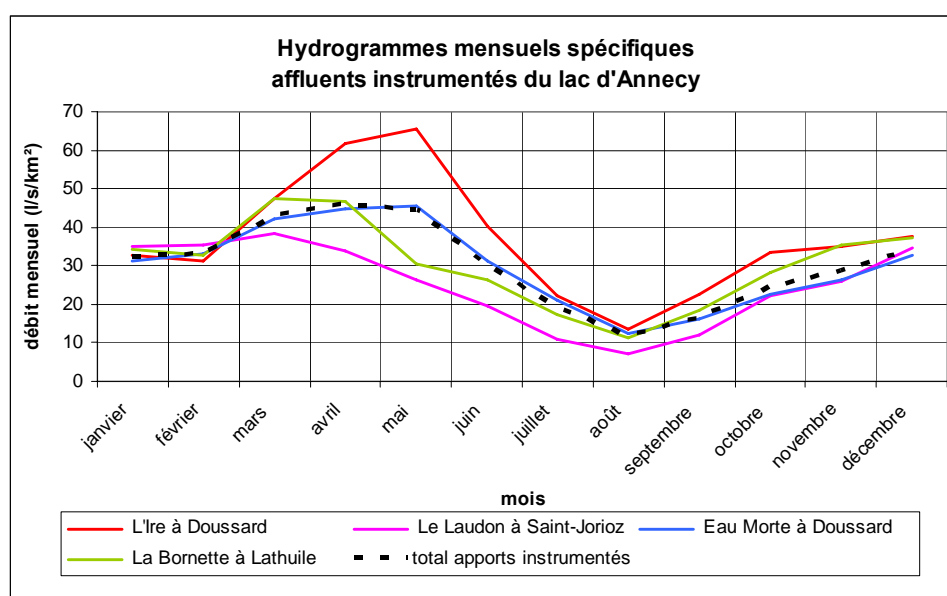


figure 7 Débits moyens mensuels spécifiques – affluents instrumentés

Les affluents du Lac présentent un régime hydrologique de type nivo-pluvial caractérisé par une période de hautes eaux principales de mars à mai correspondant à la fonte nivale printanière. Une deuxième période de recrudescence des débits, moins marquée, est observée d'octobre à novembre en lien avec les pluies automnales. La période des basses eaux est observée en été, de juillet à septembre avec un minimum en août.

Des particularités peuvent être notées en ce qui concerne la réponse à la fonte nivale :

- L'Ire présente un pic de fonte nivale de plus de 60 l/s/km² d'avril à mai, ce qui est beaucoup plus élevé que sur les 3 autres bassins.
- La fin de fonte nivale est observée dès le mois de mai sur le Laudon et la Bornette alors que pour l'Eau Morte et l'Ire la baisse des apports s'amorce qu'à partir de juin.

Ces différences de fonctionnement sont liées aux caractéristiques spécifiques de chaque affluent en particulier les expositions et les gammes d'altitudes drainées par les bassins versants.

5.2.1.b Crues

5.2.1.b.i Valeurs caractéristiques

Les débits caractéristiques des crues ont été calculés à partir des chroniques historiques par ajustement de Gumbel. Les valeurs obtenues ont été critiquées et comparées aux informations disponibles sur la Banque Hydro et dans l'étude de vulnérabilité de la ressource en eau de l'agglomération annecienne de 1998 réalisée par SOGREAH [3].

- Eau Morte (Doussard) et Laudon (Saint Jorioz)

Pour l'Eau Morte à Doussard et le Laudon à Saint Jorioz, les résultats obtenus sont conformes aux valeurs annoncées par la Banque Hydro et par SOGREAH [3]. Ils sont présentés dans le tableau 7.

- Ire (Doussard)

Pour l'Ire à Doussard, les valeurs obtenues sont inférieures à celles annoncées par la Banque Hydro et par SOGREAH [3]. Ces 2 études ont été menées sur la période complète de la chronique en conservant les années 1972 à 1979 pour lesquelles les informations sont indiquées douteuses, en particulier dans la gamme des forts débits, par le gestionnaire de la station. Le choix est donc fait de privilégier nos résultats, calculés uniquement sur la période 1980-2010. Les valeurs retenues sont disponibles dans le tableau 7.

- Bornette (Lathuile)

La visualisation de l'ajustement de Gumbel pour la station de la Bornette permet d'identifier une anomalie dans la chronique des débits instantanés maximums annuels extraits de la Banque Hydro (cf figure 8).

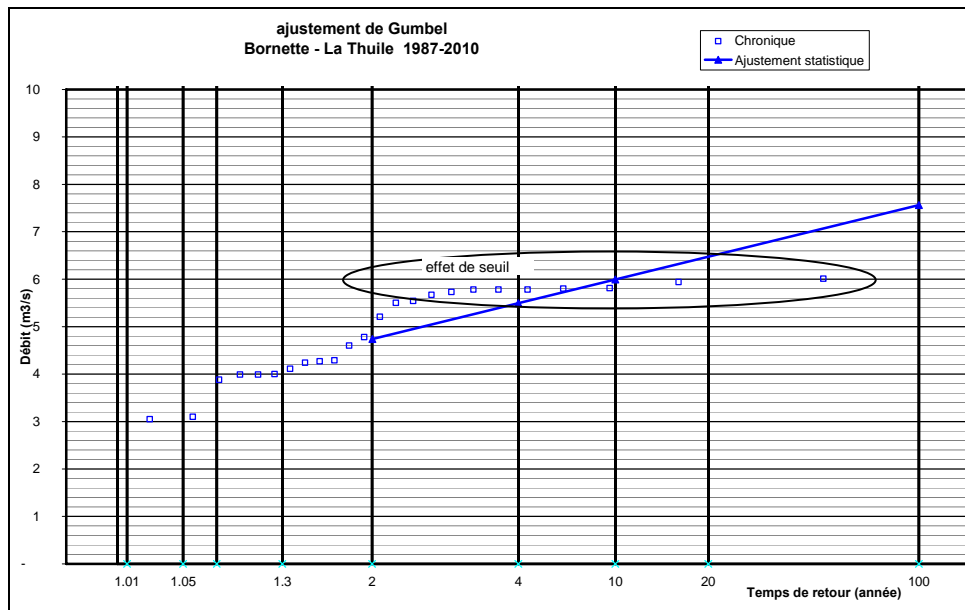


figure 8 Ajustement de Gumbel – station de la Bornette à Lathuile

Un “effet de seuil” pour les débits extrêmes autour de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ a été identifié. Le gestionnaire de la station a été questionné sur la fiabilité de la courbe de tarage de cette station pour les forts débits. Aucun élément de réponse ne nous a été fourni.

Nous avons fait le choix de conserver les résultats issus de l’ajustement de Gumbel pour les fréquences de retour inférieur ou égal à 5 ans. Ces résultats sont homogènes avec ceux obtenus lors de l’étude menée par SOGREAH [3].

Pour la crue centennale, nous avons privilégié la valeur fournie par SOGREAH [3] qui est issue d’une étude hydraulique spécifique dont les références ne sont pas précisées.

En l’absence d’éléments complémentaires, il est impossible de déterminer le débit de la crue de fréquence de retour 10 ans qui est également non disponible dans l’étude 1998.

Le tableau 7 synthétise les débits caractéristiques de crue retenus pour les 4 affluents instrumentés du bassin annécien.

		Eau Morte (Doussard)	Ire (Doussard)	Laudon (Saint Jorioz)	Bornette (Lathuille)
		92.54 km²	27.1 km²	29.2 km²	11.64 km²
		1975-2010	1980-2010	1977-2010	1987-2010
	Période de calcul				
	Crue biennale	m3/s	28	16	17
l/s/km²		300	590	590	410
Crue quinquennale	m3/s	35	21	21	5.5
	l/s/km²	380	760	720	470
Crue décennale	m3/s	41	24	24	-
	l/s/km²	440	870	810	-
Crue centennale	m3/s	57	33	31	⁴ 26
	l/s/km²	620	1 220	1 070	2 230
Maximum Observé	Date	janv-04	déc-94	déc-97	juin-10
	m3/s	48	33	27	6
	l/s/km²	510	1 200	940	520

tableau 7. Débits caractéristiques de crues des affluents instrumentés du Lac d'Annecy

5.2.1.b.ii Répartition saisonnière des crues extrêmes

Pour chaque station hydrométrique, une analyse a été réalisée en vue de déterminer la répartition saisonnière des crues extrêmes. Pour cela les 10 plus fortes crues historiques annuelles observées sur chaque affluent ont été étudiées. Les résultats sont synthétisés sur la figure 9. Il en ressort que la période la plus à risque pour les crues exceptionnelles correspond à la saison hivernale (décembre à février).

⁴ Donnée issue de l'étude de vulnérabilité de la ressource en eau de l'agglomération annecienne (SOGREAH 1998) [3]

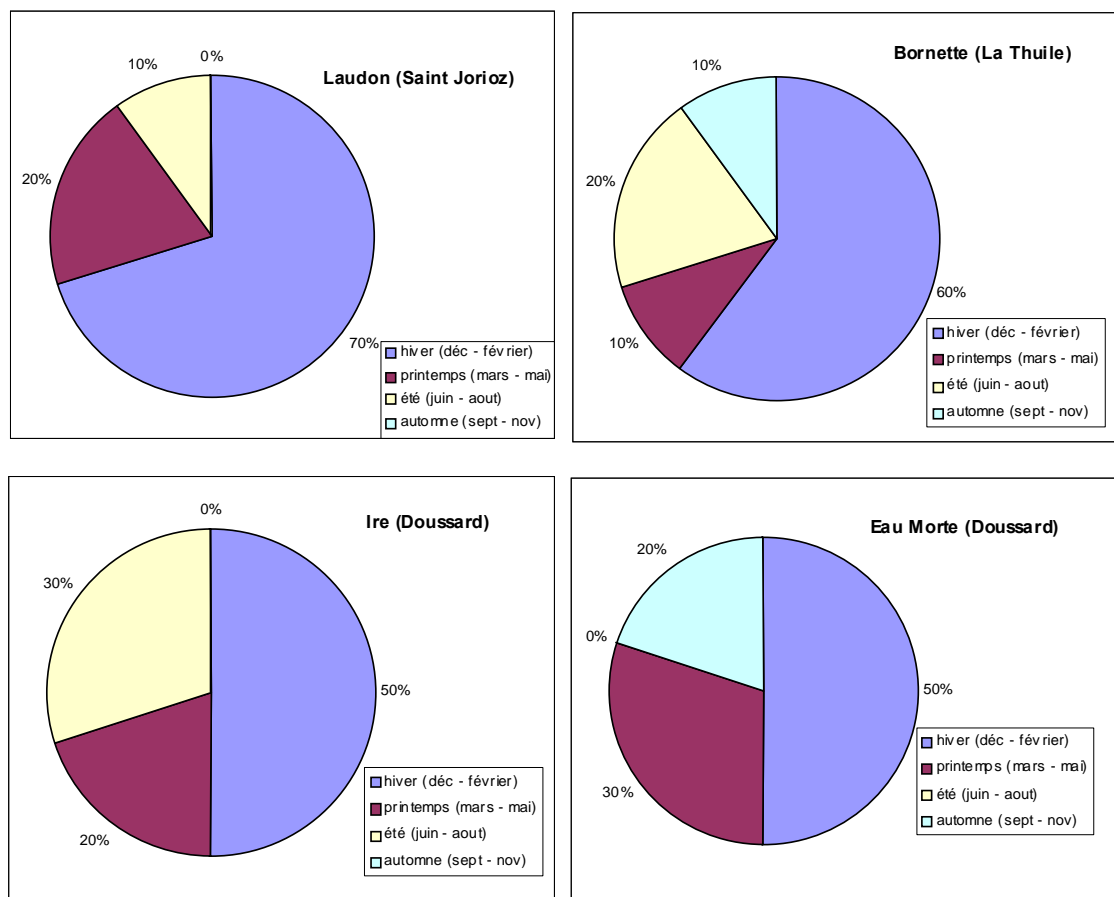


figure 9 Répartition saisonnières des crues extrêmes – affluents du Lac d'Anney

5.2.1.c Etiages

Deux paramètres ont été calculés pour caractériser les étiages des affluents instrumentés du Lac d'Anney :

- QMNA5 : débit mensuel minimal ayant la probabilité 1/5 de ne pas être dépassé une année donnée,
- VCN 10 : débit moyen minimal sur 10 jours consécutifs.

Les résultats sont présentés dans le tableau 8.

	station	Eau Morte (Doussard)		Ire (Doussard)		Laudon (Saint Jorioz)		Bornette (Lathuile)	
	superficie	92.54 km ²		27.1 km ²		29.2 km ²		11.64 km ²	
	période	1975-2010		1980-2010		1977-2010		1987-2010	
QMNA5	m ³ /s	0.62		0.14		0.03		0.04	
	l/s/km ²	6.7		5.2		1.0		3.4	
débit minimal observé	m ³ /s	0.43	oct-09	0.07	juil-03	0.01	août 89	0.02	juil-03
	l/s/km ²	4.6		2.6		0.3		1.7	
VCN10 fréquence quinquennale	m ³ /s	0.48		0.08		0.003		0.02	
	l/s/km ²	5.2		3.0		0.1		1.7	
Vcn10 min observé	m ³ /s	0.37	août 94	0.04	août 94	~0.0	août-03	0.01	août-03
	l/s/km ²	4.0		1.3		~0.0		0.6	

tableau 8. Débits caractéristique d'étiages - affluents instrumentés du Lac d'Anney

Les données de l'étude de SOGREAH [3] n'ont pas pu être comparées à ces résultats car le type de paramètre d'étiage étudié n'est pas précisé.

5.2.2 Emissaires du Lac

Comme nous l'avons déjà évoqué précédemment, le Lac d'Annecy dispose de trois émissaires :

- le canal du Thiou : exutoire naturel du Lac d'Annecy qui renvoie les eaux du Lac vers le Fier (affluent du Rhône),
- le canal du Vassé : canal artificiel qui rejoint le Thiou dans Annecy,
- le canal st Dominique (ou canal Saint François) : canal artificiel reliant le Thiou au canal du Vassé.

Les débits du Thiou et du Vassé sont suivis quotidiennement par les services techniques de la mairie d'Annecy. Les débits du canal Saint Dominique ne sont pas enregistrés, ils apparaissent comme négligeables comparés à ceux du Thiou et du Vassé.

5.2.2.a Débits moyens

Les débits moyens mensuels et annuel des émissaires (canal de Vassé et Thiou) du Lac d'Annecy ont été calculés sur la période 1967 -2010, non compris les années 1970 à 1974.

m3/s	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	déc	an
Thiou et Vassé	9.73	9.91	10.95	12.01	11.15	8.17	5.31	3.37	4.62	6.28	7.76	9.38	8.22

tableau 9. débits moyens mensuels et annuel – canaux d'Annecy

Le module annuel de 8.22 m³/s est cohérent avec la valeur de 8.25 m³/s indiquée dans l'étude de SOGREAH [3] et calculée sur une période plus restreinte : 1967 -1993.

Une forte variabilité de l'hydraulicité annuelle est constatée avec un maximum de 12 m³/s (43.3 l/s/km²) en 1968 et un minimum de 3.56 m³/s en 1989 (12.8 l/s/km²) pour la période 1965 – 2010 (cf. figure 10). On notera en particulier les années 2003, 2004 et 2005 où pendant 3 années consécutives le débit moyen annuel des exutoires du Lac d'Annecy a été compris entre 5,1 et 5.5 m³/s.

Le débit moyen de la dernière décennie, 2001-2010, est de 7.15 m³/s soit un déficit d'hydraulicité de 13%.

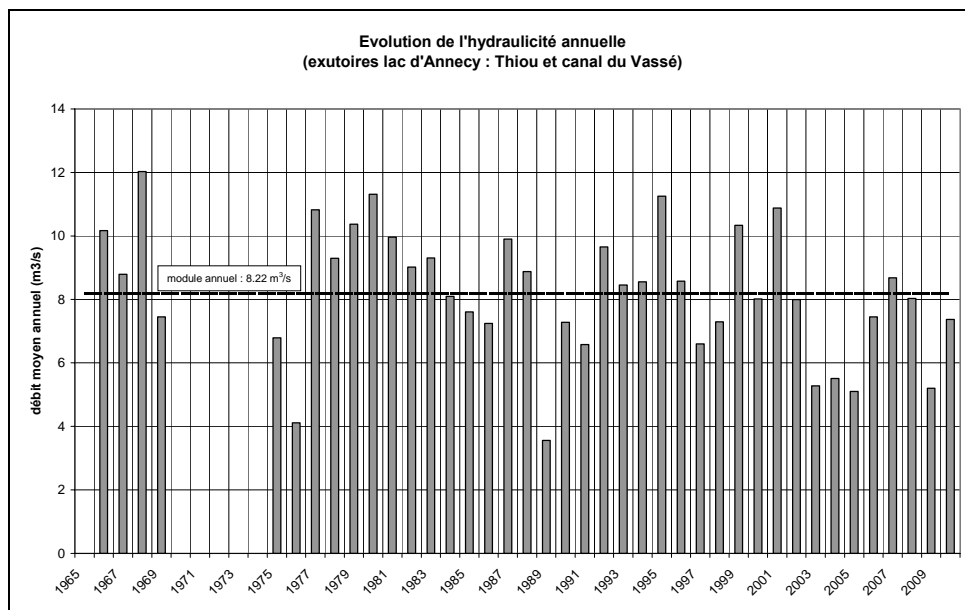


figure 10 Chronique des débits annuels du Thiou et du canal du Vassé, 1967 - 2010

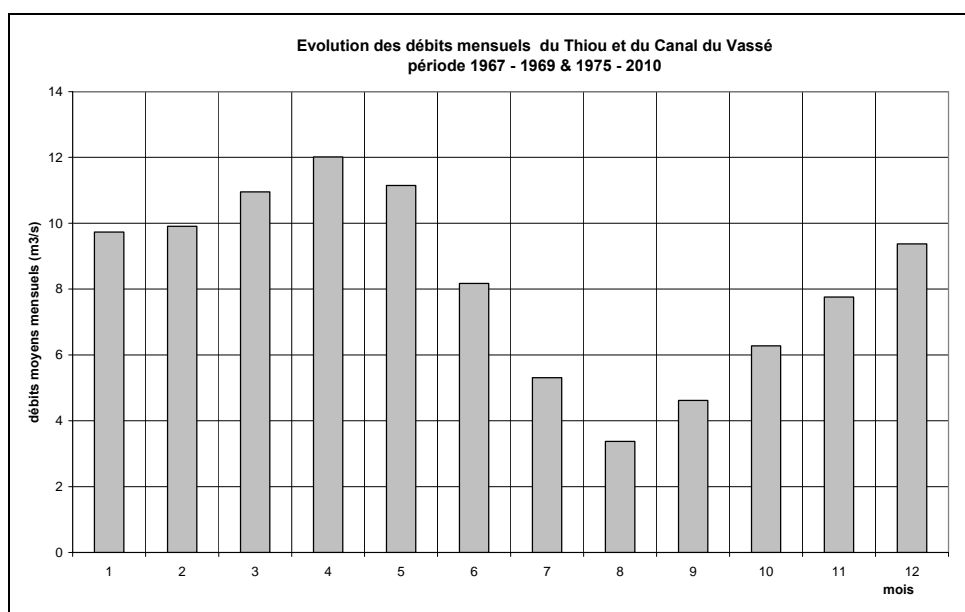


figure 11 Evolution des débits mensuels du Thiou et du canal du Vassé

Bien que les débits du Thiou soient en partie artificiels en raison de la régulation de la cote du Lac, le régime hydrologique des émissaires du Lac peut être considéré de type nivo-pluvial, similaire à celui observé sur les affluents instrumentés du Lac : les hautes eaux principales correspondent à la fonte nivale printanière, une seconde recrudescence des débits est observée à l'automne alors que l'étiage est enregistré en été.

Les coefficients mensuels de débits (pour un mois donné rapport du débit moyen mensuel au module annuel) des émissaires et des affluents instrumentés sont comparés sur la figure 12. Ce paramètre permet de confirmer qu'au pas de temps mensuel, le régime hydrologique des émissaires du Lac est relativement proche de celui observé pour les apports entrants. Au pas de temps mensuel,

les effets tampon de la retenue sont visibles uniquement de janvier à mai avec des débits sortants plus soutenus que les apports entrant de janvier à février, ce phénomène s'inverse de mars à mai.

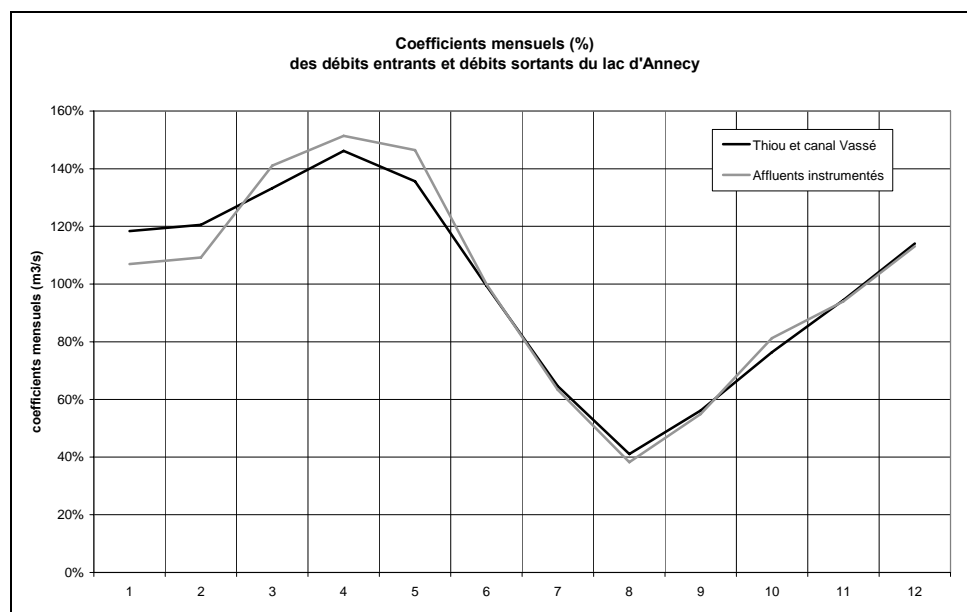


figure 12 Coefficients mensuels des débits sortants et des apports instrumentés

5.2.2.b Crues

Suite aux travaux de modernisation des ouvrages de régulation du Lac et de recalibrage des canaux en 1965, le débit maximum qui peut transiter dans les canaux d'Annecy est évalué à 51,5 m³/s avec 40 m³/s pour le canal du Thiou et 11.5 m³/s pour les canaux du Vassé et Saint Dominique. Au-delà, les canaux déborderaient ce qui ne s'est pas produit depuis 1965.

Les débits de crue caractéristiques des canaux d'Annecy ont été calculés à partir de la chronique des débits journaliers disponibles sur la période 1993 – 2010. Les résultats sont présentés dans le tableau 10.

Canaux	278 km ²	m ³ /s l/s/km ²	Crue biennale	crue quinquennale	crue décennale	crue centennale	maximum observé	
			34	38	40	50	42	150
			122	137	145	180	Juillet 1997	

tableau 10. Débits caractéristiques de crue – canaux d'Annecy période 1993 - 2010

Au regard des débits spécifiques, on note une forte atténuation des crues des émissaires du Lac par rapport à celles des affluents. Elle s'explique par l'effet de rétention naturel du Lac mais également par la régulation mise en place depuis 1965 qui permet de gérer au mieux et d'écarter les crues en sortie du Lac.

A noter que le débit de la crue centennale correspond au débit maximum pouvant être évacué avant débordement des canaux d'Annecy.

Les valeurs de crues caractéristiques annoncées dans l'étude de SOGREAH [3] étaient relativement similaires à nos résultats avec une crue décennale de 42 m³/s et une crue centennale de 55 m³/s et ce bien que la période de calcul était totalement différente : 1967 -1984.

La répartition saisonnière des 10 plus fortes crues historiques annuelles observées sur la période 1996-2010 a été étudiée. Comme pour les apports du Lac, la saison hivernale (décembre à février) apparait la plus à risque.

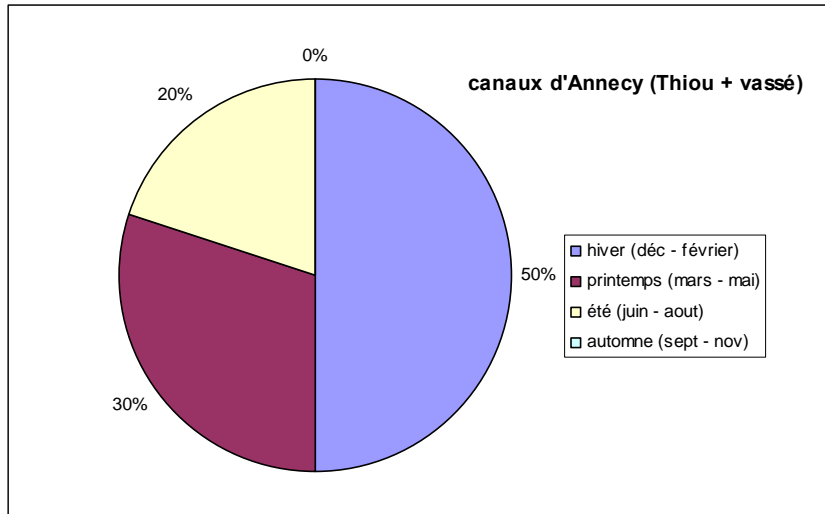


figure 13 Répartition saisonnière des crues extrêmes des canaux d'Anney

5.2.2.b.i Etiages

Les débits d'étiage des émissaires du Lac d'Anney ont été calculés. Les résultats sont présentés dans le tableau 11. Les valeurs du VCN10 de période de retour 5 ans et du QMNA5 des émissaires du Lac sont de l'ordre de grandeur des étiages calculés pour les affluents (Ire et Eau Morte).

		Période	QMNA5	QMNA observé	VCN10 5 ans	VCN10 observé	Min absolu journalier			
			1963 – 2010		1996 – 2010					
Canaux	278 km ²	m3/s	1.13	août 1976	0.42	1.45	août 1998	1.25	29&30 & 31 oct 98	0.0
		l/s/km ²	4.1	1976	1.5	5.2	août 1998	4.5	31 oct 98	0.0

tableau 11. Débits caractéristiques des étiages – émissaires du Lac d'Anney

5.3 Evaporation au droit du Lac

Les pertes mensuelles par évaporation sur le Lac d'Anney ont été estimées par application de la formule de Turc. Les résultats sont présentés dans le tableau 12.

$$E_{(mm / mois)} = 0.015 * \left(\frac{T}{T + 15} \right) * (R_g + 50)$$

Formule de Turc

Avec :

T : température mensuel en °C

Rg : rayonnement global en cal/cm²/mois

	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	annuel
T (°C)	1.4	3.0	6.5	9.6	14.2	17.7	20.1	19.5	15.8	11.5	5.6	2.3	10.6
Rg (cal/cm²)	3 832	6 375	9 881	10 912	12 544	12 802	14 692	13 661	11 943	8 678	4 313	3 694	9 444
E (mm)	5.0	16.2	45.0	64.1	91.8	104.3	126.6	116.2	92.3	56.9	17.8	7.5	743.6
E (m³/s)	0.05	0.18	0.46	0.68	0.94	1.10	1.29	1.19	0.98	0.58	0.19	0.08	0.64

tableau 12. Evaporation mensuelle et annuelle calculée pour le Lac d'Annecy

A titre d'information, l'évaporation annuelle évaluée lors de l'étude de SOGREAH [3] est de 0.60 m³/s, soit une lame d'eau annuelle de 690 mm. Aucune information n'est donnée sur la répartition mensuelle de l'évaporation ni sur la période de calcul

Lors du bilan hydrique du Lac d'Annecy réalisé sur l'année hydrologique 1966-1967 [4], l'évaporation mensuelle a été mesurée. Ces valeurs historiques, issues de mesures de terrain, ont été rapprochées des résultats théoriques obtenus par application de la formule de Turc sur figure 14. Elle confirme l'allure de la répartition mensuelle de l'évaporation calculée par la formule de Turc et permet de valider les résultats du tableau 12.

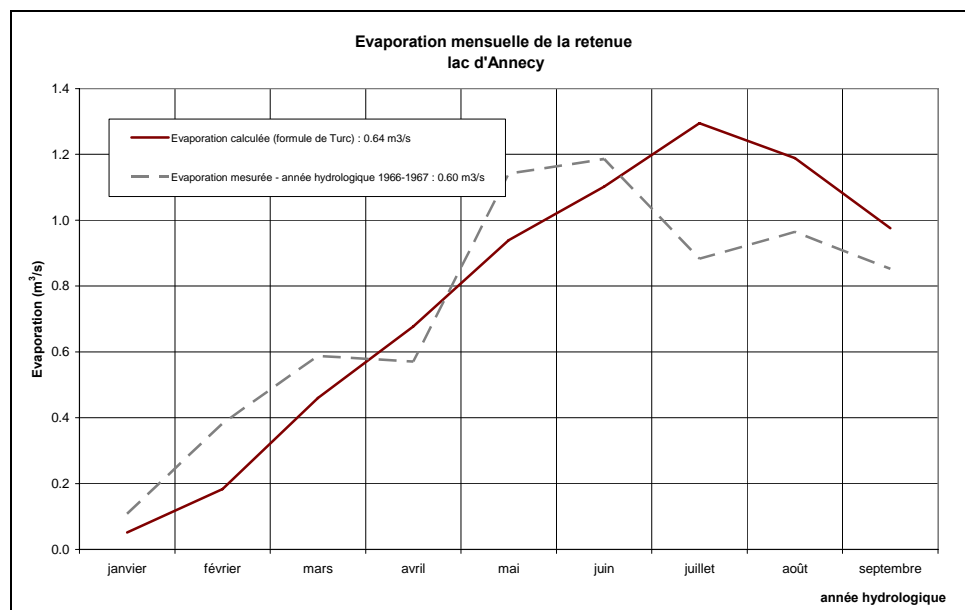


figure 14 Evaporation mensuelle – retenue du Lac d'Annecy

5.4 Prélèvements pour activités humaines

Les prises d'eau pour les activités humaines (principalement alimentation en eau potable) ont été recensées autour du Lac. Elles sont localisées sur 5 communes riveraines :

- Annecy : prise d'eau de la Puya et prise d'eau de la Tour,
- Saint Jorioz,
- Talloires,
- Menthon Saint Bernard,
- Veyrier du Lac.

La Communauté de l'Agglomération d'Annecy dispose des volumes mensuels prélevés par les villes d'Annecy et de Saint Jorioz (cf. tableau 13).

Volume annuel prélevé 10 ³ m ³	Période de l'historique	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	annuel
Annecy	1989 & 1994-2010	813	751	823	803	833	872	913	853	812	832	777	798	9 879
St Jorioz	2006-2009	35	33	32	38	45	48	59	68	49	47	38	32	524
total		848	784	854	842	877	920	972	921	861	879	815	830	10 403

tableau 13. Prélèvements mensuels dans Lac d'Annecy pour activités humaines (10³ m³) – source Communauté de l'Agglomération d'Annecy

Des informations sur les prélèvements annuels réalisés par les communes de Talloires, Menthon Saint Bernard et Veyrier du Lac ont été téléchargées depuis le site Internet de l'Agence de l'Eau RMC.

Volume annuel prélevé 10 ³ m ³	Période de l'historique	Prélèvements annuels 10 ³ m ³
Talloires	1987-1996	270
Menthon Saint Bernard	1987-2009	238
Veyrier du Lac	1987-2008	79
Total		587

tableau 14. Prélèvements annuels dans Lac d'Annecy pour activités humaines (10³ m³) – source Agence de l'Eau RMC

Les prélèvements de Talloires, Menthon Saint Bernard et Veyrier du Lac sont très faibles en comparaison des prélèvements réalisés par les pompages d'Annecy et Saint Jorioz. Ils représentent seulement 5% des volumes totaux prélevés sur le Lac d'Annecy. Pour établir le bilan hydrique du Lac d'Annecy, il est nécessaire de disposer des prélèvements au pas de temps mensuel. En l'absence d'informations complémentaires, le volume annuel (587 10³ m³) prélevé par les villes de Talloires, Menthon St Bernard et Veyrier du Lac a été réparti sur les 12 mois de l'année en imposant la même répartition mensuelle que celle observée pour le prélèvement de la commune de Saint Jorioz (présence d'un pic de volume prélevé pendant la saison estivale en lien avec l'augmentation de la population).

Le tableau 15 synthétise les volumes mensuels prélevés dans le Lac par les communes riveraines et qui seront exploités par la suite pour établir le bilan hydrique du Lac d'Annecy.

Volume prélevé	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	annuel
10 ³ m ³	896	829	903	890	927	972	1 026	972	909	928	861	878	10 990
m ³ /s	0.33	0.34	0.34	0.34	0.35	0.37	0.38	0.36	0.35	0.35	0.33	0.33	0.35

tableau 15. Prélèvements mensuels dans Lac d'Annecy pour activités humaines (10³ m³)

L'étude SOGREAH [3] indique un débit prélevé pour l'alimentation en eau potable aux différentes prises d'eau du Lac de 0.3 m³/s ce qui correspond à un volume annuel de 9 461 10³ m³. Depuis 1998 on note une augmentation des prélèvements d'eau potable de 15% (soit 0.5 m³/s) essentiellement liée à l'augmentation des captages de la commune d'Annecy (cf. figure 15).

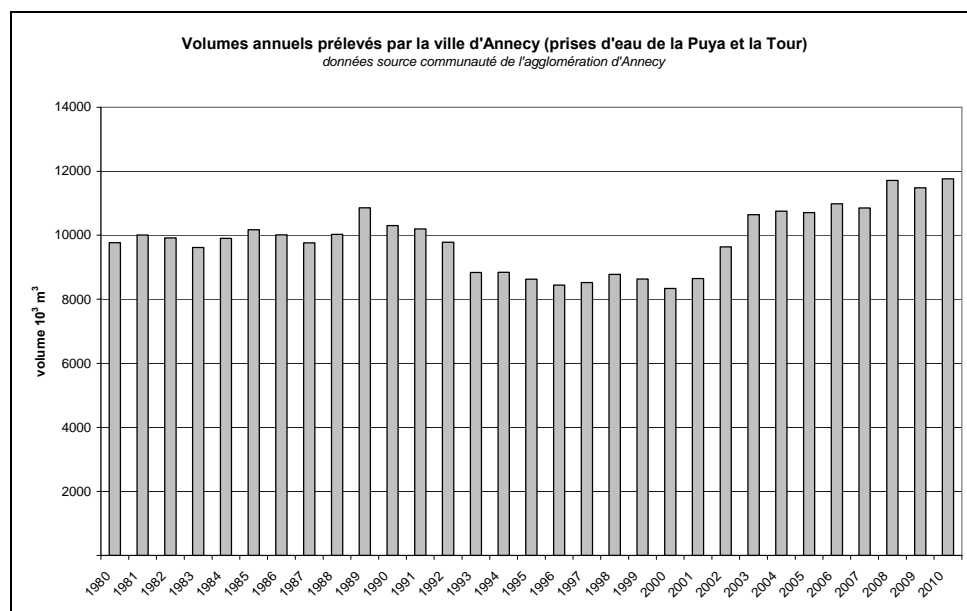


figure 15 Evolution des prélèvements annuels pour activités humaines – pompage d'Annecy

5.5 Formulation du bilan hydrique

La formulation du bilan hydrique du Lac d'Annecy peut s'écrire sous la forme :

$$Q_{\text{aff_inst}} + Q_{\text{BVI}} + P_{\text{lac}} = Q_{\text{émissaire}} + AEP + E_{\text{lac}} + \Delta R \text{ (m}^3/\text{s)}$$

avec :

- $Q_{\text{aff_inst}}$: apport des affluents instrumentés, 160 km² (Bornette, Laudon, Ire et Eau Morte)
- Q_{BVI} : apport des affluents non instrumentés (90 km²) et apport sources lacustres
- P_{lac} : précipitation directe sur le Lac d'Annecy (27.8 km²)
- $Q_{\text{émissaire}}$: débit des émissaires (Thiou et canal Vassé)
- AEP : débit prélevé sur le Lac pour les activités humaines (essentiellement alimentation en eau potable)
- E_{lac} : évaporation directe sur le Lac
- ΔR : stockage ou déstockage lié au fonctionnement de la retenue

Au pas de temps annuel, le terme ΔR peut être négligé. Les éléments identifiés dans les chapitres précédents permettent ainsi d'estimer le terme Q_{BVI} annuel par la formule suivante:

$$Q_{BVi} = Q_{\text{émissaire}} + AEP + E_{\text{lac}} - (Q_{\text{aff_inst}} + Pl_{\text{lac}}) \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\text{soit } Q_{BVI} = 8.22 + 0.35 + 0.64 - (4.86 + 1.08) = 3.26 \text{ m}^3/\text{s}$$

En lien avec l'écologie des roseaux, les lames d'eau trimestrielles écoulées au droit des bassins versants instrumentés et non instrumentés ont été calculées. Les résultats sont présentés en tableau 16 et en figure 16.

Lames d'eau écoulées (mm)	Eau Morte à Doussard (92.5 km ²)	L'Ire à Doussard (27.1 km ²)	Le Laudon à St-Jorioz (29.2 km ²)	La Bornette à Lathuile (11.6 km ²)	BV non instrumenté (90 km ²)	Total BV instrumenté (160.4 km ²)
1 ^{er} trimestre	277	291	282	298	337	301
2 ^d trimestre	320	440	208	270	378	339
3 ^{ème} trimestre	132	155	79	124	150	135
4 ^{ème} trimestre	217	281	219	266	277	248
annuel	945	1 167	788	958	1 143	1 023

tableau 16. lames d'eau écoulées (mm) – bassin versant d'Anney

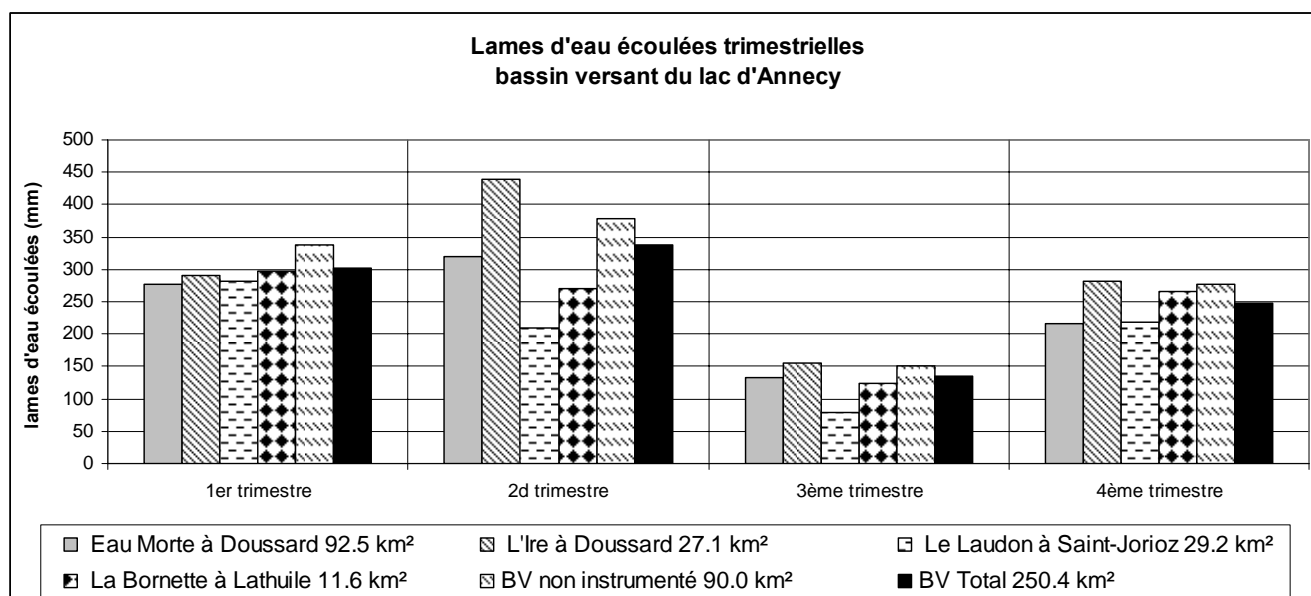


figure 16 Lames d'eau écoulées trimestrielles (mm) – BV d'Anney

En faisant l'hypothèse que la répartition mensuelle des débits spécifiques du bassin non instrumenté est identique à celle des 160 km² contrôlés, le bilan hydrique mensuel a été déterminé. Il est présenté dans le tableau qui suit.

		AN	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Entrant	Q_{aff inst}	4.86	5.2	5.3	6.9	7.4	7.1	4.9	3.1	1.9	2.7	4.0	4.6	5.5
	Q_{BVI}	3.26	3.49	3.57	4.61	4.94	4.78	3.26	2.07	1.25	1.79	2.65	3.07	3.69
	PI_{lac}	1.08	1.01	1.01	1.01	0.99	1.13	1.15	1.04	1.03	1.19	1.22	1.08	1.13
	Total entrant	9.21	9.70	9.88	12.48	13.29	13.03	9.27	6.18	4.13	5.65	7.82	8.72	10.33
sortant	E_{lac}	0.64	0.2	0.2	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.2	1.0	0.6	0.2	0.1
	Q_{émissaire}	8.22	9.73	9.91	10.95	12.01	11.15	8.17	5.31	3.37	4.62	6.28	7.76	9.38
	AEP	0.35	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
	Total sortant	9.21	10.08	10.51	11.73	13.03	12.43	9.62	7.00	4.94	5.96	7.16	8.26	9.77
Variation retenue	ΔR	0.00	-0.38	-0.63	0.75	0.26	0.60	-0.35	-0.82	-0.81	-0.31	0.66	0.46	0.56

tableau 17. Bilan hydrique mensuel du Lac d'Annecy – m³/s

Le bilan hydrique moyen annuel du Lac d'Annecy est ainsi estimé à 9.21 m³/s soit un volume 290,4 10⁶ m³. Il est identique à celui fournit dans l'étude SOGREAH-1998 (290 10⁶ m³/an) mais à l'intérêt de fournir des informations au pas de temps mensuel pour comprendre l'alimentation et le fonctionnement hydraulique du Lac.

Le volume de la retenue du Lac d'Annecy pour une cote normale (80 cm à l'échelle du Pont de la Halle) est de 1 026 10⁶ m³. Le renouvellement des eaux du Lac est de l'ordre de 3,5 années.

6 ANALYSE DES CHRONIQUES DE NIVEAU

6.1 Historique de la régulation du Lac

Comme nous l'avons déjà précisé auparavant (§ 3), la régulation du Lac d'Annecy par des ouvrages régulateurs est effective depuis 1874. Le règlement associé a été établi trois ans plus tard en 1877. Depuis cette date, les canaux du Thiou et du Vassé sont affranchis du fonctionnement hydraulique naturel du Lac. Des travaux de dragage (1884 et 1905), de curage (1904 – 1905) et de bétonnage des canaux (1914) ont permis d'améliorer l'écoulement des canaux d'Annecy. Ils ont eu pour conséquence d'augmenter la capacité du débit sortant au droit des émissaires du Lac, réduisant dans le même temps le risque de crues majeures.

Plus récemment, des travaux de modernisation des systèmes de régulation et de recalibrage des canaux ont été réalisés en 1965. Ils ont permis d'augmenter les effets de la régulation en réduisant le marnage du niveau du Lac.

L'étude de l'évolution des chroniques de niveau du Lac doit donc tenir compte de 3 périodes historiques :

- avant 1874 : écoulement naturel du Lac,
- de 1874 à 1964 : 1^{er} régulation du Lac avec différentes phases de travaux de dragages, curages et bétonnage,
- après 1965: modernisation des ouvrages de régulation et recalibrage des canaux.

Les chroniques historiques du niveau du Lac et des informations associées ont été recensées. L'annexe 5 synthétise les éléments collectés.

6.2 Evolution du niveau moyen de la retenue et du marnage annuel

6.2.1 Niveau moyen annuel du Lac

Nous ne disposons pas de chronique des niveaux du Lac avant la mise en place de la régulation de 1874. Seules des informations ponctuelles ont été recensées dans la littérature en particulier dans les articles de H.Onde [2]. La cote moyenne du Lac, par rapport au zéro de l'échelle du Pont de la Halle, peut être estimée à :

- 80 cm en 1840,
- 53 à 58 cm en 1855.
- 46 cm de 1862 à 1868.

Le règlement de la régulation du Lac de 1877 fixe l'amplitude des niveaux normaux extrêmes à 55 cm avec une cote conventionnelle de 80 cm par rapport au zéro de l'échelle du Pont de la Halle. L'étiage conventionnel est fixé à la cote 25 cm : à partir de ce niveau les canaux d'Annecy ne laissent s'écouler que les débits entrants soit les apports des affluents et des sources lacustres. Dans la réalité, la cote moyenne annuelle du Lac observée entre 1906-1913 & 1921-1931 se situe entre 65 et 70 cm ce qui est inférieure à la cote moyenne conventionnelle.

De 1933 à 1956 nous ne disposons pas d'éléments permettant de déterminer la cote moyenne du Lac. Les chroniques mensuelles des services techniques de la mairie d'Annecy débutent en 1957 et permettent de déterminer la cote moyenne annuelle du Lac avant et après les travaux de 1965 :

- Période 1957 -1964 : 65 cm
- Période 1966 – 2010 : 74 cm

Les travaux de 1965 ont permis d'exhausser la cote moyenne annuelle du Lac de près de 10 cm. De 1975 à 2010, le niveau moyen annuel du Lac a été seulement une seule fois inférieur à 70 cm (65 cm en 2003) alors que ce phénomène était régulièrement observé avant 1965.

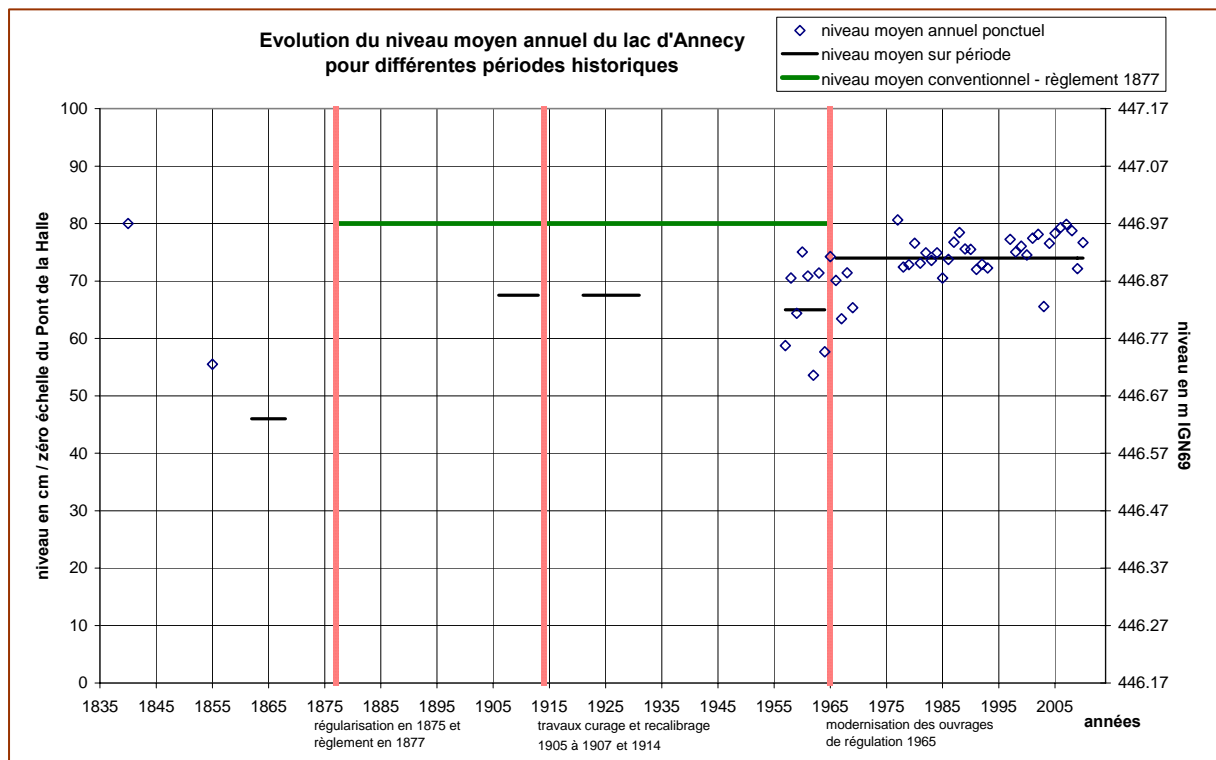


figure 17 Evolution du niveau moyen annuel du Lac d'Annecy pour différentes périodes historiques

La cote moyenne annuelle de la dernière décennie (2001-2010) avec une valeur de 76 cm est peu impactée par rapport à la faiblesse de l'hydraulicité des apports entrants et sortants du Lac.

6.2.2 Niveau moyen mensuel

Nous ne disposons que de très peu d'informations sur l'évolution mensuelle du niveau du Lac avant 1910.

Les seuls éléments recensés sont issus des travaux d'A Cronard [6]. Ils consistent en des graphiques de l'évolution journalière de la cote du Lac pour les années 1865 et 1892 à 1902. Ils ne sont pas suffisamment précis pour être numérisés et exploités.

Les écrits de H.Onde [2] indiquent le niveau moyen mensuel du Lac pour 2 périodes anciennes : 1906-1913 et 1921-1931, soit avant et après les travaux de bétonnage de 1914 des 2 canaux. Leurs évolutions sont comparées sur la figure 18.

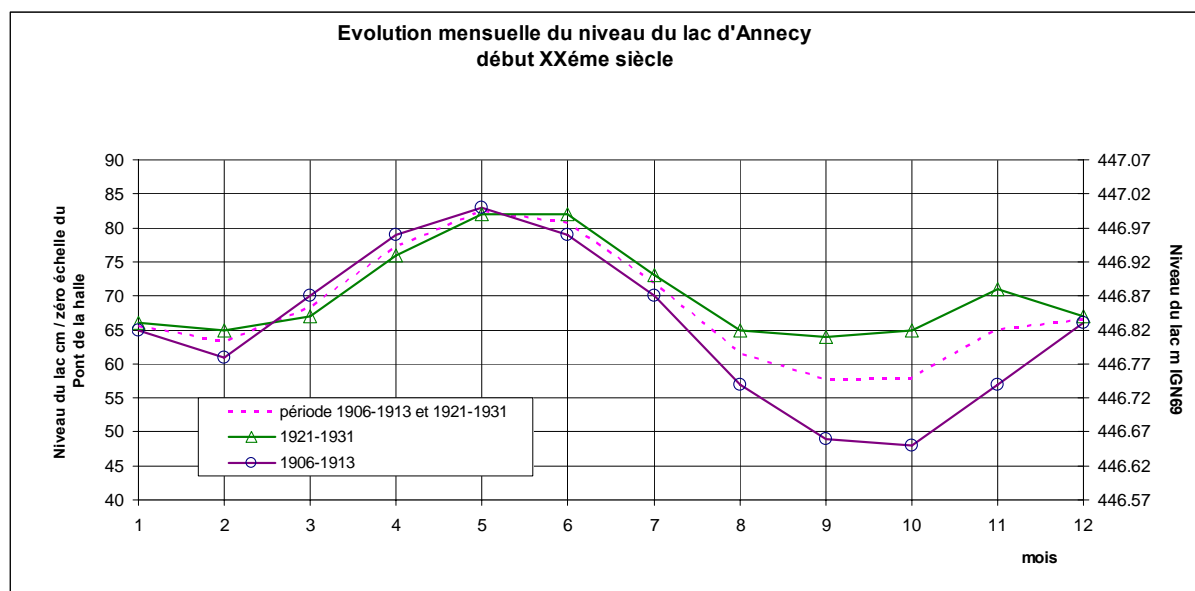


figure 18 Evolution mensuelle du niveau du Lac d'Annecy – début du XX^{ème} Siècle

De fortes différences de fonctionnement du niveau du Lac d'Annecy sont observées essentiellement sur la période d'août à novembre. Pour les années 1906-1913, les étiages du Lac sont plus sévères avec une cote minimale atteignant 48 cm (octobre) contre 64 cm (septembre) pour la période 1921 – 1931. Ces 2 périodes présentent des hydraulicités annuelles similaires avec des modules du Thiou de 9.15 m³/s pour la période 1906-1913 et 9.36 m³/s pour la période 1921-1931.

Les débits moyens mensuels du Thiou n'apportent pas d'éléments intéressants sur la compréhension de l'hydraulicité de ces 2 périodes car ils sont non naturels du fait de la régulation. Il serait nécessaire de disposer de l'hydrogramme mensuel des apports du Lac pour comprendre les différences d'hydraulicité des deux périodes, en particulier concernant la présence d'un étiage automnal sévère pour la période 1906-1913. Ces informations ne sont pas disponibles, par contre l'analyse de la pluviométrie à Annecy confirme la présence de mois d'août et septembre plus arrosés sur la période 1921-1931 qui expliquerait le fait que l'étiage associé soit peu marqué sur le Lac (cf. figure 19).

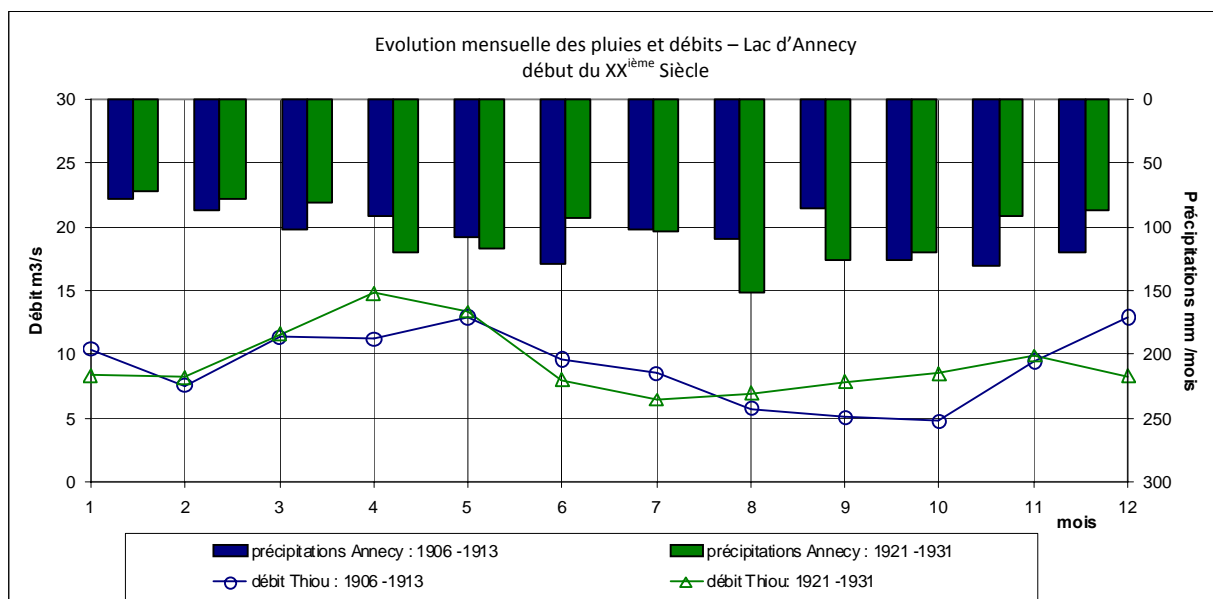


figure 19 Evolution mensuelle des débits et précipitations - Lac d'Annecy – début du XX^{ème} Siècle

Au final, on retiendra que le marnage annuel du Lac d'Annecy au début du XX^{ème} Siècle était de l'ordre de 25 cm avec des variations importantes en fonction de l'année considérée.

période	Maximum moyen		Minimum moyen		Marnage moyen annuel
	Niveau cm	mois	Niveau cm	mois	Niveau cm
1906 - 1913	83	mai	48	octobre	35
1921 - 1931	82	mai	64	septembre	18
Total	82	mai	58	octobre	25

tableau 18. Variation du marnage annuel du Lac – début XX^{ème} Siècle

Nous disposons des chroniques mensuelles du niveau du Lac de 1957 à 2010. Le marnage annuel a été calculé pour 2 périodes distinctes : avant et après modernisation des ouvrages de régulation du Lac (1965).

Les évolutions des niveaux mensuels de la cote du Lac sont présentées graphiquement sur la figure 20. Le marnage moyen annuel, calculé à partir de ces limnigrammes moyen mensuel, est synthétisé dans le tableau 19.

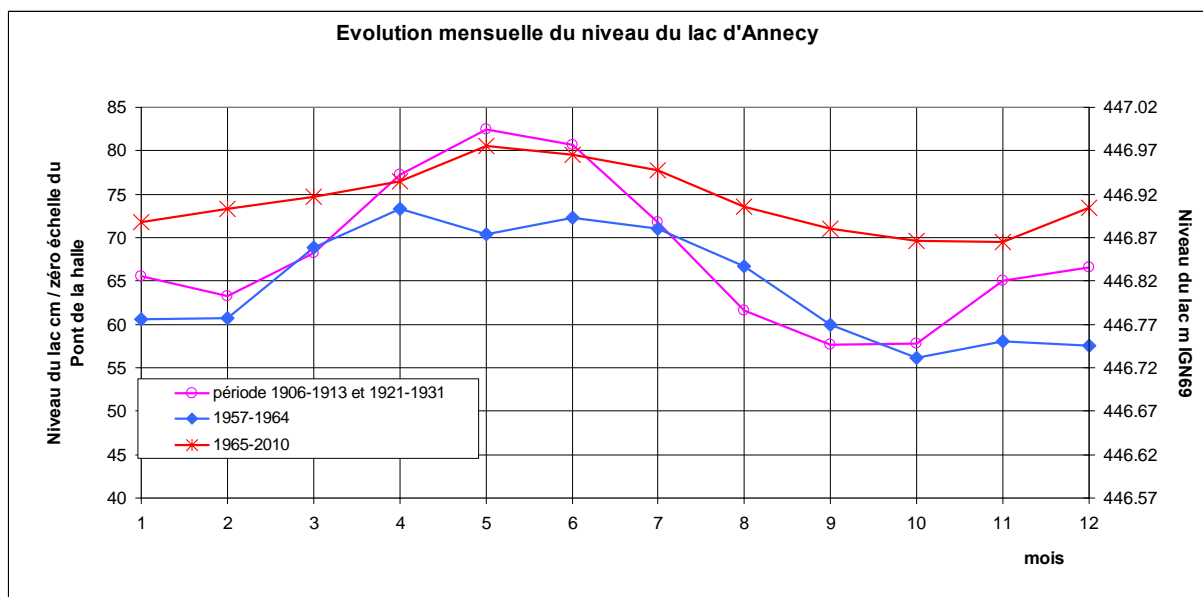


figure 20 Evolution des niveaux mensuels du Lac d'Annecy pour différentes périodes

période	Définition de la période	Maximum moyen		Minimum moyen		Marnage moy. annuel	
		Niveau cm	mois	Niveau cm	mois	Niveau cm	
Avant 1874	Avant régulation	Information non disponible					
1874 à 1906	Après régularisation de 1874 + règlement de 1877						
1906 - 1913	Après travaux de recalibrage de 1906	83	mai	48	Oct.	35	
1921 - 1931	Après travaux de recalibrage de 1914	82	mai	64	Sept.	18	
1906 -1913 & 1921 -1931	Début XX ^{ème} Siècle	82	mai	58	Oct.	25	
1957 -1964	Milieu XX ^{ème} Siècle	73	Avril - Mai	56	Oct.	17	
1966- 2010	Modernisation des ouvrages	81	Mai	70	Oct- Nov	11	
2001- 2010		84	Mai	71	Oct.	14	

tableau 19. Synthèse du marnage moyen annuel du Lac en fonction de la régulation

Remarque :

Le marnage annuel du niveau Lac sur la dernière décennie (2001-2010), identifiée comme "sèche", a été calculé. Avec une valeur de 14 cm, il est supérieur au marnage de la période complète 1966-2010. La différence n'est pas liée à la période d'étiage mais aux hautes eaux qui sont plus élevées de + 3 cm (84 cm pour 2001-2010 contre 81 cm pour 1966-2010). En effet au cours de la dernière décennie, la cote moyenne mensuelle du Lac pour le mois de mai n'est jamais passée en dessous de 80 cm alors que le niveau mensuel du Lac a été enregistré 14 fois en dessous de 80 cm pour ce même mois sur les 30 années disponibles de 1966 -2000 (1 année sur 2).

Les valeurs présentées ci-avant dans le tableau 19, sont des marnages moyens annuels déterminés sur des limnigrammes moyens mensuels calculés pour une période donnée. La figure 21 présente les résultats de marnages annuels issus d'un autre calcul. Cette fois ci pour chaque année de la période, le marnage annuel a été déterminé à partir des cotes moyennes mensuelles extrêmes, le marnage interpériode correspond à la moyenne des marnages annuels ainsi identifiée. Les cotes extrêmes et le marnage annuel interpériode sont de ce fait plus marqués avec notamment les valeurs suivantes pour le marnage annuel interpériode :

- Période 1957 -1964 : 38 cm,
- Période 1965 -2010 : 22 cm,
- Période 2001 -2010 : 20 cm.

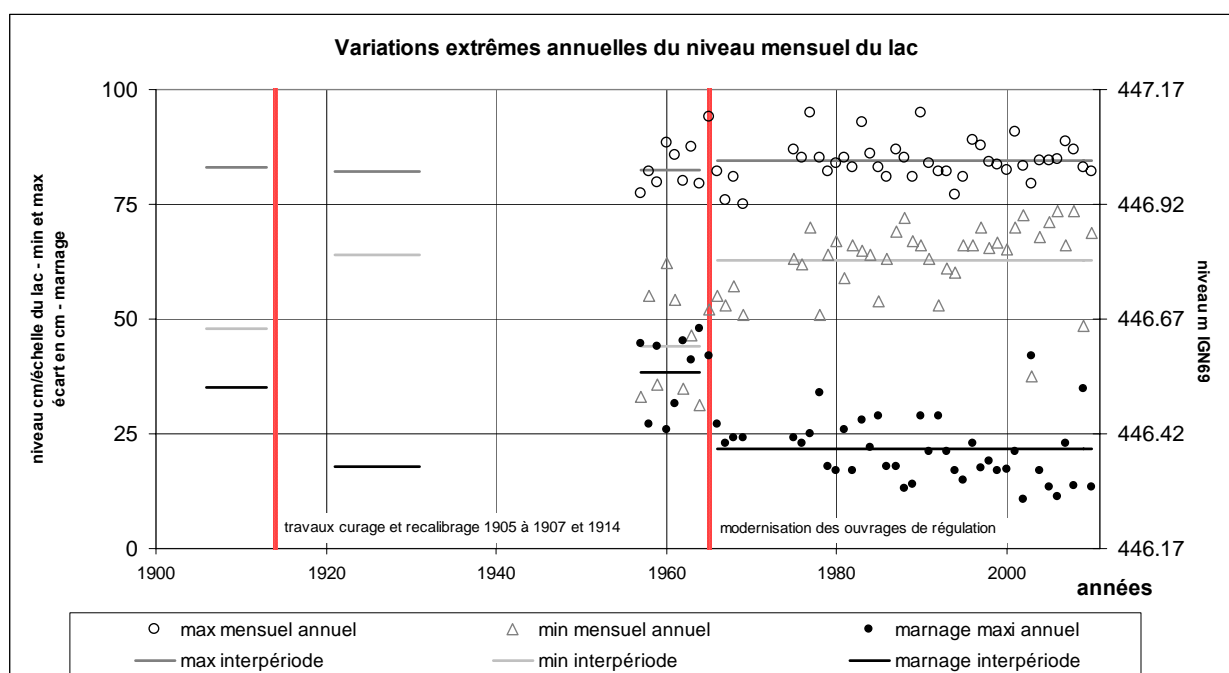


figure 21 Evolution des niveaux extrêmes mensuels du Lac d'Annecy pour différentes périodes historiques

6.2.3 Niveau moyen journalier

Les marnages présentés dans le chapitre précédent sont des marnages annuels calculés sur des niveaux moyens mensuels. Il est intéressant de les comparer à des marnages annuels calculés sur des niveaux moyens journaliers. L'objectif est de quantifier les écarts entre les marnages annuels de ces 2 pas de temps. Cette analyse a été réalisée pour les périodes disposant de chroniques journalières et mensuelles des niveaux du Lac soit 1957 -2010.

	Définition de la période		maximum moyen	minimum moyen	Marnage moyen
			Niveau cm	Niveau cm	Niveau cm
Marnage mensuel	1957 -1964	Milieu XX ^{ème} Siècle	83	44	38
	1966- 2010	Modernisation des ouvrages	85	63	22
Marnage journalier	1957 -1964	Milieu XX ^{ème} Siècle	104	36	68
	1966- 2010	Modernisation des ouvrages	96	59	37

tableau 20. Synthèse du marnage annuel pour différents pas de temps – mensuel et journalier

Les résultats présentés dans le tableau 20 confirment que le marnage maximum observé est très différent s'il est calculé à partir de données de niveaux mensuels ou journaliers.

Ces deux approches sont intéressantes à observer car si du point de vue du cycle biologique du roseau, c'est le pas de temps sur des niveaux moyens mensuels qu'il faut regarder, les niveaux moyens journaliers apportent de l'information quant aux éventuels effets mécaniques sur les roselières dus par exemple à la houle et/ou aux flottants.

La figure 22 compare l'évolution moyenne du niveau du Lac d'Annecy au pas de temps journalier pour les périodes historiques 1957 -1964 et 1966 -2010 soit avant et après modernisation des ouvrages de régulation des canaux d'Annecy. Nous notons que la période avant 1965 présente de nombreuses fluctuations qui ne sont pas visibles pour la période après 1965. Ce phénomène peut avoir deux origines :

- une période 1957-1964 trop courte qui ne permet pas de lisser correctement les événements exceptionnels observés (ex crue autour du 1^{er} juillet),
- la modernisation des ouvrages de la régulation en 1965 qui a permis d'améliorer la gestion du niveau du Lac.

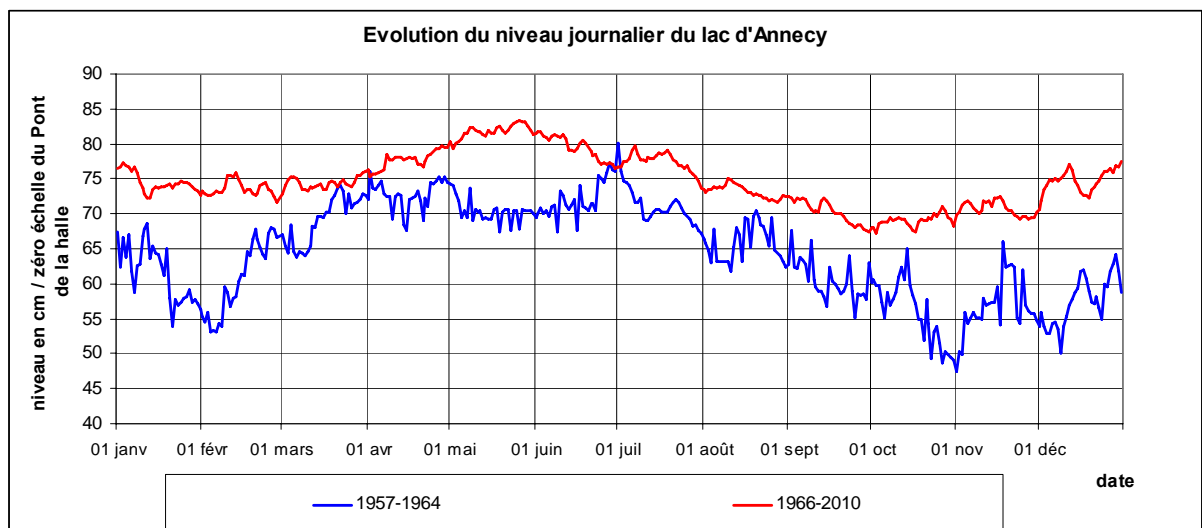


figure 22 Evolution des niveaux journaliers du Lac d'Annecy pour différentes périodes

6.3 Etude des extrêmes

Remarques : Les niveaux du Lac par rapport à l'échelle du Pont de la Halle sont exprimés en mètres dans ce chapitre.

6.3.1 Recensement des extrêmes

Les informations historiques concernant l'observation des niveaux extrêmes enregistrés (crues et étiages) sont nombreuses dans la littérature et permettent de remonter loin en arrière. Les données relatives aux débordements sont toutefois à exploiter avec prudence. Ainsi le niveau maximum enregistré lors de certaines crues anciennes exceptionnelles est lié non seulement à un événement météorologique remarquable mais également à la formation d'embâcles, au droit des canaux d'Annecy, qui ont eu pour effet d'augmenter la cote du Lac « artificiellement ». Ceci est vrai essentiellement pour les événements de crue observés avant les travaux de recalibrage et de curage des canaux (1906 et 1914).

A partir des éléments et séries à notre disposition, les chroniques historiques des cotes extrêmes journalières du Lac d'Annecy ont été reportées sur la figure 23.

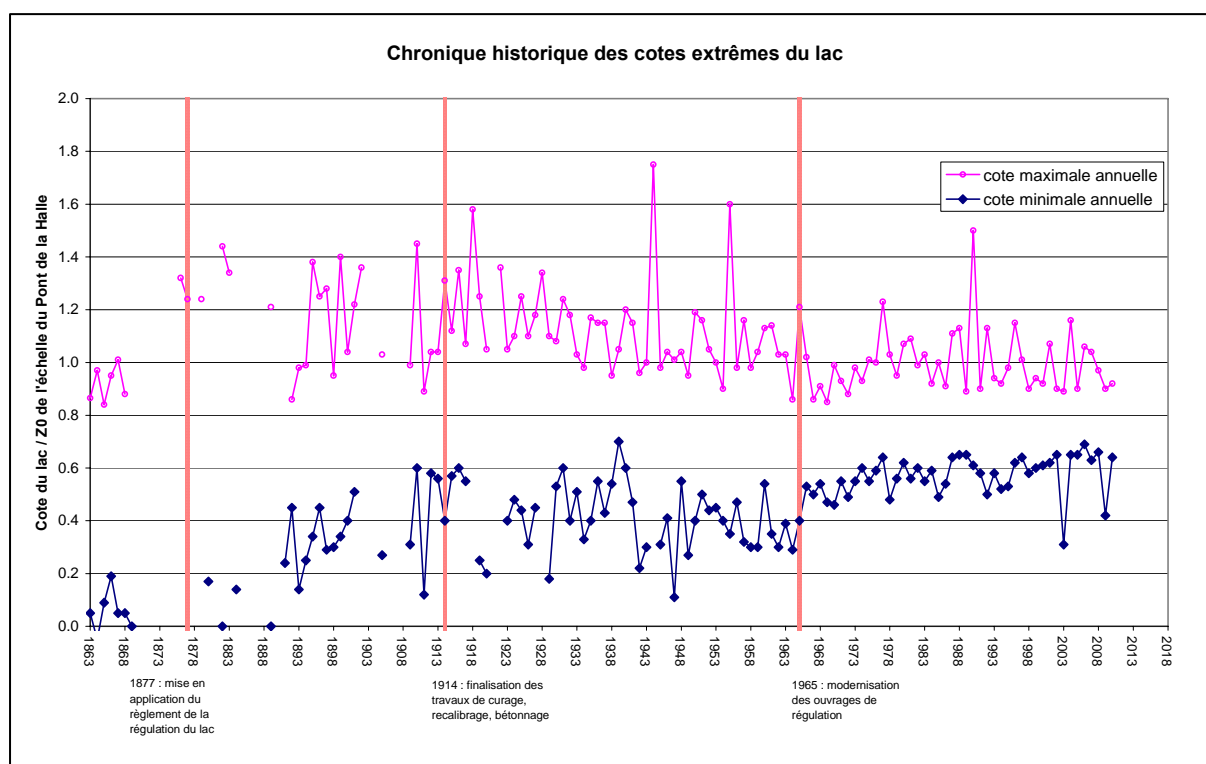


figure 23 Chroniques historiques des cotes extrêmes annuelles

Les données des cotes extrêmes avant 1914 sont discontinues et donc difficilement exploitables. Dans la littérature, il est fait référence à des crues exceptionnelles. Nous citerons en particulier janvier 1651 avec une cote atteinte de 2m70 (par rapport au zéro de l'échelle du pont de la Halle) et février 1711 avec 3m10. Or ces crues exceptionnelles ont le plus souvent une origine non hydrologique ; elles sont la conséquence d'embâcles formés au droit des canaux d'Annecy et ne sont pas imputables seulement à un événement extrême météorologique. Pour cette raison, nous avons fait le choix de ne pas les intégrer dans la figure 23.

La comparaison des périodes récentes, avant et après modernisation des ouvrages de régulation (soit 1914 -1965 et 1966-2010), met en évidence une diminution nette de la cote journalière maximale annuelle et inversement une augmentation et une stabilisation de la cote journalière minimale annuelle autour de 60cm.

	Cote moyenne maximale annuelle	Cote moyenne minimale annuelle
cm par rapport au zéro de l'échelle du Pont de la Halle		
1914 – 1965	1,13	0,41
1966 - 2010	1,00	0,57

tableau 21. Cotes moyennes journalières extrêmes annuelles par période historique

6.3.2 Dates d'observation des extrêmes

L'évolution des dates d'apparition des extrêmes annuels a été analysée pour différentes régulations. La répartition mensuelle des niveaux maxima annuels du Lac est présentée sur la figure 24, celle des niveaux minima annuels sur la figure 25.

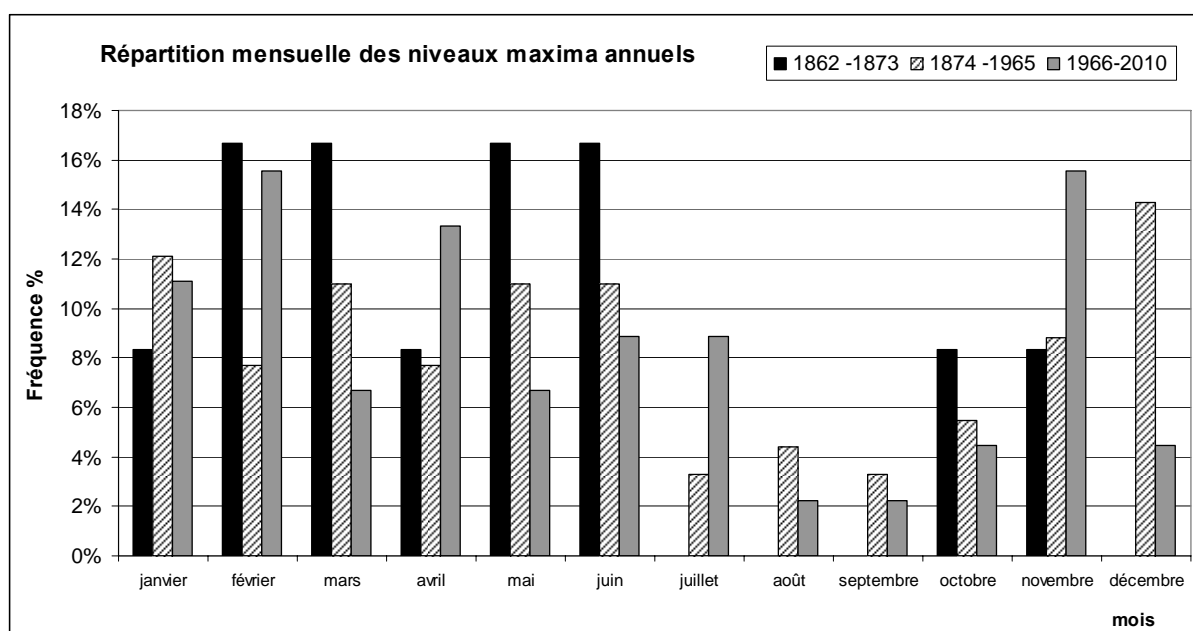


figure 24 Répartition des cotes maxima annuelles en fonction du régime hydraulique du Lac d'Annecy naturel ou influencé

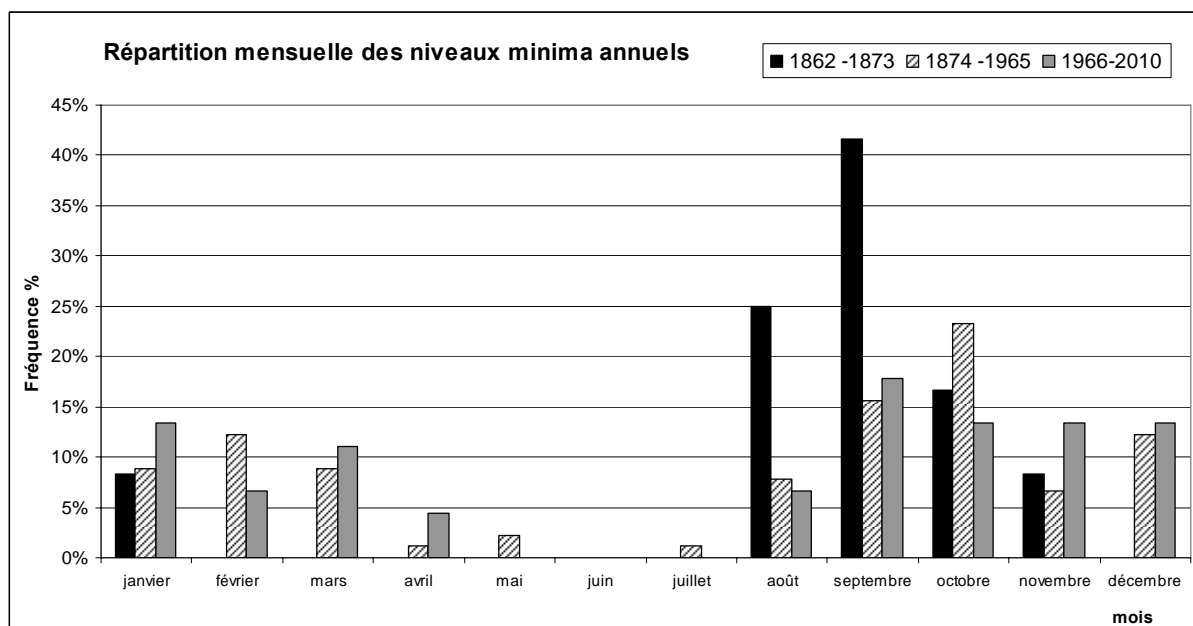


figure 25 Répartition des cotes minima annuelles en fonction du régime hydraulique du Lac d'Annecy naturel ou influencé

Cette analyse met en évidence des différences de fonctionnement du régime du Lac essentiellement avant et après 1874.

- En régime naturel avant 1874, le fonctionnement hydraulique du Lac était plus marqué avec deux périodes très distinctes : une période courte d'étiage d'août à novembre et une période des hautes eaux plus étendue couvrant les mois d'octobre à juin.
- En régime régulé, après 1874, la période d'étiage s'est étendue d'août à mars. Les très basses eaux ont une fréquence faible d'être observées uniquement entre avril et juillet. Les crues peuvent être enregistrées tout au long de l'année avec un risque minimal de juillet à octobre. Les figure 24 et figure 25 ne permettent pas d'identifier de différence notable entre les périodes historiques avant et après 1965. La modernisation de la régulation du Lac en 1965 a eu peu d'impact complémentaire.

6.3.3 Recensement des débordements extrêmes

H.Onde [2] a recensé les débordements historiques du Lac d'Annecy ayant dépassé la cote 1.30 m (par rapport au zéro de l'échelle du Pont de la Halle) avant 1944. Nous avons complété son recensement en intégrant les crues de plus de 1m30 de 1945 à nos jours. La liste des événements identifiés est présentée sur la figure 26.

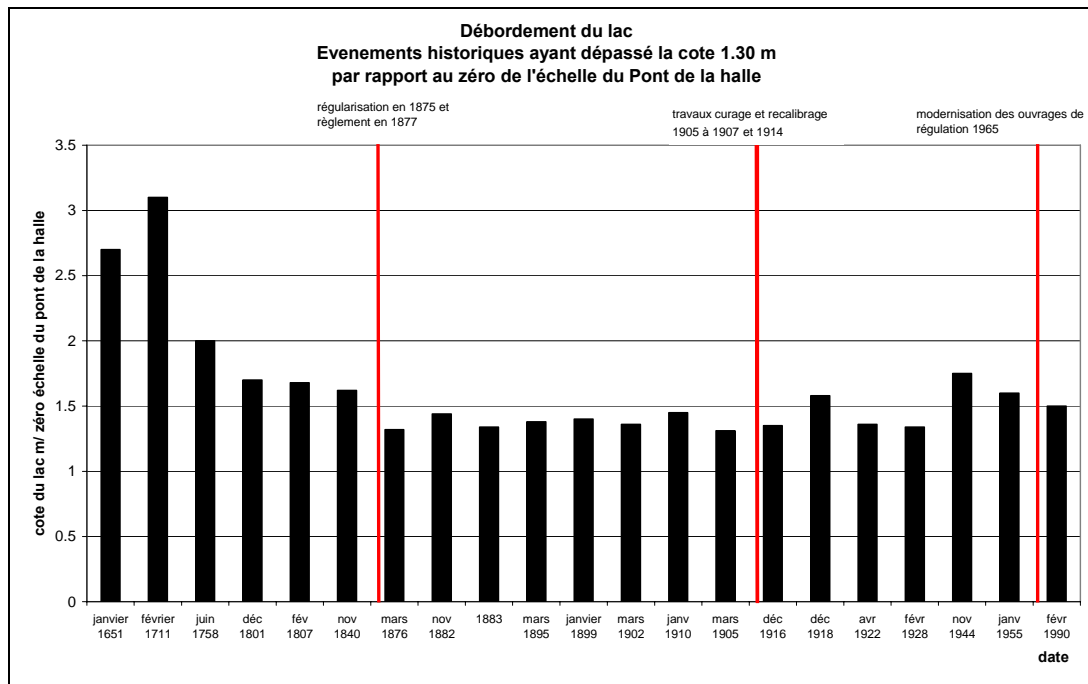


figure 26 Recensement des cotes extrêmes du Lac : supérieures à 1m30 / zéro de l'échelle du Pont de la Halle

Depuis la modernisation des ouvrages de régulation du Lac, ce type de débordements extrêmes est peu fréquent : en 45 ans, il a été observé une seule fois en février 1990. Pour comparaison de 1874 à 1914, 8 événements ont dépassé la cote 1.30m en 40 ans, et 6 événements de 1915 à 1965 soit en 51 ans.

La même analyse a été faite sur les étiages sévères n'ayant pas dépassé la cote 0.40 m (ou 40 cm) (par rapport au zéro de l'échelle du Pont de la halle). La synthèse est présentée sur la figure 27.

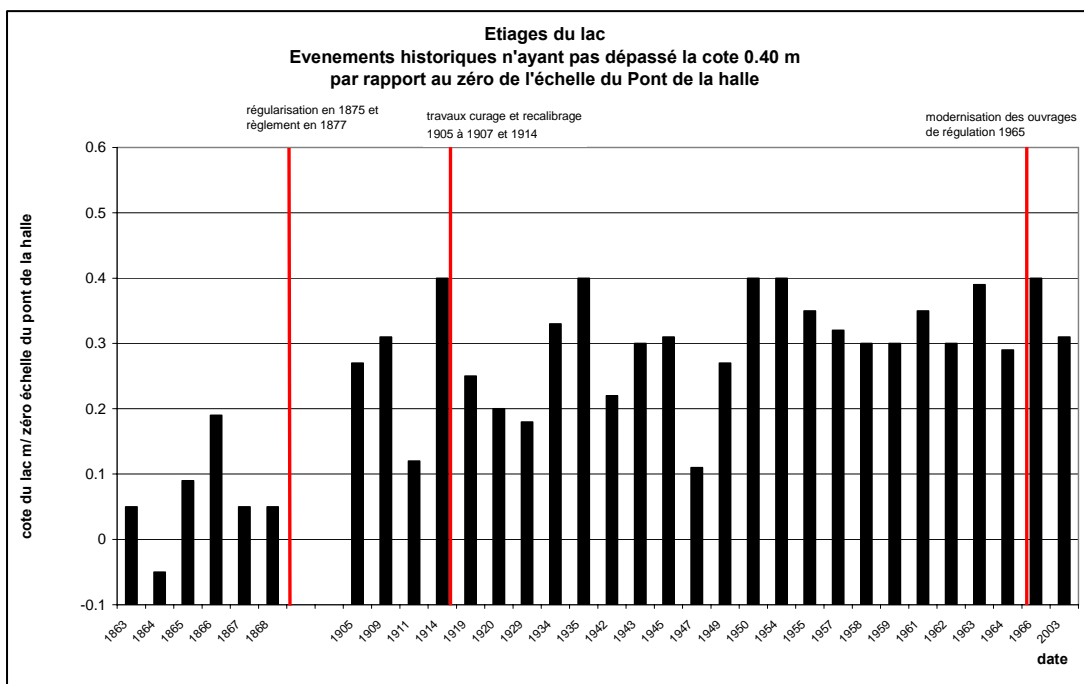


figure 27 Recensement des étiages extrêmes du Lac : inférieurs ou égaux à 40 cm / zéro de l'échelle du Pont de la Halle

Comme pour les débordements, depuis la modernisation des ouvrages de régulation du Lac, les étiages extrêmes sont peu fréquents : 2 en 45 ans. Pour comparaison de 1915 à 1965, 20 années sur 51 ont présenté des cotes inférieures ou égales à 0.40m. De 1905 à 1914, la cote minimale du Lac a été inférieure ou égale à 0.40 m lors de 5 années. De 1874 à 1905, nous ne disposons pas d'assez d'informations pour annoncer de chiffres.

7 SIMULATION DU FONCTIONNEMENT DU LAC EN REGIME NATUREL

7.1 Courbes de tarage des émissaires en écoulement libre

Les débits sortants du Lac sont calculés quotidiennement à l'aide d'abaque par les services techniques de la mairie d'Annecy. Seuls sont mesurés les débits des émissaires du Thiou et du Vassé, les débits du canal Saint Dominique sont considérés comme négligeables.

7.1.1 Emissaire du Thiou :

En régime régulé, l'écoulement dans le canal du Thiou est fonction :

- de la cote du Lac mesurée au droit de l'échelle historique du Pont de la Halle (zéro échelle : 446.17 m IGN69),
- de l'ouverture des vannes du canal Saint Dominique,
- de la position du clapet déversant situé entre le Pont de la Halle et le Pont Perrière,
- des manœuvres des vannes du Pont de la République et de la manufacture qui induisent un freinage aval,

Les anciennes vannes situées plus en aval n'interviennent pas directement sur le débit du Thiou mais elles doivent être manœuvrées pour être positionnées correctement par rapport au débit imposé par la vanne clapet.

Lors des crues, ou pour anticiper une montée de la cote du Lac, le clapet vanne peut être manœuvré de façon à être totalement effacé. Les vannes aval peuvent également être complètement ouvertes. Dans cette configuration, les débits dans le canal du Thiou sont en écoulement libre et ils sont uniquement fonction de la cote du Lac mesurée à l'échelle du Pont de la Halle.

Pour établir la courbe de tarage du canal du Thiou en écoulement libre, des jaugeages ont été réalisés de décembre 1965 à mars 1968 par l'ORSTOM [4]. La gamme des cotes jaugées du Lac est comprise entre 446.67 m IGN69 et 447.25 m IGN69. En dessous de la cote 446.67 m IGN69, aucune information n'est disponible sur la méthode d'extrapolation de la courbe. Le débit nul est imposé pour une cote de Lac à 445.63 m IGN69 qui correspond au point haut du canal soit le seuil formé par le radier du Pont Morens situé à 443 m de l'entrée du canal.

Cette courbe de tarage est encore utilisée par les services techniques de la ville d'Annecy pour estimer les débits du Thiou en écoulement libre pour une hauteur du Lac comprise entre 446.91 et 447.4 m IGN 69.

Aucun reprofilage du canal du Thiou n'a été réalisé depuis 1967. De plus les services techniques de la ville d'Annecy réalisent un entretien régulier du canal ce qui permet de faire l'hypothèse que les conditions hydrauliques n'ont pas évolué. Les jaugeages datant de 1968 sont encore valables pour construire la courbe actuelle de tarage du Thiou. A partir des jaugeages disponibles et des caractéristiques géométriques du canal du Thiou, la courbe de tarage de cet émissaire a été recalculée par application de la formule de Manning. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 28. La courbe de tarage déterminée par la formule de Manning est identique à celle construite dans l'étude de 1968 toute gamme de cote confondue. Pour la suite de l'étude elle sera considérée comme la courbe de tarage de référence pour le canal du Thiou en écoulement libre.

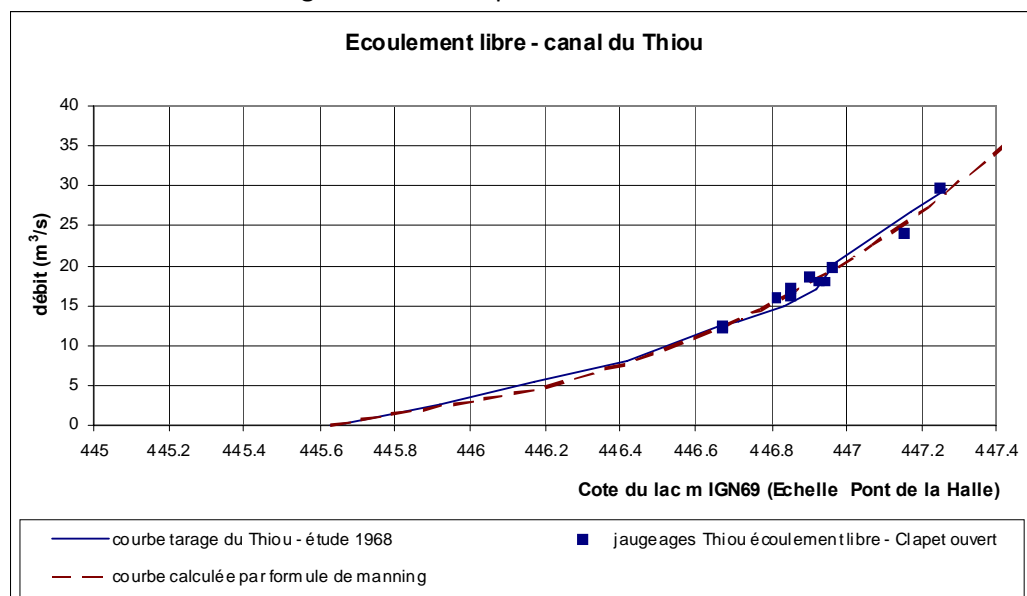


figure 28 Courbe de tarage écoulement libre – canal du Thiou

La fiabilité de la courbe de tarage du canal du Thiou est considérée comme :

- fiable pour une cote du Lac supérieure à 446.6 m IGN69 du fait de la présence de jaugeages qui permettent de valider sa construction,
- incertaine pour une cote du Lac inférieure à 446.6 m IGN69 du fait de l'absence de jaugeage permettant de valider les calculs hydrauliques.

7.1.2 Emissaire du canal du Vassé

En régime régulé, l'écoulement dans le canal du Vassé est fonction :

- de la cote du Lac,
- des 5 vannes glissières situées sous la voute du pont Albert Lebrun
- des vannes aval.

Comme pour le Thiou, lors des crues les vannes du canal du Vassé sont manœuvrées de façon à s'effacer et être sans impact sur les débits. Dans ces conditions le régime hydraulique du canal Vassé peut être considéré en écoulement libre.

Les services techniques de la Mairie d'Annecy disposent d'une courbe de tarage construite à partir de :

- jaugeages pour les hauteurs du Lac comprises entre 446.3m et 447 m IGN69,
- extrapolation au-delà de la cote 446.7 et en dessous de 446.3 m.

Un débit nul est imposé pour la cote du Lac 445.90 m IGN69 qui correspond au point haut du profil en long du canal de Vassé situé en amont immédiat du Pont Albert Brun.

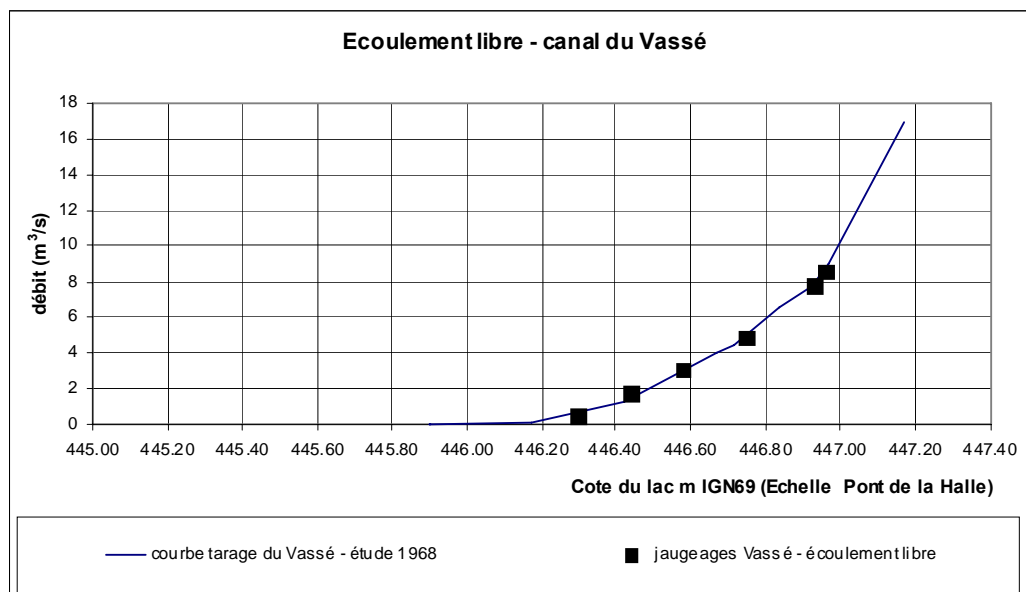


figure 29 Courbe de tarage écoulement libre – canal du Vassé

Le canal du Vassé n'a pas connu de reprofilage depuis 1968 et l'entretien du lit est assuré régulièrement par les services techniques de la ville d'Annecy. Aussi, en l'absence d'éléments complémentaires nous considérerons la courbe de tarage de la mairie comme la courbe de tarage de référence du canal Vassé pour la suite de l'étude. La fiabilité de la courbe de tarage du canal de Vassé est considérée comme :

- fiable pour une cote du Lac comprise entre 446.3 et 447 m IGN69 du fait de la présence de jaugeages qui permettent de valider sa construction,
- incertaine pour une cote du Lac inférieure à 446.3m m IGN69 et supérieure à 447 du fait de l'absence de jaugeage permettant de valider l'extrapolation.

7.1.3 Courbe de tarage des émissaires

A partir des courbes de tarage du Thiou et du Vassé présentées aux chapitres précédents, une courbe de tarage a été construite pour évaluer les débits sortants totaux au droit des émissaires (Thiou et canal de Vassé) à partir de la hauteur lue à l'échelle du Pont de la Halle (cf. figure 30).

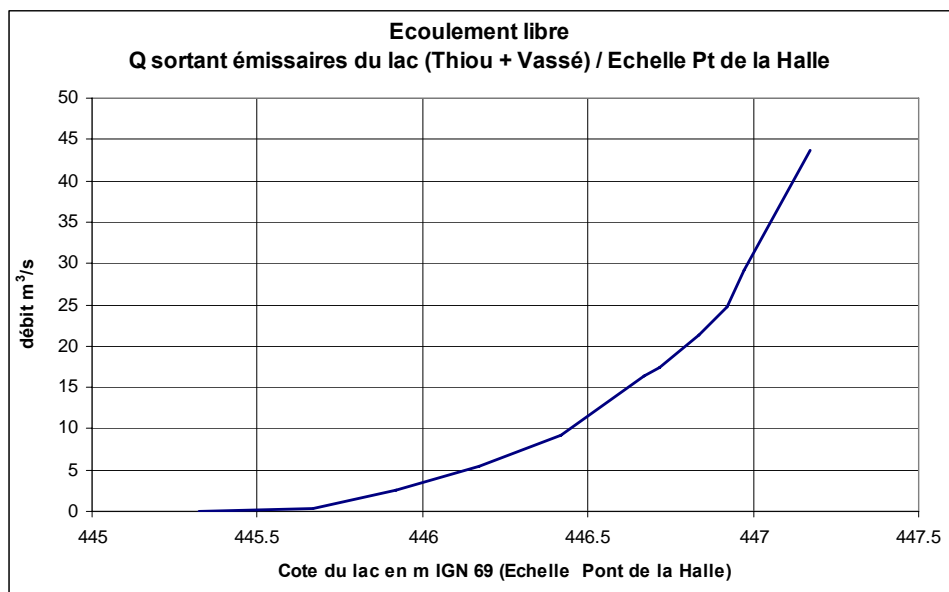


figure 30 Courbe de tarage – Emissaires du Lac d’Annecy en écoulement libre

Remarque :

Plusieurs phases de travaux de recalibrage des canaux du Thiou et du Vassé ont eu lieu depuis la mise en œuvre de la régulation du Lac (1867) ce qui a eu pour effet d’augmenter la débitance des exutoires du Lac d’Annecy en écoulement libre de façon conséquente. Ainsi d’après H.Ondre [1], le curage des canaux entre 1905 et 1907 a entraîné une augmentation du débit sortant de l’exutoire de 19 m³/s pour une hauteur d’eau de 0.80 m à l’échelle du Pont de la Halle. De ce fait l’écoulement libre actuel du Thiou et du Vassé est très différent de l’écoulement libre avant mise en place de la régulation en 1874.

7.2 Courbe de capacité du Lac

La modélisation du fonctionnement hydraulique du Lac d’Annecy nécessite de disposer de la courbe de capacité du Lac de type Volume Lac = f(Hauteur cote du Lac). Cet élément est fourni dans l’étude de l’ORSTOM [4]. La courbe de capacité correspondante, et qui sera utilisée pour la suite de l’étude, est présentée en figure 31.

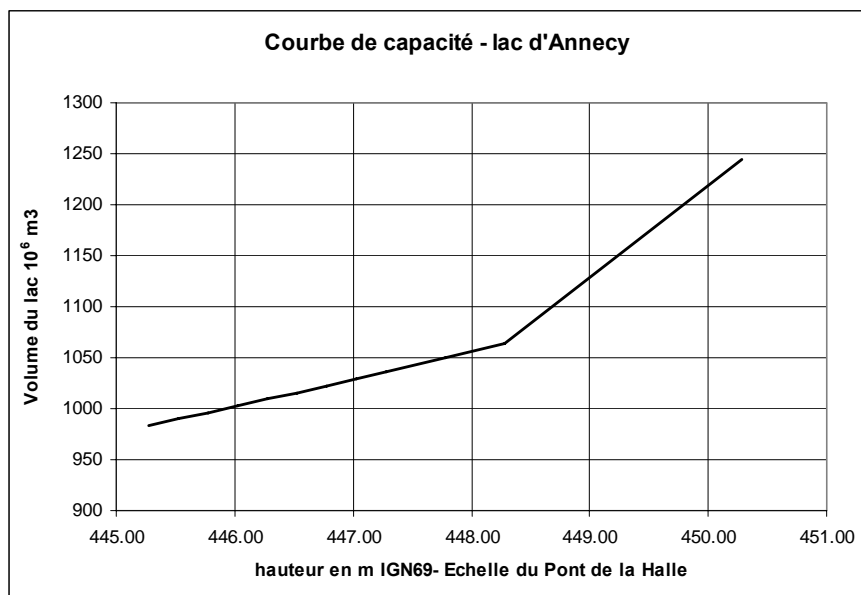


figure 31 Courbe de capacité du Lac d'Annecy - source Orstom

7.3 Simulation du niveau du Lac en régime naturel et sous conditions climatiques actuelles

La simulation du régime naturel du niveau du Lac, au pas de temps mensuel et avec les conditions climatiques actuelles, consiste à résoudre le système des 4 équations suivantes:

$$Z_{lac_naturel}(t) = f_1(V_{lac_naturel}(t))$$

$$V_{lac_naturel}(t) = V_{lac_naturel}(t-1) + \Delta R_{naturel}(t)$$

$$\Delta R_{naturel}(t) = Q_{aff_inst}(t) + Q_{BVi}(t) + Pl_{lac}(t) - (Q_{émissaire_naturel}(t) + AEP(t) + E_{lac}(t))$$

$$Q_{émissaire_naturel}(t) = f_2(Z_{lac_naturel}(t))$$

Avec :

- $Z_{lac_naturel}$: cote du Lac (échelle du Pont de la Halle) en régime naturel (m IGN 69),
- $V_{lac_naturel}$: volume du Lac en régime naturel (10^6 m^3)
- $Q_{émissaire_naturel}$: débit des émissaires (Thiou et canal Vassé) en régime naturel,
- $f_1()$: courbe de capacité du Lac d'Annecy (cf. figure 31),
- $f_2()$: courbe de tarage des émissaires du Lac en régime naturel (cf. figure 30).

Et les paramètres suivants identifiés lors du bilan hydrique (cf. tableau 17).

- Q_{aff_inst} : apport des affluents instrumentés, (Bornette, Laudon, Ire et Eau Morte),
- Q_{BVi} : apport des affluents non instrumentés et apport sources lacustres,
- Pl_{lac} : précipitation directe sur le Lac d'Annecy (27.8 km^2),
- AEP : débit prélevé sur le Lac pour les activités humaines,
- E_{lac} : évaporation directe sur le Lac.

L'évolution mensuelle de la cote du Lac, en régime naturel et sous conditions climatiques actuelles, ainsi déterminée est présentée sur la figure 32. A titre de comparaison, l'évolution moyenne de la cote du Lac régulé calculée sur la période 1965 -2010 (exclues les années 1975-1976 et 1994 à 1996 car données non disponibles au pas de temps mensuel) a été rapprochée sur la même figure.

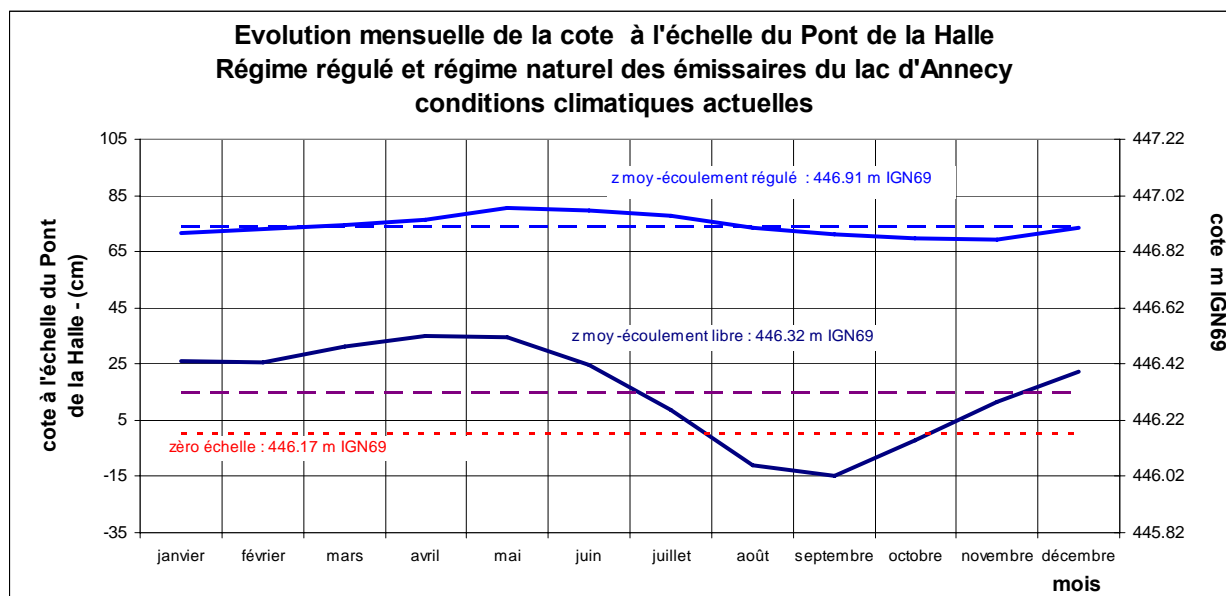


figure 32 Evolution de la cote du Lac d'Annecy en régime naturel et régulé, sous conditions climatiques actuelles

Sous conditions climatiques actuelles, la cote moyenne annuelle du Lac est beaucoup plus basse en écoulement libre (446.32 m IGN69) qu'en régime régulé (446.91 m IGN69). La différence est de 60 cm.

La simulation du régime naturel indique un marnage maximum annuel également plus élevé; il est de 50 cm avec une cote mensuelle maximum observée en avril – mai (446.5 m IGN 69) et un minimum en septembre (446 m IGN 69). Pour comparaison le marnage annuel en écoulement régulé n'est que de 11 cm (446.97 m IGN 69 en mai contre 446.86 m IGN 69 en octobre).

7.4 Simulation du niveau du Lac en régime naturel avec hypothèses de conditions climatiques à horizon 2050

La simulation du régime hydrologique du Lac d'Annecy à horizon 2050 a été modélisée. Ce travail a nécessité de tenir compte des effets du changement climatique dans les Alpes sur les précipitations et les régimes hydrologiques des cours d'eau. Les hypothèses retenues pour la simulation, concernant le changement climatique et ses effets attendus, sont issues des connaissances scientifiques actuelles ; aucune étude spécifique n'a été mise en œuvre. Pour cela un travail de synthèse des connaissances scientifiques actuelles a été mené. L'annexe 12 présente les résultats de cette recherche bibliographique.

La synthèse des travaux récents sur les effets du changement climatique à horizon 2050 nous a amené à retenir 9 scénarii de changement climatiques probables impliquant trois variables : la pluie, la température et les débits. Le détail du choix de ces 9 scénarii est présenté dans le chapitre 8 de l'annexe 12.

Pour quantifier l'évolution des volumes d'eau captés dans le Lac pour l'activité humaine, nous nous sommes basés sur les données de l'INSEE qui estiment l'augmentation de la population française de +16.7% à horizon 2050. N'ayant aucune information sur les évolutions éventuelles des captages dans le Lac d'Annecy pour le futur, nous avons fait le choix d'établir un ratio :

$$AEP_{2050} = AEP_{actuel} * 1.167$$

Des volumes mensuels et annuels identiques pour l'AEP ont été imposés au 9 scénarii retenus.

Les paramètres appliqués aux variables température, pluie et débit sont rappelés dans le tableau 22 pour les 9 scénarii retenus pour le changement climatique à horizon 2050.

Variation des températures (en °C)	T1	T2	T3	Variation des Précipitations (en °%)	P1	P2	P3
Automne	1.4	2.1	3.0	Automne	-11.0	-6.0	-2.0
Hiver	1.2	1.8	2.8	Hiver	2.0	8.0	16.0
Printemps	1.1	1.8	2.8	Printemps	-7.0	0.0	6.0
Été	1.7	2.7	4.0	Été	-20.0	-17.0	-9.0

Variation des débits (en %)	T1 P1	T1 P2	T1 P3	T2 P1	T2 P2	T2 P3	T3 P1	T3 P2	T3 P3
Automne	-25	-17	-10	-27	-16	-09	-30	-24	-14
Hiver	+14	+18	+33	+16	+25	+38	24	+35	+46
Printemps	-12	-05	+00	-16	-11	-04	-27	-21	-12
Été	-41	-32	-20	-43	-37	-30	-47	-44	-31

tableau 22. Présentation des hypothèses retenues pour les 9 scénarii de changement climatique à horizon 2050

Les 9 scénarii ont été appliqués au bilan hydrique mensuel actuel du Lac déterminé au chapitre 5.5. Les valeurs résultantes sont précisées dans le tableau 23.

scénario	Bilan hydrique volume annuel		Variation des volumes d'eau du bilan hydrique Horizon 2050 / climat actuel
	10 ⁶ m ³	m ³ /s	
actuel	290.3	9.20	
T1 P1	255.9	8.12	-11.7%
T1 P2	274.9	8.72	-5.2%
T1 P3	301.0	9.54	3.7%
T2 P1	251.7	7.98	-13.3%
T2 P2	272.5	8.64	-6.1%
T2 P3	296.9	9.41	2.3%
T3 P1	243.9	7.73	-16.0%
T3 P2	263.2	8.35	-9.2%
T3 P3	292.1	9.26	0.7%
moyenne	272.5	8.64	-6.1%

tableau 23. Bilan hydrique annuel des 9 scénarii de changement climatique retenus

Les scénarii à horizon 2050 intégrant le scénario de pluie P3 présentent une augmentation du bilan hydrique par rapport aux conditions climatiques actuelles en raison d'une augmentation des pluies d'hiver (+16%) qui ont un impact fort sur les débits d'hiver (de +33 à +46%). Les 6 autres scénarii, n'intégrant pas P3, indiquent une diminution des volumes d'eau mis en jeu dans le bilan hydrique annuel de l'ordre de -5 à -16%. En moyenne, le bilan hydrique des 9 scénarii étudiés fait apparaître une diminution annuelle de -6% du volume d'eau par rapport à la condition climatique actuelle.

La figure qui suit permet de comparer les résultats de la simulation du régime naturel du niveau du Lac d'Annecy à horizon 2050 pour les 9 scénarii de changement climatique retenus. Le niveau moyen et les quantiles 25% et 75% des 9 scénarii ont été calculés et sont également reportés sur la figure.

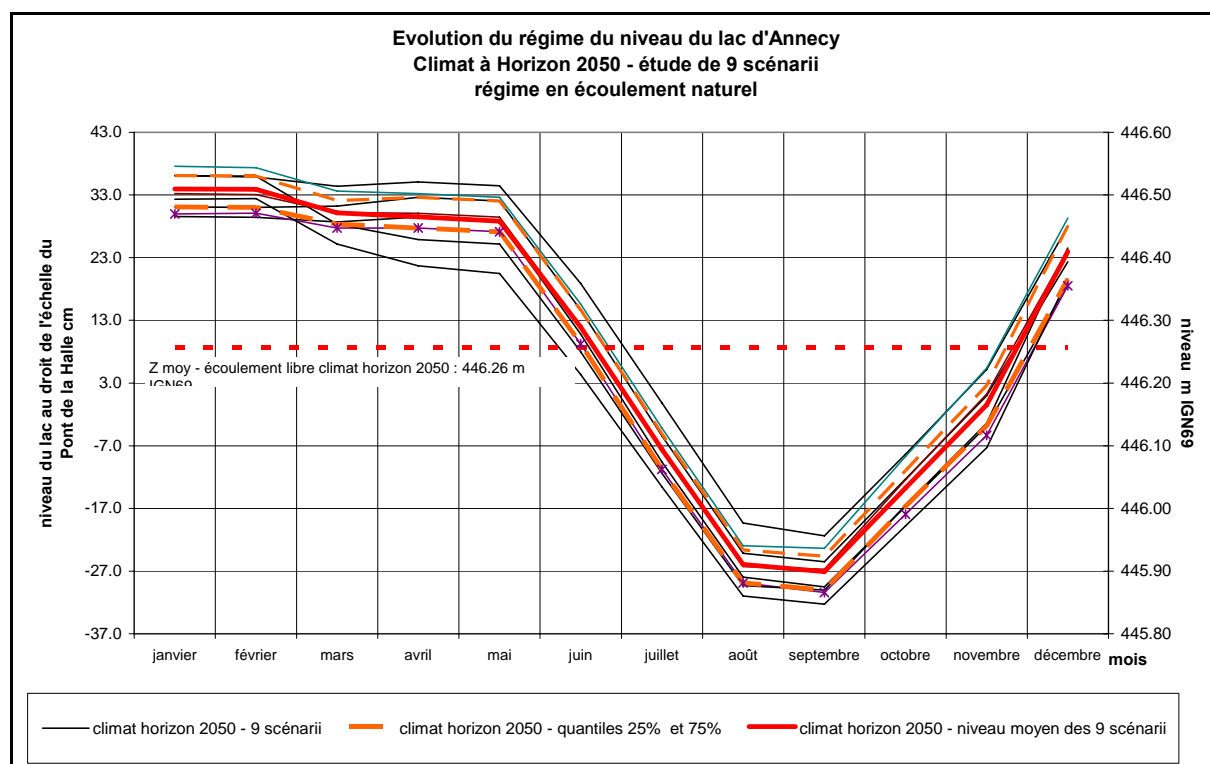


figure 33 Evolution de la cote du Lac d'Annecy en régime naturel pour différents scénarii de changement climatique à horizon 2050

L'application des 9 scénarii de changement climatique à horizon 2050 donne des résultats homogènes concernant le régime hydraulique du Lac d'Annecy. Au final nous retenons pour la courbe moyenne et les courbes quantiles 25% et 75% pour comparer les évolutions du niveau du Lac sous conditions climatiques actuelles et à horizon 2050 (cf. figure 34).

**Evolution du régime du niveau du lac d'Annecy
Climat actuel et hypothèses du Climat à Horizon 2050
régime régulé et écoulement naturel**

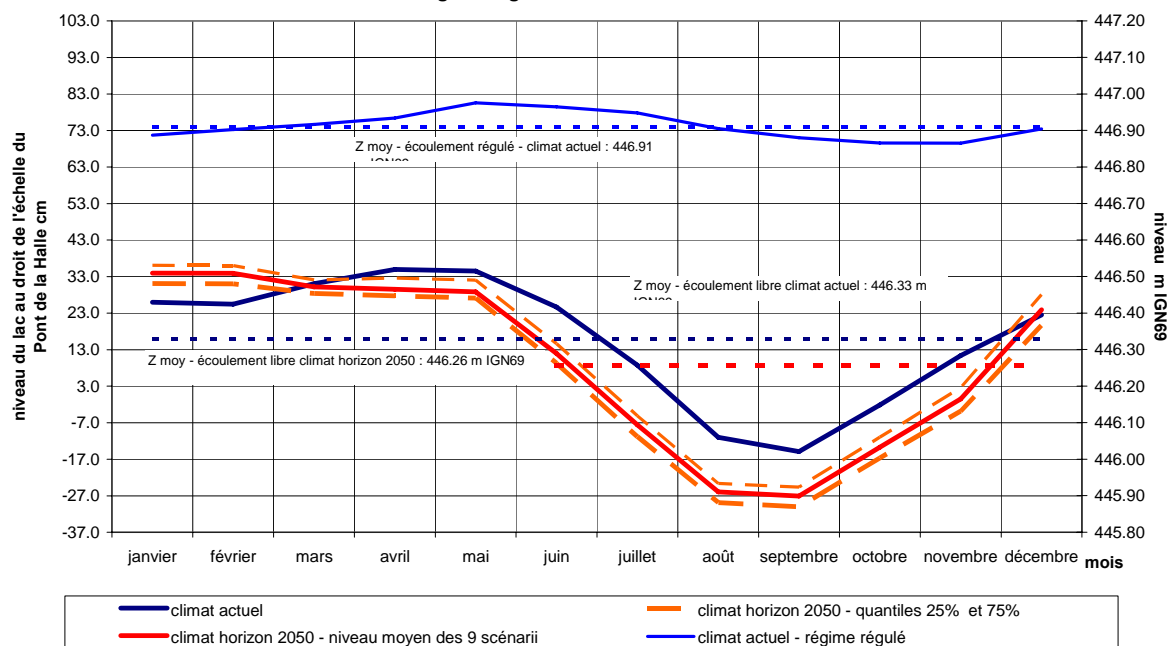


figure 34 Evolution de la cote du Lac d'Annecy en régime naturel pour différents scénarii de changement climatique à horizon 2050

La différence principale entre écoulement libre en conditions climatiques actuelles et écoulement libre à horizon 2050 sont observées lors des basses eaux avec un étiage plus marqué à horizon 2050 : le niveau du Lac descend à la cote 445.90 m IGN 69 contre 446.00 en conditions climatiques actuelles. L'étiage est constaté dans les 2 cas à la même période soit entre août et septembre.

Les niveaux du Lac pour la période des hautes eaux sont à des cotes similaires pour la condition climatique actuelle et à horizon 2050 : 446.5 m IGN69. La différence est liée à la date d'observation de cette cote maximale : sous conditions climatiques actuelles le niveau maximal du Lac est atteint pour les mois d'avril à mai alors qu'à horizon 2050 il est observé un peu plus tôt, soit entre janvier à février.

En régime naturel, le marnage annuel de la cote mensuelle du Lac est évalué à 60cm à horizon 2050 contre 50 cm pour la simulation sous condition climatique actuelle.

Concernant le niveau moyen annuel du Lac d'Annecy, sous conditions climatiques à horizon 2050 il est inférieur de 6 cm par rapport au niveau moyen annuel estimé en écoulement libre et en conditions climatiques actuelles.

8 CONCLUSION DU MODULE 1

Ce module a permis de synthétiser et mettre à jour les connaissances hydrologiques du bassin versant du Lac d'Annecy. Le débit moyen annuel sortant des exutoires Thiou et canal du Vassé est évalué à 8.22 m³/s. Au cours de la dernière décennie (2001-2010) un déficit d'hydraulicité de 13% a été identifié. En l'état des connaissances scientifiques actuelles, il n'est pas possible de conclure si ce déficit est lié à une période cyclique plus sèche ou à une tendance avérée et durable en lien avec le changement climatique.

La mise en place d'ouvrages de régulation sur les canaux d'Annecy (1874) et la modernisation de ce système (1965) ont eu un impact sur l'évolution du régime saisonnier des niveaux du Lac. En régime régulé, le marnage annuel a été progressivement réduit avec une forte diminution des cotes minimales observées lors des étiages estivaux et du début de l'automne.

En plus de la régulation, les travaux de curage, recalibrage et bétonnage des canaux du Thiou et du Vassé (1906 à 1914 et 1965) ont contribué à la diminution des débordements extrêmes du Lac.

En raison de ces différentes phases de travaux, l'écoulement dans les canaux d'Annecy a été fortement modifié. De ce fait l'écoulement libre actuel (en effaçant les ouvrages de régulation) n'est pas comparable avec le régime naturel du Lac d'avant 1874. La simulation du régime naturel du Lac a été modélisé en conditions climatiques actuelles et à horizon 2050 pour apporter des éléments de réflexion pour étudier la modification de la gestion du Lac à des fins environnementales.

MODULE 2 :

Synthèse bibliographique d'expériences de marnage

1 REMARQUES

Depuis plus d'une dizaine d'années, des opérations de restauration des roselières à grande échelle ont été menées sur différents lacs alpins sans pour autant évoquer spécifiquement la thématique du marnage. Ainsi et comme le montre bien la synthèse ci-dessous et bien que ce phénomène soit reconnu comme un des facteurs explicatifs de la régression de certaines roselières, il n'existe quasiment aucun retour d'expérience à ce sujet traitant notamment des éventuels gains écologiques. Les seuls éléments concernant des observations de modifications d'un cortège floristique suite à un changement de régime hydrologique d'un lac ont trait au Lac de Neuchâtel Seuls. Nous les évoquons brièvement à la fin de cette synthèse, ils ont été transmis généreusement par la Grande Carrière⁵ organisme gestionnaire des zones marécageuses localisées en particulier au Sud de ce Lac.

2 SYNTHÈSE

Comme l'ont souligné Wantzen K. M. *et al.* (2008), les fluctuations du niveau de l'eau affectent l'écologie des lacs de plusieurs façons. Or, même si ces phénomènes ont été largement étudiés pour les rivières, il n'en demeure pas moins un manque général de connaissances pour des écosystèmes tels que les lacs.

Scientifiquement, il est toutefois désormais acquis que la régulation du niveau des lacs a des effets négatifs sur les roselières, l'épuration du Lac et le peuplement piscicole. En ce qui concerne les roselières, cela a pour effet de concentrer l'énergie de la houle sur une même tranche d'eau, favoriser l'érosion de la berge lacustre (support physique des roselières) et fragiliser les tiges par accumulation de flottants. En ce qui concerne les franges de Lac qui ne sont plus exondées, ceci a pour conséquence de réduire la progression des roselières par bourgeonnement des rhizomes (racines) et limiter la dépollution des sédiments par l'action bénéfique de l'oxygène de l'air. Pour ce qui est de l'impact sur le poisson, on constate dans les lacs régulés une diminution de la productivité piscicole de bord (CISALB, 2007).

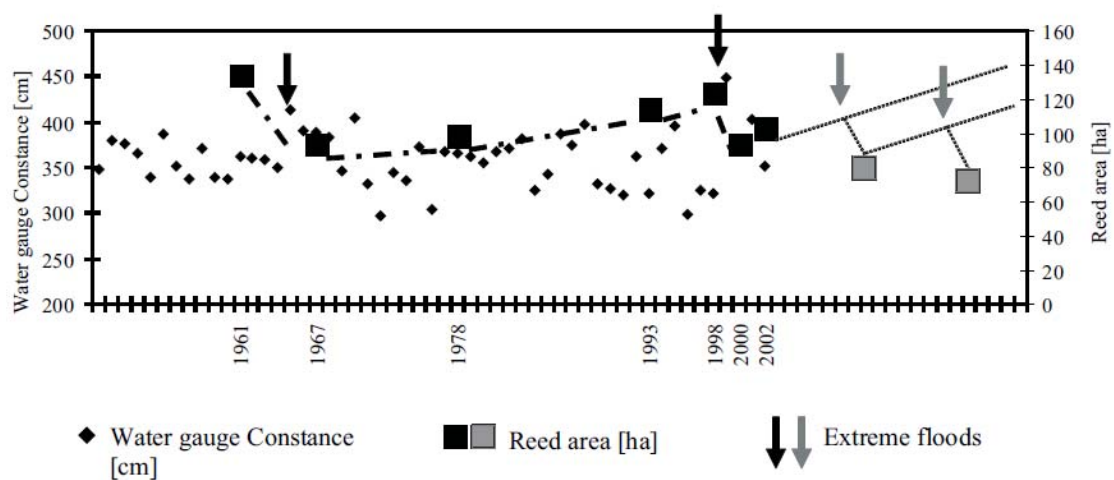
Au travers du recueil d'une centaine de publications, Ostendorp (1989) identifie plusieurs facteurs potentiels de régression des roselières qu'il classe sous 5 grandes catégories : la destruction directe ; les dommages mécaniques (vagues et débris flottants) ; la pression de pâturage (oiseaux d'eau, rats musqués, ragondins, etc.) ; la qualité de l'eau et des sédiments (eutrophisation) ; la

⁵ Mail de Christian Clerc au SILA – Mars 2011

régulation du niveau des lacs et les effets associés. Il souligne également le manque de recherches actuelles sur ces sujets.

Quelques études ont toutefois été menées, dont certaines concernent les effets de la fluctuation du niveau d'eau sur le roseau (*Phragmites australis*) :

- Entre autres, dans son étude, Dienst *et al* (2004) présente les principaux effets des variations du niveau de l'eau sur la dynamique des ceintures de roseaux du Lac de Constance en Allemagne (un des derniers lacs dont le régime hydrique présente un caractère essentiellement naturel avec une moyenne de fluctuations annuelles de 1,43 m entre les niveaux bas de Janvier / Février et les niveaux hauts de Juin / Juillet (Ostendorp *et al.*, 2003)). Il se base notamment sur l'analyse de photographies aériennes ainsi que sur le modèle de croissance du roseau (RGM) établi par Böcker *et al.* (2003) pour montrer que les inondations extrêmes de 1965 et 1999 ont induit une forte régression des roselières au sein du Lac. Il démontre ainsi que les tiges de roseaux soumises à une trop longue et trop grande submersion n'arrivent pas à subsister et prouve par conséquent un lien direct ou indirect du niveau de l'eau sur la dynamique des roselières.



Reed areas of the years 1961, 1967, 1978, 1993, 1998, 2000 and 2002 in comparison with the annual mean water levels (May and June) of the time period 1951 - 2002 and prediction (grey colour) of the areas in case of a higher frequency of extreme floods in the future.

Source : Dienst M., Schmieder K. & Ostendorp W., 2004. Effects of water level variations on the dynamics of the reed belts of Lake Constance. *Limnologia* 34 : 29–36

- Selon Brix (1999), la stabilité des roselières dépend du maintien de leur processus naturel de progression et de régression. Or, dans de vastes régions de l'Europe, celui-ci s'est déplacé vers un processus de dépérissement (Den Hartog *et al.*, 1989). Sachant que l'équilibre entre les eaux libres et la végétation de roseaux est un paramètre clé pour la qualité écologique de nombreuses zones humides européennes, leur fonctionnalité est remise en question avec le recul des roselières. C'est pourquoi, l'affaiblissement des *Phragmites* observé ces dernières années dans de nombreuses parties de l'Europe a conduit à la mise en place du projet EUREED et de la coopération entre universités et instituts de recherche de plusieurs pays européens.

Leurs recherches conjointes montrent que le recul des roselières est causé par un certain nombre de facteurs environnementaux qui ont été induits par les changements anthropiques des dernières décennies. Parmi ceux-ci, la gestion du niveau d'eau serait l'un des facteurs clés qui influencerait sur la dynamique de croissance des roseaux.

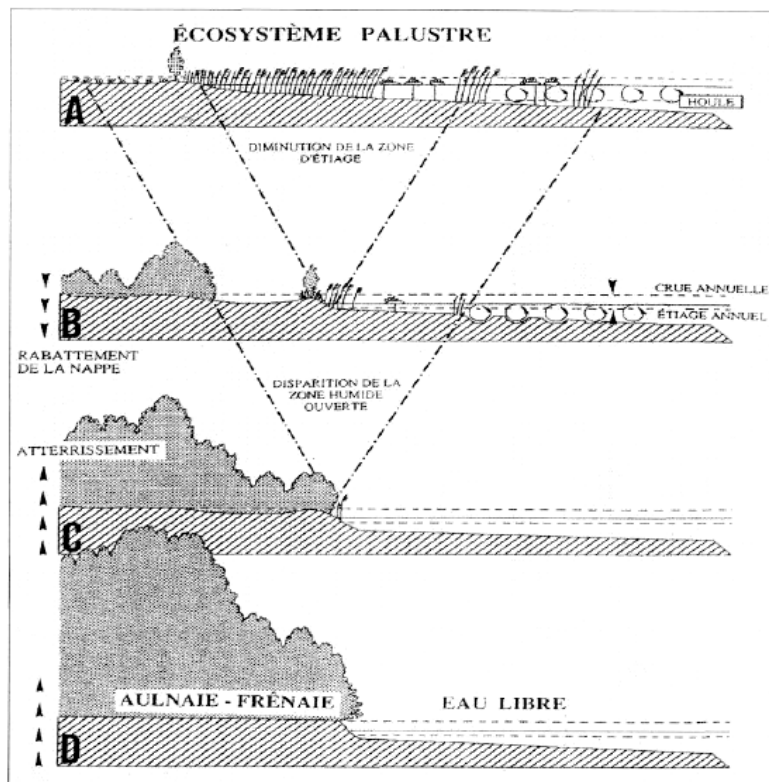
Par exemple, la réduction des fluctuations du niveau d'eau due à son contrôle artificiel peut contribuer à l'accumulation de produits de décompositions phytotoxiques tels que des sulfites et des acides monocarboxyliques (acétique, propionique, n-iso-butyrique et caproïque) dans les sédiments, ce qui affecte la croissance du roseau (Armstrong *et al.*, 2001).

De même, Rea N. (1996) combine observations sur le terrain avec littérature et fait valoir que les niveaux d'eau stabilisés contribuent à la diminution des roseaux par un manque de reproduction végétative et générative, et que les conditions eutrophiques exacerbent cette situation.

- Nechwatal *et al.* (2008) ont également montré sur le Lac de Constance que la fluctuation du niveau de l'eau et de la température ont une influence importante sur la performance d'un champignon pathogène au roseau (*Pythium phragmitis*), et suggèrent ainsi que les changements climatiques favorisent le développement de cette espèce et donc l'affaiblissement des entités de roselières.

- De façon plus générale, Hill *et al.* (1998) ont comparé quant à eux la végétation des rives entre les lacs régulés et non régulés au Canada. Ils ont observé que les communautés végétales sur les lacs régulés étaient moins diversifiées (les espèces rares en sont généralement absentes) et contenaient des espèces plus exotiques. Selon leurs études la fluctuation du niveau d'eau optimale pour maintenir une végétation rivulaire indigène serait de 1 à 2 m. Par ailleurs concernant la roselière, l'étude de Pichon *et al.* réalisée en 1993 sur le Lac de Saint Point et Remoray soulignait qu'une augmentation du niveau maximum influencerait favorablement l'extension spatiale des ceintures émergées de type roselière et cariçaie. Concernant la baisse des niveaux d'eau, cette étude ne précisait toutefois pas les impacts attendus sur ce type de végétation.

- Plus localement, il a été montré que la régulation des fluctuations saisonnières du niveau d'eau du Lac du Bourget depuis 1982 a induit des impacts non négligeables sur la végétation et les habitats naturels (Miquet A., 1997). La figure ci-dessous illustre l'évolution des ceintures de végétation sous l'effet de la régulation du Lac. À savoir que la végétation immergée et flottante se trouve également menacée (affouillement, perte de la protection physique offerte par la roselière). Quant aux zones terrestres influencées par la nappe du Lac (soit au moins une centaine de mètres, SOGREAH données non publiées), elles connaissent du fait de la baisse du niveau une accélération des processus d'embroussaillage, d'où un vieillissement et une banalisation du milieu naturel, étudié notamment par Pautou *et al.* (1992). Précisons qu'un projet d'essai de rétablissement de marnage sur le Lac du Bourget est à l'étude depuis maintenant près d'une quinzaine d'années. Les conditions de marnage envisagées porteraient sur une baisse de 40 cm pendant une durée de trois semaines en octobre-novembre et cela tous les 4-5 ans. Cette expérience n'a pas encore été mise en œuvre.



Évolution de la végétation palustre et aquatique avec la régulation du l Bourget (page suivante).

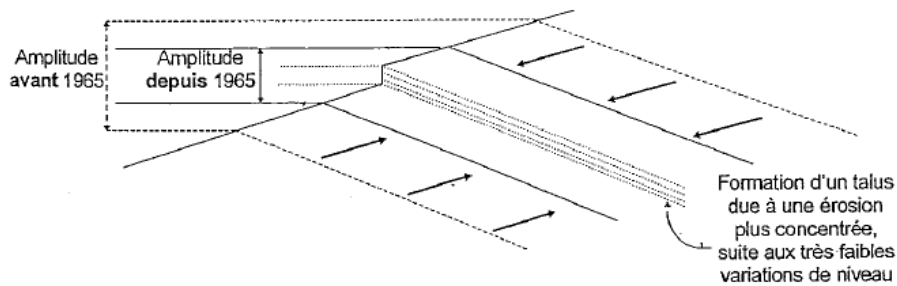
- Phase A : situation « naturelle » du site
- Phase B : situation actuelle
- Phase C : situation à moyen terme en l'absence d'intervention
- Phase D : situation à long terme en l'absence d'intervention

La progression des groupements arbustifs aux dépens de la roselière, n'est pas le seul méfait imputable à la régulation du niveau d'eau. D'autres facteurs interviennent dans la régression des roselières, telles que :

- concentration des impacts dus au batillage des flottants (cotes fixes) : érosion directe, ou création de lésions sources de parasitoses et nécroses ;
- destruction directe par étouffement sous accumulation de déchets flottants (constriction de l'espace de divagation, donc des surfaces de dépôt) ;
- suppression des périodes d'étiage (aggravant l'effet de la pollution des sédiments, qui ne sont plus capables de se minéraliser aussi bien) ;
- aggravation de l'effet mécanique de la houle (érosion des rhizomes) ;
- disparition des micro-variations de niveaux, favorable au roseau sur le plan physiologique

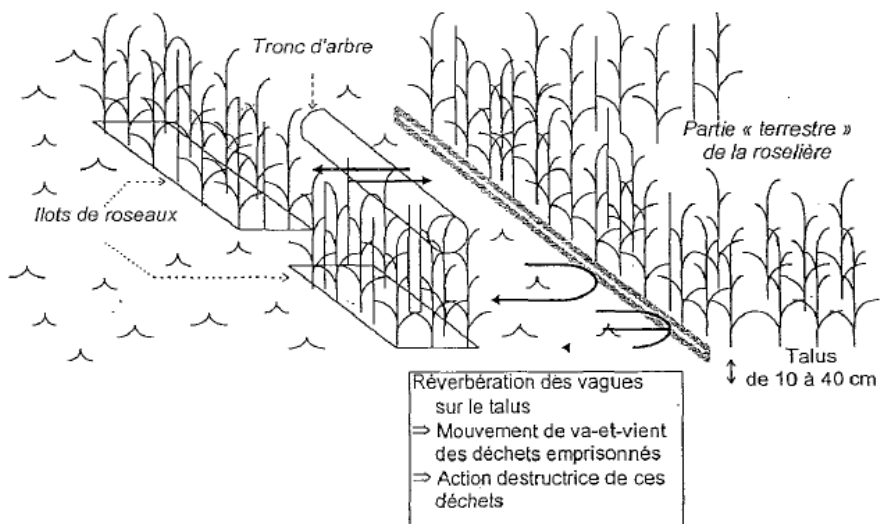
En ce qui concerne le Lac d'Annecy, les conclusions sont quasi identiques et montrent également que la suppression du marnage naturel a été fortement dommageable pour les roselières (Blake G., 1992 ; Charles F., 1998 et SILA , 2007) :

[En effet, celles-ci sont implantées sur des terrains marécageux qui sont le résultat d'un délicat équilibre entre terre et Lac. Les fortes amplitudes de niveau, lors des crues d'une part, rechargent en eau les terres situées plus en retrait du littoral, et en période d'étiage d'autre part, découvrent des terrains favorables aux roseaux. La surface potentiellement colonisable par les phragmites se réduit donc à une bande de plus en plus étroite. En outre, la stagnation des eaux entre des niveaux extrêmes de plus en plus rapprochés concentre l'action érosive de la houle sur une même partie du littoral, ce qui entraîne la formation d'un talus de 10 à 40 cm de hauteur (cf. figure ci-dessous).

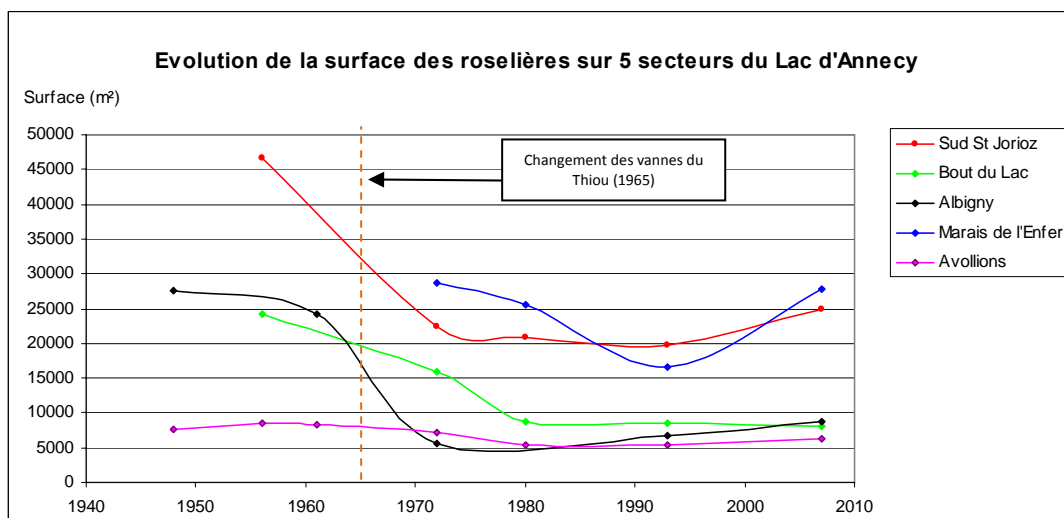


Conséquences sur le rivage de la diminution des amplitudes de niveau

La présence de ce trottoir a une double conséquence : il ne permet plus la dépose des déchets flottants sur une grande surface du littoral, car il constitue le plus souvent un obstacle infranchissable. Les flottants stagnent donc à proximité de la rive et le talus réverbère fortement les vagues, qui ne perdent rien de leur puissance en se réfléchissant sur ce miroir. Les vagues effectuent un aller-retour, tout en entraînant les flottants. Ceux-ci exercent donc une action mécanique destructive sur les roseaux de la « zone d'érosion », parfois conscrits sur des îlots. (cf. Figure ci-dessous).]



Le processus de destruction des roselières aquatiques



Source : SAGE Environnement ; 2007 - Etude de l'état des roselières du lac d'Annecy et propositions d'action de restauration ; SILA.

Finalement, bien que la littérature fait fréquemment allusion à un rôle du régime de l'eau sur le déclin du roseau, ce facteur n'a pas reçu la même attention singulière que l'eutrophisation, le type de sédiments, l'action des vagues, l'attaque des insectes, la faible diversité génétique, le pâturage, la force de la tige et les effets chimiques et physiques des tapis d'algues, etc. (Rea N., 1996). Or, ceux-ci, étudiés séparément ou en combinaison restreinte, ne sont pas parvenus à expliquer de façon spécifique le recul des roselières. Ainsi, un accord a été établi dans la littérature qui veut que le déclin de roseaux est engendré par une combinaison de facteurs (Van der Putten, 1997) dont les régimes hydriques stabilisés semblent être l'élément précurseur.

- Pour revenir à la thématique spécifique de l'influence du marnage sur les ceintures d'hélophytes en général et du roseau en particulier, il est intéressant d'évoquer pour finir, le cas du Lac de Neuchâtel⁶ :

Pour rappel, le niveau du Lac de Neuchâtel a subi 2 étapes de régulation principales, l'une durant la période 1868-1891 et communément appelée 1^{ère} Correction des Eaux du Jura (1^{ère} CEJ) et l'autre durant la période 1962-1973 et communément appelée 2^{ème} Correction des Eaux du Jura (2^{ème} CEJ). La 1^{ère} CEJ a conduit à un abaissement du niveau du Lac de Neuchâtel d'environ 3 mètres sans modification de son régime annuel moyen, soit basses eaux plutôt en hiver et hautes eaux plutôt en été, et en maintenant l'amplitude de fluctuation entre hautes eaux et basses eaux moyennes que l'on peut fixer à environ 2 mètres (environ 3 mètres pour l'amplitude de fluctuation entre le maxima et le minima mesurés entre 1891 et 1962). La 2^{ème} CEJ a conduit à un resserrement de cette amplitude de fluctuation des eaux, toujours sans modification de son régime annuel moyen, soit basses eaux plutôt en hiver et hautes eaux plutôt en été, qui a été réduite à environ 0.7 mètre entre hautes eaux et basses eaux moyennes (environ 1.5 mètre pour l'amplitude de fluctuation entre le maxima et le minima mesurés depuis 1973).

⁶ Eléments transmis par mail par Christian Clerc, biologiste à la Grande Cariçaie.
Etude écologique relative au rétablissement d'un marnage sur le Lac d'Annecy - SILA
MODULE 2 : Synthèse bibliographique

Si la 1^{ère} CEJ est clairement à l'origine de la formation, par exondation de hauts-fonds, de ceintures marécageuses plus ou moins végétalisées et boisées comprenant les marais que gère aujourd'hui la Grande Cariçaie, la 2^{ème} CEJ semble avoir conduit à la modification de certaines d'entre-elles soit :

- pour la marge la plus proche du Lac : disparition des cordons littoraux sableux régulièrement exondés et avec eux d'espèces telles que la Renoncule radicante ou encore la Littorelle, disparition des ceintures de nénuphars, recul localisé du marais non-boisé compensé par le développement de certains massifs de roselière lacustre ;
- et pour la marge la plus éloignée du Lac : densification généralisée des ligneux, particulièrement des ligneux à feuilles caduques dans les pinèdes alluviales, colonisation de ceintures marécageuses non-boisées par les ligneux.

Il n'est pas possible de savoir dans quelle mesure la 2^{ème} CEJ n'aurait fait qu'accélérer une dynamique évolutive inexorable et déjà en mouvement après la 1^{ère} CEJ ou dans quelle mesure cette 2^{ème} CEJ a réellement changé la donne au niveau paysager. Quoi qu'il en soit ces corrections ont bien montré toute l'importance du paramètre « niveau du Lac » parmi la complexité des paramètres régissant l'évolution paysagère du site.

In fine, il faut bien admettre qu'il n'existe pas d'expérimentation concrète de retour à un marnage et faisant l'objet de constat d'impact à une échelle appropriée vis-à-vis de certains indicateurs biologiques. En effet et même si sur le Lac d'Aiguebelette, quelques observations ont pu être faites sur la faune aquatique suite à quelques fluctuations de niveau⁷, aucun retour d'expérience basé sur de réels protocoles de marnage et d'observations des impacts n'existe à ce jour.

⁷ Mars 2011, mail de Michel TISSUT au SILA.

Références bibliographiques

- Armstrong J., Afreen-Zobayed F., Blyth S. & Armstrong W., 1999. *Phragmites australis*: effects of shoot submergence on seedling growth and survival and radial oxygen loss from roots. *Aquatic Botany* 64 : 275-289.
- Armstrong J. & Armstrong W., 2001. An overview of the effects of phytotoxins on *Phragmites australis* in relation to die-back. *Aquatic Botany* 69 : 251–268.
- Blake G., 1992. Étude de la dégénérescence des roselières. Université de Savoie. p. 8.
- Brix H., 1999. The European Research Project on Reed Die-back and Progression (EUREED). *Limnologica* 29 : 5-10.
- Charles F., 1998. Régulation du niveau et du débit du Lac d'Annecy. Stage de deuxième année. Institut National Agronomique de Paris – Grignon. 58 p.
- CISALB - Comité intersyndical pour l'assainissement du Lac du Bourget, 2007. Pas de baisse sans curage des ports. La lettre d'information du contrat, N°6 : 14-15.
- Clerc C. – Mars 2011 Mail adressé au SILA concernant quelques observations sur le Lac de Neuchâtel – La Grande Carrière.
- Den Hartog C., Kvet J. & Sukopp H., 1989. Reed: A common species in decline. *Aquatic Botany* 35 : 1-4.
- Dienst M., Schmieder K. & Ostendorp W., 2004. Effects of water level variations on the dynamics of the reed belts of Lake Constance. *Limnologica* 34 : 29–36.
- Hill H.M., Keddy P.A., Wisheu I.C., 1998. A hydrological model for predicting the effects of dams on the shoreline vegetation of lakes and reservoirs. *Environmental Management* 22 (5) : 723-736.
- Miquet A., 1997. La régulation du Lac du Bourget (France) : nouveau fonctionnement hydraulique, impacts environnementaux / Regulation of the Lac du Bourget (French Alps) : environmental impact of new management rules. *Revue de géographie alpine*. Tome 85 N°2. pp. 11-21.
- Nechwatal J., Wielgoss A., Mendgen K., 2008. Flooding events and rising water temperatures increase the significance of the reed pathogen *Pythium phragmitis* as a contributing factor in the decline of *Phragmites australis*. *Hydrobiologia* 613 : 109-115.
- Ostendorp W., 1989. "Die-back" of reeds in Europe – A critical review of literature. *Aquat. Bot.* 35, 5-26.
- Ostendorp W., Dienst M. & Schmieder K., 2003. Disturbance and rehabilitation of lakeside *Phragmites* reeds following an extreme flood in Lake Constance (Germany). *Hydrobiologia* 506-509 : 687-695.
- Pautou G., Girel J. & Borel J.L., 1992. Initial repercussions and hydroelectric developments in the french upper Rhône valley : a lesson for predictive scenarios propositions. *Environmental Management* 16 : 231-242.
- Pichon F. Mauvais Ch., Schaefer O., 1993, Les Lacs de St Point et Remoray – vers une maîtrise optimale du niveau d'eau – Protocole de gestion et de suivi basé sur l'étude des édifices biologiques. Syndicat mixte des deux lacs :St Point et Remoray. 155 p.
- Rea N., 1996. Water levels and *Phragmites*: Decline from lack of regeneration and dieback from shoot death. *Folia Geobotanica. Phytotax* 31: 85-90.

- SAGE Environnement ; 2007 – Etude de l'état des roselières du lac d'Annecy et propositions d'action de restauration – Document 1 – Rapport ; 106 p + Document 2 – Annexes. SILA.
- TISSUT M. – Mars 2011 – Mail adressé au SILA concernant quelques observations sur le Lac d'Aiguebelette.
- Van der Putten W.H., 1997. Die-back of *Phragmites australis* in European wetlands: an overview of the European Research programme on Reed Die-back and progression (1993-1994). *Aquat. Bot.* 59 : 263-275.
- Wantzen K. M., Rothhaupt K.-O., Mörtl M., Cantonati M., Tóth L. G., Fischer P., 2008. Ecological effects of water-level fluctuations in lakes: an urgent issue. *Hydrobiologia* 613 : 1–4.

MODULE 3 :

Détermination des relations entre les niveaux du Lac et la mise en eau des secteurs de roselières

1 METHODOLOGIE

L'objectif de ce module est d'étudier la relation entre le niveau du Lac et l'état d'inondation/exondation des roselières aquatiques.

1.1 Elaboration du Modèle Numérique de Terrain

Pour mener à bien cette phase, un modèle numérique de terrain a été élaboré⁸ sur trois secteurs (les Marais de l'Enfer, le Sentier des Roselières et le Bout du Lac) de manière à disposer d'un outil topographique permettant de simuler pour différentes cotes, l'importance des surfaces exondées ou inondées.

Pour chacun des trois sites à cartographier, les prospections ont consisté à effectuer des relevés GPS⁹ de précision centimétrique le long de transects perpendiculaires à la berge tant du côté aquatique (jusqu'à 1, 5 m de profondeur) que du côté terrestre. Ces investigations ont été réalisées durant les semaines 13, 14, 15 et 39 de l'année 2011.

Pour les zones plus au large non prospectables à pied, les données de bathymétrie acquises lors des études d'AVP des protections des roselières (réalisées par l'entreprise Bathys) ont été également exploitées.

Au total ce sont près de 14200¹⁰ points qui ont été saisis et qui ont permis d'obtenir des courbes de niveau suffisamment précises (précision décimétrique à centimétrique) de part et d'autre de la berge actuelle.

Ce modèle numérique de terrain a été réalisé avec le logiciel Autocad Quovadis

1.2 Les simulations d'exondations- inondations

Conformément au cahier des charges, les amplitudes testées par pas de 10 cm se situent pour chacun des trois secteurs entre les cotes d'alertes actuelles à savoir 447.42 (cote d'alerte de crue) et 446.42 (cote d'alerte étiage sévère).

Concernant les exondations, et dans la mesure où la cote d'étiage sévère testée ne permettait pas selon nous une exondation suffisante des surfaces de roselière pour une bonne interprétation, nous

⁸ Logiciel utilisé : Autocad Quovadis

⁹ GPS haute précision utilisant le système Orphéon – les points cachés (mauvaises réception éventuelle due par exemple aux arbres) ont été relevés au théodolite

¹⁰ 4000 points sur les Marais de l'Enfer, 4800 points sur le Sentier des Roselières et 5400 points sur le Bout du Lac.

Etude écologique relative au rétablissement d'un marnage sur le Lac d'Annecy - SILA

avons réalisé deux autres simulations aux cotes 446,16 et 445,91 qui sont intégrées aux résultats du paragraphe suivant.

Ainsi le tableau ci-dessous résumé les cotes de niveau d'eau testées par rapport à la cote 446,91.

Cotes testées (IGN 69)												
445,91	446,16	446,41	446,51	446,61	446,71	446,81	446,91	447,01	447,11	447,21	447,31	447,41

Pour chaque cote testée (à la hausse ou à la baisse), le pourcentage de roselière exondé ou inondé, a été ensuite calculé pour chacun des trois sites par rapport à la surface de roselière aquatique du secteur considéré¹¹ et pour un niveau « moyen » du Lac de 446,91 qui correspond à la cote moyenne observée sur la période 1965 – 2010 (cote 74 à l'échelle du Pont de la Halle).

¹¹ Données acquises lors de la cartographie des roselières aquatiques en 2007 et localement réactualisées en 2011 (pour le Bout du Lac)



Localisation des secteurs ayant fait l'objet de relevés topographiques

figure 1 : Localisation des secteurs ayant fait l'objet de relevés topographiques

2 RESULTATS ET COMMENTAIRES

Pour chacune des situations (à la hausse ou à la baisse), nous faisons figurer à la suite les tableaux par secteurs ainsi que des graphes permettant d'illustrer ces chiffres.

Les planches cartographiques (figure 8 à figure 10) faisant apparaître l'emprise des surfaces exondées et inondées pour les cotes testées les plus proches des cotes extrêmes du cahier des charges figurent également à la suite.

2.1 Simulations de hausses du niveau du Lac

Marais de l'Enfer

Surface totale de roselière aquatique du secteur depuis la cote 446,91 : 26 898 m²

(Chiffre servant de référence pour le calcul des pourcentages apparaissant ci-dessous)

Cotes à l'échelle du Pont de la Halle (cm)	Cotes (IGN 69)	Surfaces totales inondées (m ²)	Surfaces de roselières terrestres inondées (m ²)	Proportion de roselière terrestre inondée par rapport à la surface totale de roselière aquatique du secteur (%)	Autres surfaces végétales (boisement) (m ²)
124	447,41	Données topo non dispo	13678	50,9	Données topo non dispo
114	447,31	Données topo non dispo	13566	50,4	Données topo non dispo
104	447,21	Données topo non dispo	12938	48,1	Données topo non dispo
94	447,11	12988,25	10127	37,7	2832
84	447,01	4742,49	3327	12,4	979
74	446,91				

tableau 1. : Marais de l'Enfer - Données de surfaces pour une simulation à la hausse de la cote du Lac

Sentier des roselières

Surface totale de roselière aquatique du secteur depuis la cote 446,91 : 21 252,42 m²

(Chiffre servant de référence pour le calcul des pourcentages apparaissant ci-dessous)

Cotes à l'échelle du Pont de la Halle (cm)	Cotes (IGN 69)	Surfaces totales inondées (m ²)	surfaces de roselières terrestres inondées (m ²)	Proportion de roselière terrestre inondée par rapport à la surface totale de roselière aquatique du secteur (%)	Surfaces végétales autres (boisement) (m ²)
124	447,41	10374	6395	30,1	3861
114	447,31	8843	5898	27,8	2945
104	447,21	10374	5268	24,8	2145
94	447,11	8843	4167	19,6	1792
84	447,01	10374	2707	12,7	529
74	446,91		1165 m ² Surface de roselière terrestre dont la cote est <446,91		

tableau 2. Sentier des Roselières - Données de surfaces pour une simulation à la hausse de la cote du Lac

Bout du Lac

Surface totale de roselière aquatique du secteur depuis la cote 446,91 : 9 903,16 m²
(Chiffre servant de référence pour le calcul des pourcentages apparaissant ci-dessous)

Cotes à l'échelle du Pont de la Halle (cm)	Cotes (IGN 69)	Surfaces totales inondées (m ²)	surfaces de roselières terrestres inondées (m ²)	Proportion de roselière terrestre inondée par rapport à la surface totale de roselière aquatique du secteur (%)
124	447,41	14955	14955	151,0
114	447,31	13301	13301	134,3
104	447,21	12105	12105	122,2
94	447,11	10802	10802	109,1
84	447,01	7526	7526	76,0
74	446,91	2036 surf<446,91	2036 surf<446,91	

tableau 3. : Bout du Lac - Données de surfaces pour une simulation à la hausse de la cote du Lac

La valeur 2035, 68 m² correspond aux surfaces de roselières données par le modèle comme étant sous la cote 446,91 (de nombreuses dépressions sont observées à l'arrière de la ligne de berge sur ce secteur)

Concernant les Marais de l'Enfer, on observe pour ce secteur des surfaces significatives qui seraient inondées dès la cote 447,11 (94 cm)¹² puisque plus de 10 000 m² de roselières terrestres seraient concernés ainsi que près de 2900 m² de boisement localisé en bordure proche du Lac.

Le secteur du Sentier des Roselières étant quant à lui plus urbanisé, on observe beaucoup moins de roselières terrestres sur cette zone. Ainsi les valeurs tant en proportions qu'en valeurs absolues sont plus faibles puisqu'on note pour la cote extrême une inondation d'un peu plus de 6000 m² de phragmitaie sèche, ce qui représente moins de 25 % de la surface de roselières aquatique du secteur.

Pour la zone du Bout du Lac, et comme pour les Marais de l'Enfer qui contiennent des roselières, les simulations montrent une augmentation des mises en eau importante mais assez régulière de ces milieux. Cette inondation est significative dès la cote 447,11 (94 cm) avec plus de 10 000 m² inondés ce qui correspond à une valeur supérieure au doublement des surfaces de roselières aquatiques du secteur. Pour la cote extrême de 447,41 (124 cm), on multiplierait par 1,5 la surface de roselière aquatique actuelle du simple fait de l'inondation.

¹² Cote correspondante à l'échelle au Pont de la Halle - ces cotes apparaissent entre parenthèses dans la suite
Etude écologique relative au rétablissement d'un marnage sur le Lac d'Annecy - SILA

2.2 Simulations de baisses du niveau du Lac

Les tableaux ci-dessous résument pour chacun des trois secteurs et pour chaque cote, la surface totale exondée, surface qui est ensuite ventilée entre surface végétalisée (roselière à minima voire scirpaie et mélange des deux formations pour le marais de l'Enfer) et surfaces dénudées.

Marais de l'Enfer

Surface totale de roselière aquatique du secteur depuis la cote 446,91 : 26 898 m²
(Chiffre servant de référence pour le calcul des pourcentages apparaissant ci-dessous)

Cotes à l'échelle du Pont de la Halle (cm)	Cotes (IGN 69)	Surfaces totales exondées (m ²)	Surfaces exondées actuellement en roselière aquatique (m ²)	Surfaces exondées actuellement en scirpaie (m ²)	Surfaces exondées actuellement en mélange roselière aquatique et scirpaie (m ²)	Surfaces exondées actuellement non végétalisées (m ²)	Taux d'occupation par la végétation à la cote considérée	Proportion de roselière aquatique exondée par rapport à la surface totale de roselière aquatique du secteur (%)
74	446,91							
64	446,81	1093	408			685	37,3%	1,5
54	446,71	2399	980			1419	40,9%	3,6
44	446,61	4254	1968			2286	46,3%	7,3
34	446,51	7351	4169			3182	56,7%	15,5
24	446,41	12101	8096		96	3909	66,9%	30,5
-1	446,16	25731	17746	322	1183	6480	69,0%	70,4
-26	445,91	44367	23389	741	2107	18130	52,7%	94,8

tableau 4. : Marais de l'Enfer - Données de surfaces pour une simulation à la baisse de la cote du Lac

Sentier des roselières

Surface totale de roselière aquatique du secteur depuis la cote 446,91 : 21 252,42 m²
(Chiffre servant de référence pour le calcul des pourcentages apparaissant ci-dessous)

Cotes à l'échelle du Pont de la Halle (cm)	Cotes (IGN 69)	Surfaces totales exondées (m ²)	Surfaces exondées actuellement en roselière aquatique (m ²)	Surfaces exondées actuellement non végétalisées (m ²)	Taux d'occupation par la végétation à la cote considérée	Proportion de roselière aquatique exondée par rapport à la surface totale de roselière aquatique du secteur (%)
74	446,91					
64	446,81	914	182	732	19,9%	1
54	446,71	1833	664	1169	36,2%	3
44	446,61	3309	1710	1599	51,7%	8
34	446,51	5536	3488	2048	63,0%	16
24	446,41	8807	6038	2769	68,6%	28
-1	446,16	19719	14785	4934	75,0%	70
-26	445,91	30647	19795	10852	64,6%	93

tableau 5. : Données de surfaces pour une simulation à la baisse de la cote du Lac

Bout du Lac

Surface totale de roselière aquatique du secteur depuis la cote 446,91 : 9 903,16 m²
(Chiffre servant de référence pour le calcul des pourcentages apparaissant ci-dessous)

Cotes à l'échelle du Pont de la Halle (cm)	Cotes (IGN 69)	Surfaces totales exondées (m ²)	Surfaces exondées actuellement en roselière aquatique (m ²)	Surfaces exondées actuellement non végétalisées (m ²)	Taux d'occupation par la végétation à la cote considérée	Proportion de roselière aquatique exondée par rapport à la surface totale de roselière aquatique du secteur (%)
74	446,91					
64	446,81	605	205	400	33,8%	2,1
54	446,71	1113	491	622	44,1%	5,0
44	446,61	1741	847	894	48,6%	8,6
34	446,51	2770	1360	1410	49,1%	13,7
24	446,41	4150	2080	2070	50,1%	21,0
-1	446,16	10856	4724	6132	43,5%	47,7
-26	445,91	18515	8418	10097	45,5%	85,0

tableau 6. : Données de surfaces pour une simulation à la baisse de la cote du Lac

Nous faisons figurer à la suite, le graphe synthétisant pour les trois secteurs et pour chaque cote simulée, la surface totale exondée.

Surfaces totales exondées pour les trois secteurs

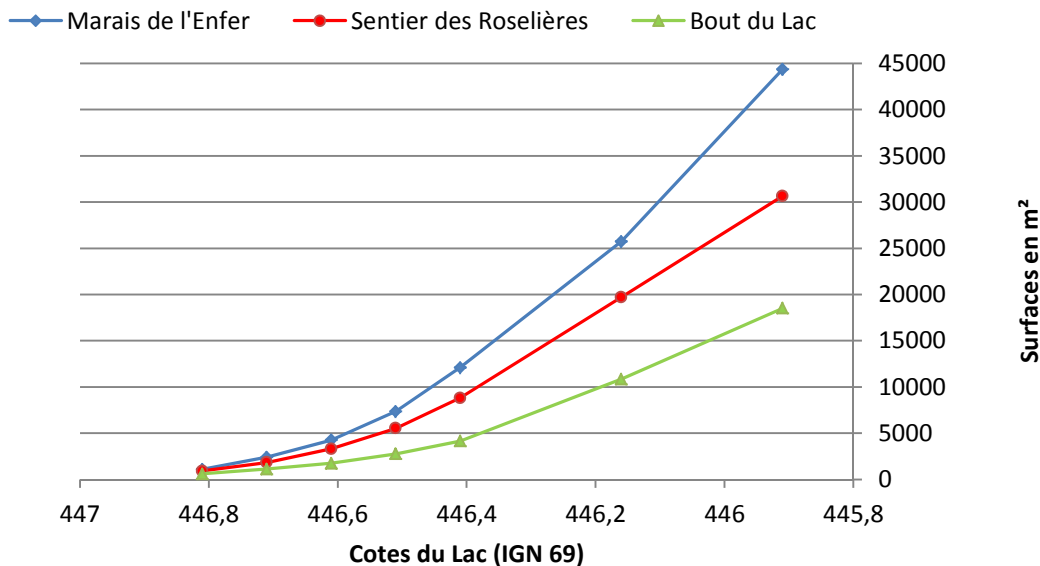


figure 2 : Surfaces totales exondées pour les trois secteurs

Comme le montre la figure 2 entre les cotes 446,91 (74 cm) et 445,91 (-26 cm), les valeurs totales de surfaces exondées pour chaque cote ne suivent pas de loi linéaire. On observe par ailleurs, des différences notables entre les trois secteurs, ce qui ne fait que confirmer les observations de terrain quant aux différences d'extension de la beine et de déclivités pour les Marais de l'Enfer, le Sentier des Roselières et le Bout du Lac.

Il est en particulier intéressant de remarquer ces différences entre d'une part les surfaces exondées pour les Marais de l'Enfer et le Sentier des Roselières où la configuration des beines est relativement étendue et plane et d'autre part celles du Bout du Lac pour lequel la beine est plus étroite. Cette disparité des surfaces exondées apparaît à partir de la cote 446,51 (34 cm) pour s'amplifier pour les cotes inférieures.

Précisons que chacun des trois secteurs étudiés est relativement comparable en longueur de berge :

- Marais de l'Enfer \approx 1150 m
- Sentier des Roselières \approx 1010 m
- Bout du Lac \approx 900 m

Pourcentage de roselières exondées pour les trois secteurs entre les cotes 445.91 et 446,91 (IGN 69)

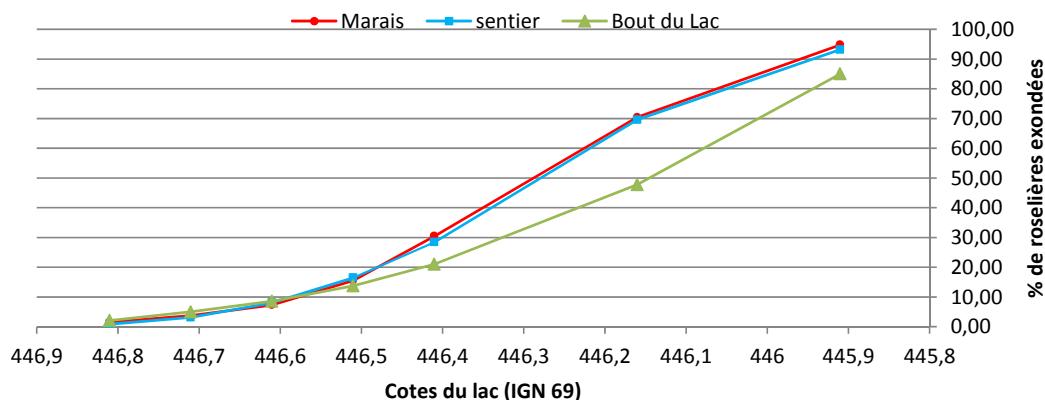


figure 3 : Pourcentage de roselières exondées pour les trois secteurs

Pourcentage de surfaces exondées actuellement non végétalisées par rapport à la surface totale de roselières aquatiques

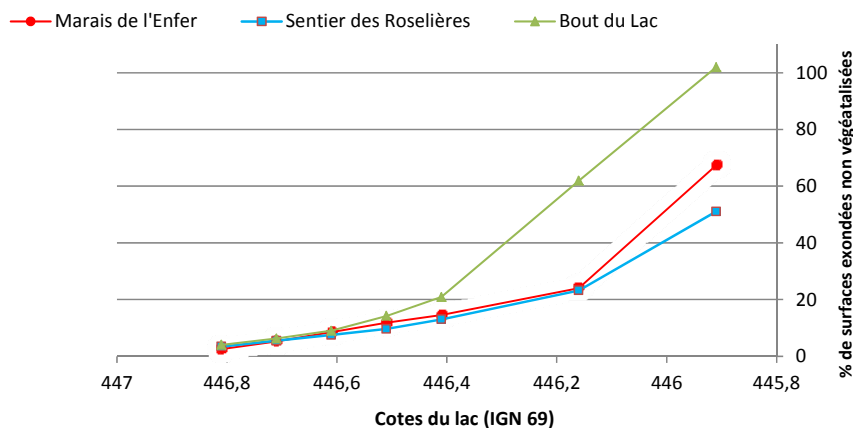


figure 4 : Pourcentages de surfaces exondées non végétalisées par rapport à la surface de roselières aquatiques

Concernant le pourcentage de roselières aquatiques exondées par rapport à la surface totale du secteur, en lien avec la figure 3 plusieurs observations sont à faire pour chaque zone :

◆ Pour les Marais de l'Enfer, la surface de roselières aquatiques (en mélange ou non avec de la scirpaie) qui serait exondée à la cote 446,41 (24 cm) représente 30 % des roselières du secteur (8096 m²). Ce chiffre monte à 70 % (17 745 m²) pour la cote 446,16 (-1 cm) et à plus de 94 % (23 388 m²) pour la cote 445,91 (- 26 cm). Ainsi comme le montre ce graphe, il y a une rupture dans la proportion de roselière exondée, cette dernière augmentant sensiblement plus rapidement en dessous de la cote 446,41 (24 cm).

◆ Pour le Sentier des roselières, il est étonnant d'observer la même rupture des valeurs entre la cote 446,41 (24 cm) pour laquelle 28, 4% (6038 m²) de roselières seraient exondées et les cotes 446,16 (-1 cm) et 445,91 (- 26 cm) pour lesquelles le modèle numérique donne des exondations respectives de 69,5 % (14785 m²) et 93,1 % (19795 m²). Cette similitude se voit très bien sur le graphe puisque les courbes sont quasiment confondues.

◆ Pour le Bout du Lac, les valeurs sont inférieures aux valeurs précédentes puisque le pourcentage exondé à la cote 446,41 (24 cm) n'atteint que 21 % (2080 m²), 47,7 % à la cote 446,16 (-1 cm) soit 4723 m² et 85 % à la cote 445,91 (- 26 cm) soit 8417 m². Comme semble le montrer le graphe, la rupture évoquée précédemment semble être observée à une cote plus basse (en dessous de 446,16) (- 1 cm).

Une des **informations principales** que nous apportent ces observations est que la répartition des roselières aquatiques sur nos trois secteurs semble assez singulière dans la mesure où comme le traduit d'une autre manière la figure 6, les surfaces les plus importantes ne sont pas localisées à proximité des berges mais au contraire davantage au large là où les profondeurs d'eau sont plus grandes.

Si l'on observe à présent le taux d'occupation par la phragmitaie de la surface exondée (rapport entre la surface de roselière exondée et la surface totale exondée – Cf. graphe ci-dessous) dont les informations recourent celles évoquées précédemment, on s'aperçoit que :

- l'on a des valeurs basses pour le sentier des roselières (<40 %) pour les cotes supérieures à 446,71 (54 cm) et que l'on dépasse les 60 % pour les cotes inférieures à 446,51 (34 cm),
- l'on a une courbe quelque peu comparable sur le Marais de l'Enfer, mais avec des taux globalement plus faibles
- le Bout du Lac se distingue des autres secteurs car il demeure quasiment en permanence en deçà des 50 %

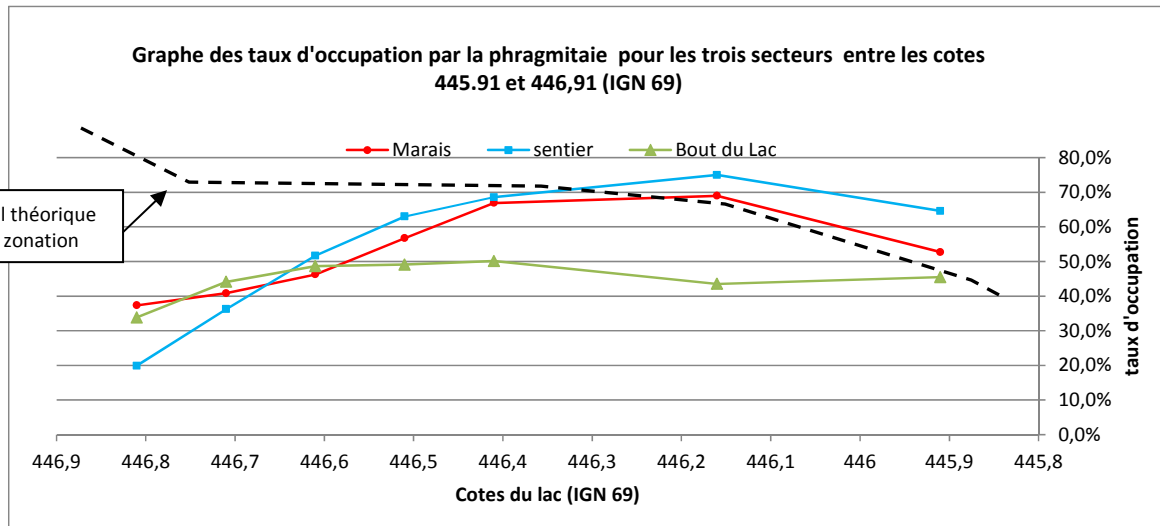


figure 5 : Taux d'occupation par la phragmitaie entre les cotes 445,91 et 446,91

Si l'on raisonne à présent en profondeur d'eau, on note que sur les Marais de l'Enfer et le Sentier des Roselières, 69,5 % et plus de 71 % des phragmitaies aquatiques se répartissent dans des profondeurs supérieures à 50 cm¹³. Ce chiffre atteint 79 % pour le Bout du Lac pour lequel on note même que plus de 50 % des roselières sont implantées au-delà des 75 cm de profondeur.

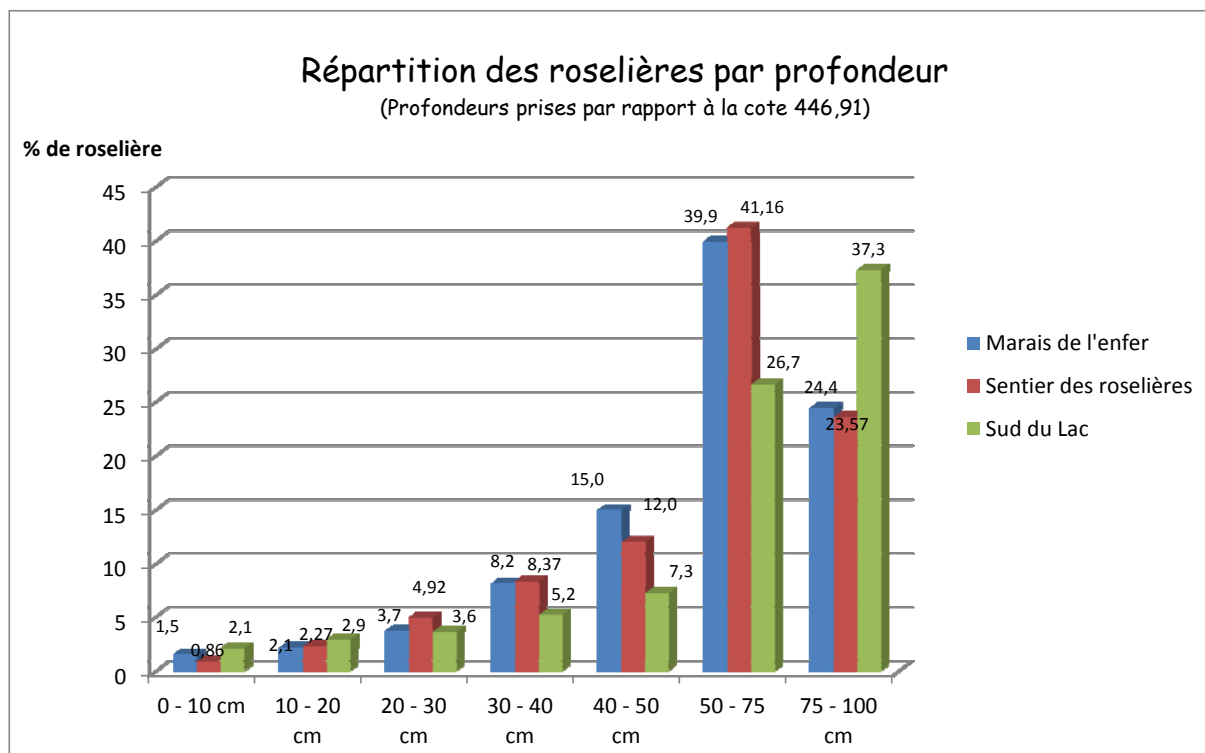


figure 6 : Répartition des roselières par profondeur

¹³ Profondeur calculée par rapport à la cote 446,91 (74 cm).

Pour ce qui a trait aux proportions de surfaces exondées non végétalisées par rapport aux zones végétalisées (phragmitaies), la figure 4 montre des tendances aussi très similaires pour les trois secteurs jusqu' à la cote 446, 51 (34 cm) avec des valeurs nettement inférieures à 20 %. En dessous de cette cote, la proportion de surfaces exondées dénuées de végétation pour le Bout du Lac augmente plus rapidement que les deux autres secteurs pour finir à la dernière cote par être plus importante que les surfaces de roselières.

Cette augmentation s'observe également pour les deux autres secteurs mais en deçà de la cote 446, 16 (-1 cm) (où les valeurs demeurent inférieures à 25 %) et pour buter sur des valeurs demeurant inférieures à 70 % pour les Marais de l'Enfer et inférieures à 60 % au Sentier des Roselières.

En s'affranchissant à présent des proportions et en raisonnant en surfaces absolue, la figure 7 qui détaille cette ventilation entre zones dénudées et zones végétalisées pour les trois secteurs montre que :

- Pour le Bout du Lac, une répartition assez égalitaire est notée pour chaque cote entre ces deux types de surfaces.

- Pour les deux autres secteurs, il en va tout autrement. En effet pour les cotes hautes de l'intervalle qui nous intéresse, ce sont les surfaces non végétalisées qui sont dominantes tendance qui s'inverse très nettement dès la cote 446,51 (34 cm) à partir de laquelle les surfaces exondées sont majoritairement des roselières aquatiques.

Répartition des surfaces exondées

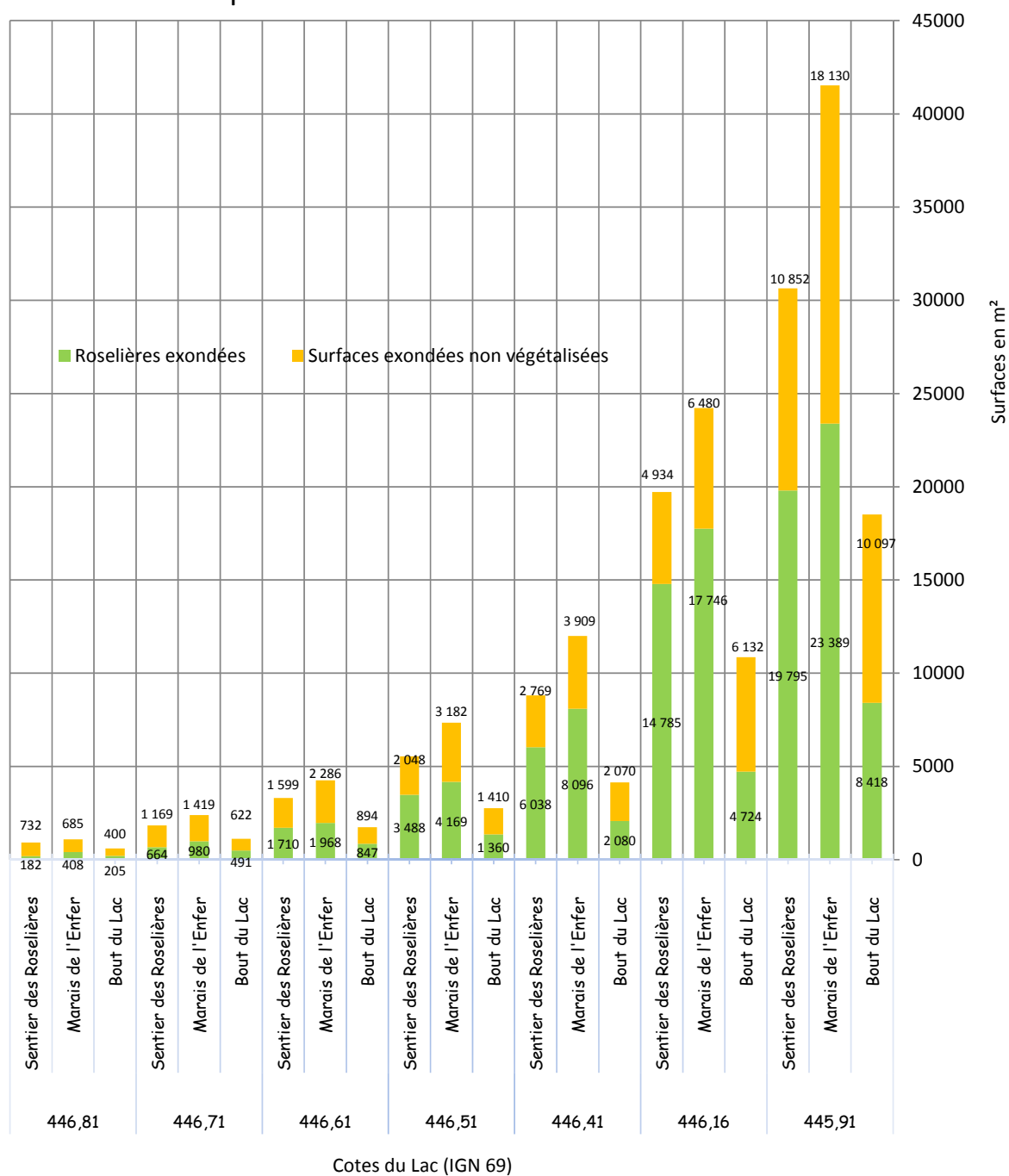


figure 7 : Répartition des surfaces exondées pour les trois secteurs

2.3 Conclusion

Les simulations d'exondation d'inondation à différentes cotes du Lac combinées avec la cartographie actuelle des roselières ont permis de déterminer les différents chiffres de surfaces concernés pour une hausse ou une baisse de la ligne d'eau.

Pour une hausse des niveaux compris entre 446,91 et 447,41 les chiffres font apparaître des mises en eau significatives de roselières terrestres notamment sur les Marais de l'Enfer et le Bout du Lac.

Pour une baisse de la ligne d'eau entre 446,91 et 445,91, les résultats montrent notamment que pour les trois secteurs étudiés, la répartition des roselières aquatiques est plus importante au large (entre 50 cm et 1 m de profondeur) que près de la berge là où est censée se développer pleinement la zone d'accumulation. Par ailleurs, cette exondation progressive des roselières s'accompagne également d'exondation de surfaces dénudées. Si notamment pour les deux secteurs des Marais de l'Enfer et du Sentier des Roselières, les proportions demeurent modestes (par rapport à la surface de roselière du secteur considéré), les chiffres de surfaces sont néanmoins significatifs y compris pour le Bout du Lac.

En termes de taux d'occupation, ces derniers sont assez faibles pour les cotes supérieures à 446,61 (sauf au Bout du Lac où le taux demeure quasiment toujours inférieur à 50 %).

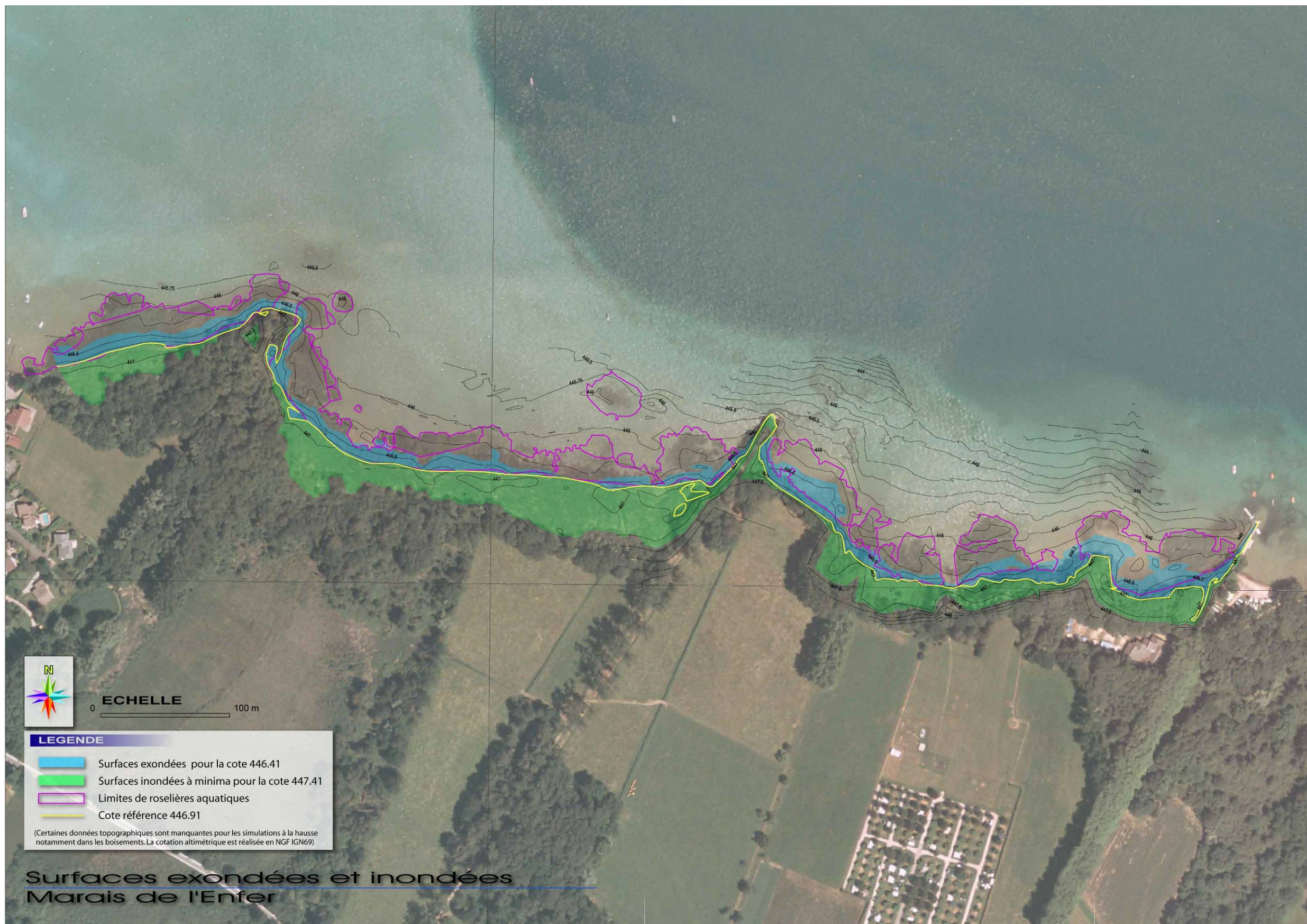


figure 8 Marais de L'enfer - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau simulées de 446,41 et 447,41

figure 9 Sentier des roselières - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau simulées de 446,41 et 447,41



figure 10 Bout du Lac - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau simulées de 446,41 et 447,41



MODULE 4

Ce chapitre a pour objectif d'évaluer l'impact écologique du rétablissement du marnage selon trois scénarii hydrologiques modélisés grâce aux modules 1 et 3.

Les indicateurs écologiques suivants ont été retenus quant à cette évaluation qualitative des impacts :

- aspect végétal : végétation hélophytique en s'attachant en particulier aux phragmitaies aquatiques,

- aspect faunistique avec l'avifaune, l'ichtyofaune, le Castor et les invertébrés via les odonates. Ces indicateurs faunistiques ont été retenus en raison de leur importance du point de vue de la caractérisation de l'écosystème lacustre et littoral et/ou de leur utilisation plus ou moins soutenue de l'habitat roselière aquatique.

Dans un souci de clarté, ce module comporte trois thématiques :

- Une première concerne des données de cadrage relatives à chaque indicateur. Elles sont précisées le cas échéant notamment pour la faune, par l'état des connaissances sur le Lac d'Annecy grâce à des données récentes.¹⁴

- Une seconde concerne la définition des scénarii retenus,

- Une troisième traite des impacts de chaque scénario sur chacun des indicateurs en s'intéressant avant tout aux trois secteurs du module 3 à savoir, les Marais de l'Enfer, le sentier des roselières et le Bout du Lac.

1 DONNEES ECOLOGIQUES SUR LE ROSEAU ET EFFETS DU NIVEAU DES EAUX SUR SON DEVELOPPEMENT

1.1 Phénologie du roseau (*Phragmites australis*)

Elle se résume schématiquement comme suit

- Rhizome pérenne (rôle de support, oxygénation des racines et accumulation des réserves),
- Tige annuelle, début de croissance en avril,
- Fin de croissance en juin-juillet suivi de floraison (panicule),
- Production de graines à l'automne (panicule plumeuse),
- Perte des feuilles qui jaunissent en novembre-décembre,
- Tiges qui meurent et sèchent en décembre mais restent sur pied quelques mois ou années avant de casser et de se décomposer,
- Habitat très productif en termes de biomasse végétale produite par année (1.3 – 4 kg matière sèche/m²/an).

¹⁴ Etudes ONEMA, étude LPO et contacts téléphoniques avec ASTERS et la LPO en particulier.

Du point de vue des besoins physiologiques, *Phragmites australis* se caractérise par une amplitude écologique assez large. L'espèce accepte quasiment tous les types de sols inondés à condition qu'ils ne soient ni trop acides ni trop à l'ombre (espèce héliophile). L'espèce est par ailleurs particulièrement adaptée à la fluctuation du niveau de l'eau.

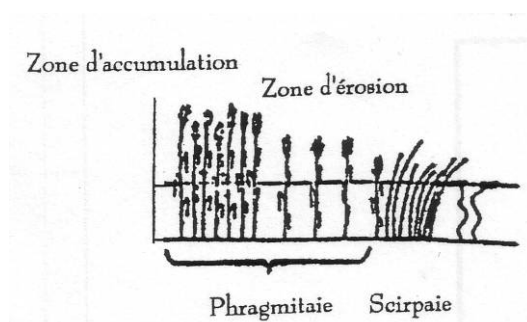
Sa présence en eau salée (Camargue) et son utilisation comme système d'épuration domestique (filtres plantés de macrophytes) sont quelques-unes des illustrations de cette « plasticité » écologique.

1.2 Fiche d'identité d'une roselière aquatique

Les roselières aquatiques forment la première bordure de végétation émergente des Lacs et des cours d'eau lents. Elles colonisent, en franges riveraines ou en îlots, des zones d'eau peu profondes dont la hauteur n'excède généralement pas 1,6 m. Les roselières aquatiques sont dominées par des plantes spécialisées, les héliophytes (Roseau commun ou Phragmite en premier lieu, Jonc et Massette dans une moindre mesure), dont les organes aériens (tiges, feuilles, fleurs) se développent essentiellement à partir d'un système racinaire submergé, les rhizomes qui permettent un clonage végétatif. Ainsi, avec un rhizome de 50 à 70 cm contenant assez de réserves, un Roseau peut constituer une roselière monospécifique par simple multiplication végétative et cette expansion peut atteindre plusieurs mètres par an en conditions optimales.

Morphologiquement une roselière aquatique est constituée de deux zones distinctes :

- la zone d'accumulation à l'interface terre-eau, où la production de matière végétale est supérieure au taux de décomposition de cette matière. Elle constitue également le réservoir depuis lequel, grâce aux rhizomes, le maintien et le développement de la phragmitaie sont possibles.
- la zone d'érosion située plus au large, qui constitue le premier rempart notamment face aux phénomènes ondulatoires de l'eau comme la houle et le batillage. Il s'agit en général d'un secteur qui se différencie morphologiquement du précédent par une taille et une densité de tiges inférieures.



Une des caractéristiques majeures des roselières est leurs fortes productivités primaires causées par une importante accumulation de matière organique. Cette forte accumulation demeure néanmoins réduite par la décomposition et minéralisation par la microflore et microfaune et l'exportation par les herbivores ou facteurs physiques (mouvements d'eau, vent). Rappelons que la décomposition dépend principalement de la température de l'eau, de la teneur en O₂ et en nutriments, et du degré d'humidité de la litière (avec interactions multiples entre ces facteurs).

Une accumulation extrême peut être observée et correspond à la formation de litière qui stocke l'eau, les métabolites de la décomposition et temporairement les gaz issus également de cette décomposition. Ce phénomène permet le maintien de roselières denses s'il y a un enfoncement de la surface du marais (subsidence).

L'effet de l'accumulation de matière au sol sous forme de litière protège les rhizomes et les bourgeons du gel et des intempéries, les tiges sèches sur pied facilitent le transport d'O₂ vers les rhizomes. En eau profonde, l'accumulation de litière limite la productivité (densité) des roselières par manque d'oxygénation des sédiments.

1.3 Facteurs influençant l'évolution des roselières

Malgré la plasticité apparente du roseau, et comme le laissent supposer les éléments évoqués ci-dessus, certains facteurs favorisent l'expansion de l'espèce notamment les sols inondés par 0, 2 à 1 m d'eau, avec un substrat constitué d'alluvions argileux ou sablo-argileux riches en éléments nutritifs. Ainsi pour ce dernier aspect notamment, le développement de la roselière est favorisé par les sels nutritifs (eaux eutrophes avec pH optimal de 5,5 à 7,5) mais l'eutrophisation excessive des plans d'eau liée à un enrichissement trop important en nutriments se traduit à l'inverse par une diminution de la teneur en oxygène dans la colonne d'eau, les eaux interstitielles et le sédiment. Par ailleurs, une forte teneur en azote favorise la croissance des tiges (plus hautes mais moins solides) et les algues qui se développent en manchons autour des tiges (périphyton) occasionnant des fragilités mécaniques.

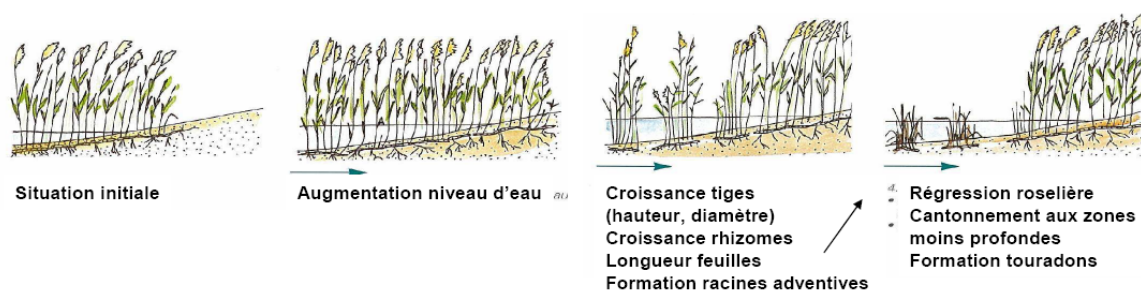
Les facteurs limitant l'expansion de l'espèce sont le manque d'eau en surface et en profondeur pendant une période prolongée, une eau stagnante, une absence d'assec périodique ou un courant trop important (>0,2 m/s) et bien sûr une pollution trop intense.

1.4 Augmentation/baisse du niveau des eaux

1.4.1.a Généralités

Une augmentation importante du niveau moyen de l'eau peut conduire sous certaines conditions à un appauvrissement des sédiments en oxygène et se traduire par:

- Une réduction de biomasse car l'allocation des réserves au rhizome se fait moins bien,
- Une augmentation du rapport biomasse aérienne/biomasse souterraine,
- Une augmentation du diamètre de la tige et de la longueur des feuilles,
- La formation de racines adventives au niveau des nœuds submergés,
- Une plus grande sensibilité à d'autres stress (vagues, eutrophisation, etc.)



Source : Poulin B. ; avril 2010 – Formation diagnostic des roselières Plan National d'Action du Butor étoilé ; Tour du Valat.

A contrario une hausse peut néanmoins permettre d'élargir la surface de dissipation énergétique des vagues et contribuer bénéfiquement à disperser plus en arrière de la roselière les flottants diminuant de fait les « effets de cordons » voire de sapement de berges observés sur Annecy notamment au Bout du Lac.

Une hausse peut permettre en outre de limiter la colonisation par les ligneux qui est souvent une conséquence indirecte d'une modification d'une gestion ou d'un usage antérieur. Du côté terrestre,

les roselières sont susceptibles d'être remplacées par des forêts inondables. Les aulnes, frênes ou saules s'installent lors des périodes de bas niveaux d'eau. Adaptées aux perturbations (grandes capacités de rejet de souche et de propagation végétative), elles sont difficiles à contrôler.

D'une manière générale, les baisses de niveaux d'eau en fin d'été ont un effet quant à eux plutôt favorable au niveau des sols en assurant un apport d'oxygène qui favorise la décomposition de la matière organique et diminue ses effets induits possibles. Le roseau en particulier tolère très bien les sécheresses relativement prolongées. Tout comme la hausse, ces baisses contribuent également du point de vue mécanique à élargir la bande de dissipation énergétique des vagues.

1.4.1.b L'importance des variations saisonnières du niveau des eaux

Le printemps - une période importante pour la croissance du roseau

La croissance du roseau démarre vers le mois d'avril. Elle se traduit en premier lieu par l'élongation de la pousse (ou bourgeon) initiée à la fin de l'été précédent et portée sous l'eau par les racines. Ceci nécessite de puiser dans les réserves de ce dernier afin que la future tige « perce » la colonne d'eau et puisse entamer le cycle de la photosynthèse qui verra la production des matières nutritives (sucres, ...) nécessaires à son développement annuel et à celui des racines (expansion, mises en réserves pour l'hiver suivant, ..).

Durant la période où le végétal puise dans les réserves, il est donc important que le niveau d'eau ne soit pas trop haut afin de permettre à la nouvelle pousse de sortir rapidement de l'eau au-delà de laquelle le développement des feuilles initiera la photosynthèse, seul gage de son autonomie énergétique.¹⁵

La période de fin d'été - une période propice à la minéralisation

Rappelons que la quantité d'O₂ dans le sol dépend du bilan entre les entrées depuis la surface (eau ou air) et les sorties par l'oxydation du sol, la respiration et la décomposition. L'oxygène est en faible quantité dans un sol inondé car sa concentration est faible dans l'eau. En outre, plus il y a de matière organique, plus la demande biologique en oxygène est élevée et moins il y a d'oxygène libre.

Un sol oxygéné est clair et a relativement peu de matière organique accumulée.

Un sol anoxique se traduit par des fermentations (production d'alcools), des dégagements de méthane (bulles, dégagements de gaz) et des réactions de réduction (transformation de soufre en sulfure donnant odeur d'œuf pourri ou formation de fer ferreux donnant un sol noir). Certains des composants réduits ont une toxicité directe sur les organismes vivants et en particulier sur la croissance des racines et rhizomes. Le stress anoxique sur la roselière se traduit par la formation de touradons, l'effondrement du tapis de rhizomes qui n'est plus porteur et des remontées de paquets de rhizomes libres et flottants.

¹⁵ Ces réserves jouent un rôle fondamental pour la plante et lui confèrent une forte résistance aux stress mais aussi un retard dans la réponse (les rhizomes tolèrent l'absence totale d'oxygène pendant un mois et ont des réserves pour 3 saisons de croissance en moyenne).

Une exondation en fin d'été notamment au niveau de la zone d'accumulation favorise donc la minéralisation de la matière organique et la remise à disposition de nutriments assimilables par les rhizomes. Cette minéralisation saisonnière dont l'intensité est fonction du temps d'exondation et des températures durant cette période, s'effectue néanmoins sur de faibles épaisseurs en général et il est important dans la mesure du possible pour des sédiments très anoxiques, d'effectuer des exondations annuelles.

Au-delà de la période propice, les niveaux peuvent être élevés ou bas l'hiver, en fonction des contraintes d'usages, mais un assèchement hivernal n'aura pas le même impact sur la décomposition qu'un assèchement estival ou post estival du fait principalement des différences de température (températures basses en hiver qui ne permettent pas l'activation de la flore bactérienne nécessaire à la décomposition de la matière organique).

2 L'AVIFAUNE

Pour de nombreuses espèces d'oiseaux, les roselières jouent les mêmes rôles : zone de reproduction, de refuge (notamment pendant la migration hivernale) et une zone d'alimentation. Au sein de ce type de milieu, deux facteurs conditionnent étroitement la diversité de l'avifaune : D'une part la superficie de la roselière et d'autre part la diversité des micro-habitats présents (effets de lisière auxquels répondent très bien les oiseaux). Or, les éléments déterminant pour ce second facteur résultent de l'hétérogénéité des zones exondées, inondées, et de la densité de la couverture végétale.^{16, 17}

En ce qui concerne Annecy, si de nombreuses espèces migratrices sont susceptibles de passer de manière plus ou moins ponctuelle en période post et pré nuptiale sur le Lac et à proximité des roselières (80 espèces migratrices y ont été dénombrées au cours des différentes années), les zones littorales de ce Lac ne sont pas actuellement connues comme accueillant régulièrement une grande diversité d'hivernants. Ainsi parmi les espèces les plus représentées, nous pouvons citer notamment le Grèbe huppé (*Podiceps cristatus*), le Fuligule morillon (*Aythya fuligula*) et Fuligule milouin (*Aythya ferina*) ou encore la Foulque macroule (*Fulica atra*).¹⁸

En termes de nidification, il ressort que relativement peu d'espèces fréquentent les roselières pour se reproduire. Il s'agit en particulier :

- du Grèbe huppé (*Podiceps cristatus*)
- de la Rousserolle effarvatte (*Acrocephalus scirpaceus*)
- de la Foulque macroule (*Fulica atra*)
- du Canard colvert (*Anas platyrhynchos*)

¹⁶ ONC : Le roseau; 1ère partie; Bull. Mens. de l'ONC N°105 septembre 1986; Environnement Participation Aménagement, Vincent SCHRICKE, ONC, CNERA,

¹⁷ La capacité d'accueil d'une phragmitaie peut s'avérer importante : Dans une phragmitaie de Moravie (Tchécoslovaquie), 25 espèces ont été recensées avec une moyenne de 25-30 nids/ha, incluant des espèces peu communes à rares voire très rares.

¹⁸ Sources : LPO, 2010 Rapport de synthèse de l'avifaune des roselières du Lac d'Annecy, 19 p.
& Contact téléphonique avec la LPO 74

- du Cygne tuberculé (*Cygnus olor*)
- et du Râle d'eau (*Rallus aquaticus*) – espèce non contactée lors de l'étude 2010 mais figurant dans la base de données LPO

Le Martin pêcheur (*Alcedo atthis*) souvent contacté à proximité immédiate des roselières ne niche cependant pas dedans mais les fréquente notamment pour son alimentation (chasse d'alevins).

Précisons que la rousserolle turdoïde semble très peu présente sur le site des roselières du Lac. L'espèce a été notée deux fois, en 2003 et 2005, avec des individus chanteurs sur les roselières de Saint-Jorioz. Un couple nicheur a également été noté durant l'été 2011 sur les roselières d'Albigny.¹⁹ Il est possible que les roselières du Lac ne conviennent pas (ou plus) à cette espèce qui apprécie avant tout les parties denses plus au large des roselières lacustres.

3 LE CASTOR

Espèce emblématique, le Castor a été réintroduit en 1972 au Bout de Lac. Depuis, il semble que l'espèce se soit bien développée. Elle est à présent observée jusqu'à l'extrémité Nord du Lac où des individus fréquentent les alentours du Port d'Albigny. Un terrier hutte a même été érigé sur ce secteur où de nombreux arbres sont protégés par les services techniques de la Mairie d'Annecy le Vieux.

La roselière lacustre n'est pas indispensable à l'espèce qui est en définitive assez éclectique dans le choix de ses habitats du moment que subsistent une ressource alimentaire suffisante (aulnes, saules, ..) et des caches dans les berges qui peuvent être naturelles ou non. Elle fréquente ainsi aussi bien les zones très calmes et sauvages de l'Eau morte que le Port de Doussard.

La roselière lacustre constitue néanmoins un gage pour l'espèce en termes de corridor biologique et de zone de refuge. L'espèce l'intègre en outre souvent dans son domaine vital puisqu'il s'agit de zone naturelle calme à proximité de laquelle se localise une ressource alimentaire indispensable à son cycle (ligneux) et à l'édification de ses terriers-huttes.

L'espèce fréquente très régulièrement les roselières du Bout du Lac. Elle semble également assez présente sur les Marais de l'Enfer (bien que de manière moins importante). En revanche peu d'indices de fréquentation ont été observés sur le secteur du sentier des roselières.²⁰

Rappelons que l'espèce ne consomme pas le roseau et ne l'utilise pas non plus pour la construction de terriers-huttes.

¹⁹ Avifaune du Lac d'Annecy – Synthèse des suivis de prospections menées par le LPO Haute Savoie sur le Lac d'Annecy en 2011. LPO-SILA

²⁰ Observations L. Bourgoïn – SAGE Environnement.

4 LES ODONATES

D'une manière générale, parmi le très grand groupe des invertébrés omniprésents dans les roselières, tant dans l'espace aquatique qu'aérien, il est possible d'observer des larves d'odonates, d'éphémères, de trichoptères,... De même, à l'état adulte, de nombreux coléoptères aquatiques, des spongiaires, des crustacés, des arachnides,... qui ne sont pas forcément inféodées aux roselières, fréquentent néanmoins abondamment ce type de milieu. Mais, la densité et le nombre d'espèce augmentent avec le nombre de micro-habitat et leur surface.

En revanche, la partie aérienne est plus pauvre en invertébrés, seules les insectes volant et les parasites occupent l'espace²¹.

Concernant plus particulièrement le groupe des odonates, aucune espèce n'est strictement et exclusivement inféodée à la roselière lacustre. Néanmoins cette végétation héliophytique contribue largement à la diversification du peuplement. Cet habitat et ses lisières sont en effet abondamment fréquentés par les imagos pour la chasse d'autres invertébrés mais aussi pour la ponte et le développement des larves dans la litière et les sédiments.

Pour la majorité des espèces, il faut plusieurs semaines (entre 2 et 9 suivant l'espèce) pour voir éclore les œufs (dans l'hypothèse où il n'y a pas de diapause hivernale). Les larves sont très mobiles et peuvent s'enfouir dans les sédiments ou la matière organique pour résister à des périodes d'assez prolongées.

Sur le Lac d'Annecy, il n'y a pas de données détaillées et récentes concernant les roselières. Les données ci-dessous ont été transmises par ASTERS et concernent le Bout du Lac (partie roselière). Elles ont été récoltées entre 1987 et 1999.

Les espèces suivantes ont été observées :

- *Ischnura elegans*
- *Coenagrion puella*
- *Gomphus vulgatissimus*,
- *Onychogomphus forcipatus forcipatus*,
- *Gomphidae sp.*
- *Aeshna cyanea*,
- *Aeshna sp.*
- *Anax imperator*
- *Cordulia aenea*
- *Libellula fulva*
- *Libellula quadrimaculata*
- *Orthetrum cancellatum*

Aucune de ces espèces n'est rare tant à l'échelon nationale qu'à l'échelle régionale.

Précisons qu'il est quasiment certain que la diversité soit en réalité plus importante sur les roselières du Lac d'Annecy.

²¹ ONC : Le roseau; 1ère partie; Bull. Mens. de l'ONC N°105 septembre 1986; Environnement Participation Aménagement, Vincent SCHRICKE, ONC, CNERA,

5 PEUPLEMENT PISCICOLE DU LAC D'ANNECY

5.1 Données de cadrage disponibles

Le tableau ci après présente l'évolution du peuplement et les espèces recensées dans le cadre des investigations piscicoles mises en œuvre sur le Lac d'Annecy²².

Espèce	1868	1928	1931	1983	2007
Anguille	x		1		
Loche franche	x		1		
Blennie				10	11
Chabot	x		1		10
Ablette			2	10	9
Brème			1	6	
Brème bordelière		x		10	
Carpe	x		1	8	
Goujon			1	7	4
Chevesne	x		1		12
Vandoise					11
Vairon	x		1		
Gardon	x	x	3	1	2
Blageon	x		1		
Tanche	x		1	4	8
Brochet				8	5
Lote	x		3	9	12
Perche	x		3	2	1

²² ONEMA, 2007. Echantillonnage du peuplement piscicole du Lac d'Annecy – Application du protocole EN 14757

Corégone		x	2	3	3
Truite	x		2	10	
Ombre Chevalier		x	4	5	7

Les échantillonnages ont été menés selon des méthodes de pêche au filet, et fournissent donc une image du peuplement global du Lac, espèces littorales comme pélagiques confondues. Une étude piscicole complémentaire portant sur la zone littorale²³ a permis de cibler les habitats comme le peuplement piscicole présents sur cette zone non investiguée spécifiquement jusqu'alors.

Précisons qu'un nouvel échantillonnage réalisé en octobre 2010, selon la même méthodologie, a également mis en évidence la présence de la truite et du rotengle.²⁴

5.2 Caractéristiques et répartition du peuplement piscicole en zone littorale

Dans le cadre de cette étude, des pêches électriques ont été menées sur différents habitats de berge et permettent d'apprécier assez finement la répartition spatiale des espèces en présence. Précisons néanmoins que dans la mesure où les échantillonnages n'ont été réalisés qu'une seule fois au printemps (fin avril 2009), ces investigations ne sont pas le reflet de la fréquentation piscicole de la zone littorale de façon absolue.

Seuls les points structurants sont repris dans le présent paragraphe mais cette étude constitue une référence documentaire particulièrement adaptée à cette thématique.

Comme le montre le tableau ci-dessous, les espèces dominantes en zone littorale (lors des investigations d'avril 2009) sont la Blennie, le Gardon et la Perche.

Espèces Code	Effectifs			Densités (ind./1000m ²)		
	Grand lac	Petit lac	Total	Grand lac	Petit lac	Total
BLE	36	49	85	110,78	134,06	123,1
BRO	1	1	2	3,08	2,74	2,9
CHA		2	2		5,47	2,9
CHE		1	1		2,74	1,4
GAR	29	16	45	89,24	43,77	65,2
GOU	2		2	6,15		2,9
LOF		1	1		2,74	1,4
LOT		3	3		8,21	4,3
PER	31	32	63	95,40	87,55	91,2
PFL		2	2		5,47	2,9
TAN	13	1	14	40,00	2,74	20,3
TRF	7	16	23	21,54	43,77	33,3
Diversité	7	11 – 1 (pfl)	12			
Total	119	124	243	366,2	339,2	351,9

figure 1 Résultats bruts lors de l'échantillonnage de la zone littorale du Lac d'Annecy

BLE : Blennie, **BRO** : Brochet, **CHA** : Chabot, **CHE** : Chevesne, **GAR** : Gardon, **GOU** : Goujon, **LOF** : Loche franche, **LOT** : Lote, **PER** : Perche, **PFL** : Ecrevisse de Californie, **TAN** : Tanche, **TRF** : Truite fario.

²³ ONEMA, 2010. Echantillonnage de la faune pisciaire de la zone littorale du Lac d'Annecy – Campagne d'avril mai 2009.

²⁴ ONEMA, novembre 2010. Echantillonnage du peuplement piscicole du lac d'Annecy Réseau de Contrôle de surveillance (Année 2010) : Eléments d'analyse Rapport d'étape - version provisoire,

La Blennie affectionne ce secteur rivulaire où elle peut accomplir la totalité de son cycle biologique, notamment car il abrite son habitat de prédilection : les supports minéraux. Elle revêt de plus un caractère patrimonial de par son statut d'espèce protégée.

Le Gardon et la Perche sont deux espèces réparties à plus large échelle sur le Lac d'Annecy. A l'inverse de la Blennie, elles présentent une grande plasticité habitationnelle, peuvent se reproduire sur différents types de supports présents également dans des zones plus profondes du Lac (de type hydrophytes, tapis de Characées...). Elles ne sont pas électives de la seule frange littorale et peuvent occuper différentes strates lacustres au gré de leur régime alimentaire.

Enfin, la présence de jeunes individus de Truite est relativement inattendue et jusqu'alors méconnue des gestionnaires et des pêcheurs.

Enfin, la répartition verticale de ces espèces constitue un dernier élément structurant dans le cadre de cette problématique.

De manière plus ciblée pour ce qui concerne l'habitat roselière, l'étude de 2010 a permis de contacter trois espèces au sein de ce milieu : La Perche, le Gardon et la Blennie mais en faibles effectifs.

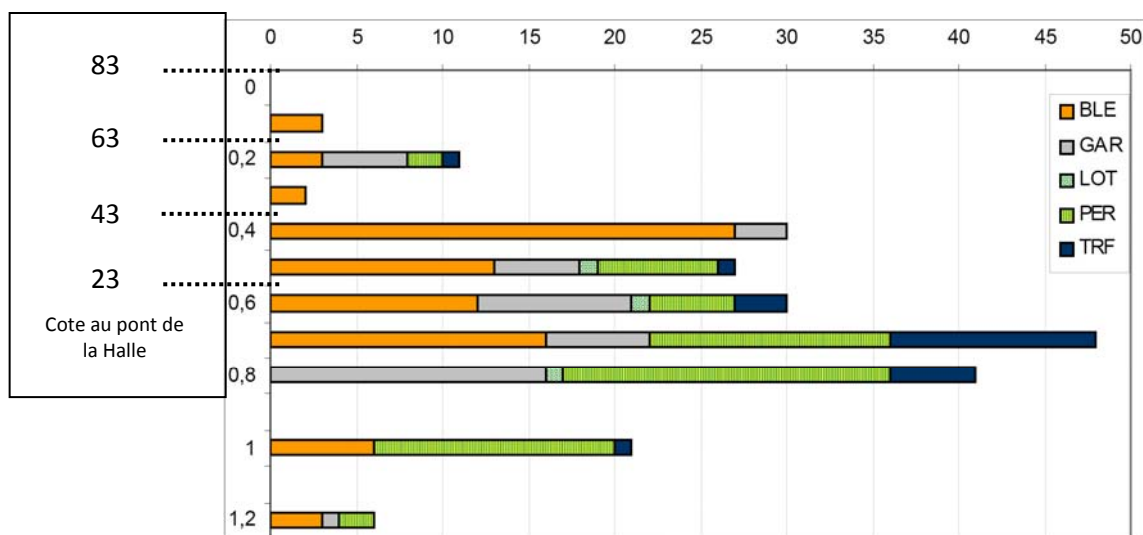


figure 2 Distribution verticale des captures réalisées sur la zone littorale prospectée du Lac d'Annecy

Cette figure révèle une certaine hétérogénéité de l'occupation de cette zone littorale au printemps :

- Les strates les plus occupées se situent entre 0,4 et 0,8 m de profondeur, profondeur calculée par rapport à la cote 447 (IGN 69 ou 446,72NGF) qui était la cote observée durant les investigations de fin avril 2009. Rappelons que cette cote de 447 IGN69 correspond à la cote 83 cm à l'échelle du pont de la Halle.

- une relative désaffection de la frange rivulaire (0 - 30 cm), au profit des strates inférieures. L'influence de la houle courante et/ou du batillage pourrait l'expliquer.

5.3 Groupes d'espèces potentiellement influencées

Même si l'étude réalisée par l'ONEMA en 2009 n'est qu'une image du peuplement à une seule période de l'année, qui plus est peu fréquentée, des éléments intéressants peuvent néanmoins être exploités.

Ainsi, lorsque l'on associe le peuplement piscicole global du Lac d'Annecy et celui observé lors des investigations piscicoles menées en zone littorale, un certain nombre d'espèces sont potentiellement influencées par cette problématique de marnage : toutes celles qui ont été rencontrées en zone littorale d'une part, mais aussi celles qui accomplissent une partie de leur cycle biologique en berge.

Des regroupements d'espèces présentant des comportements semblables peuvent être réalisés :

- Les espèces lithophiles de bordure : Chabot, Blennie fluviatile, Goujon, Lotte ;
- Les espèces présentant des juvéniles en berge : Perche, Gardon, Truite
- Les espèces qui se nourrissent, tout au moins partiellement, en berge : Carpe, Tanche, Brème ;
- Les espèces qui rejoignent la berge pour se reproduire : le Corégone, et la Truite pour accéder aux affluents, ainsi que potentiellement le brochet.

Précisons déjà à ce stade que les scénarii décrits dans la suite n'auront qu'un faible impact négatif sur l'ichtyofaune. En effet ils se caractérisent par des fluctuations saisonnières maximales de la cote du Lac d'Annecy de l'ordre de 35 à 40 cm autour de son niveau « moyen » - cote 74 cm. Sur le plan qualitatif, cette amplitude s'avère assez proche des variations enregistrées au début du XXème siècle dans un système déjà régulé.

Sur le plan quantitatif, la répartition verticale des captures en zone littorale (Cf. figure ci-dessus) constitue un élément structurant. En effet, la strate la plus rivulaire située entre 0 et 40 cm (cote 83 à 43 à l'échelle du pont de la Halle) se révèle peu attractive pour le peuplement piscicole du Lac d'Annecy. C'est pourtant principalement cette tranche d'eau qui est directement concernée par les exondations saisonnières envisagées.

6 DEFINITION DES SCENARII HYDROLOGIQUES ET EVALUATION DE LEUR FAISABILITE TECHNIQUE

On appelle ici scénario un profil d'évolution répété annuellement et qui décrit les niveaux du Lac au pas de temps mensuel. Ce pas de temps mensuel a été retenu eu égard à l'écologie du roseau pour lequel des pas de temps plus petits n'ont que très peu d'influence.

Suite aux éléments du module 1 et 3, trois scénarii hydrologiques différents ont été retenus pour simuler une amplification du marnage du Lac. Ils ont été choisis en accord avec le Maître d'ouvrage notamment en ce qui concerne les valeurs extrêmes.

Une modélisation du fonctionnement du lac a été calée à partir des éléments suivants, déterminés ou recensés lors du module 1 :

- le bilan hydrique actuel (cf. tableau 17) : apports entrants, précipitations, AEP,
- La courbe de capacité du lac (cf. figure 31)
- la courbe de tarage des émissaires du lac (cf. figure 30),

La faisabilité technique des trois scénarios retenus a été validée par la modélisation. Cette dernière a permis de confirmer que l'évolution mensuelle de la cote du lac proposée était réaliste en fonction des apports d'eau entrant et qu'un débit minimal était assuré au droit des émissaires du lac. Les débits mensuels du Thiou résultant de la modélisation seront présentés dans les paragraphes suivants pour chaque scénario retenu.

Rappelons à titre de comparaison avec les valeurs qui seront affichées ci-dessous que le marnage annuel du niveau Lac sur la dernière décennie (2001-2010), identifiée comme "sèche", a été calculé. Avec une valeur de 14 cm, il est supérieur au marnage de la période complète 1966-2010 qui est de 11 cm.

Comme évoqué ci-dessus vis-à-vis de l'écologie du roseau, chaque scénario propose des objectifs de niveau à tenir en moyenne mensuelle. Cependant dans les faits et dans l'hypothèse d'une phase opérationnelle, des variations sur quelques jours seront bien évidemment possibles, par rapport aux autres contraintes spécifiques liées à la régulation du lac (prévention des inondations notamment).

6.1 Scénario n°1 - type « conditions privilégiées pour le roseau »

Il s'agit d'un régime hydraulique regroupant les conditions favorables pour le roseau telles qu'évoquées dans le paragraphe précédent. Pour cela, les caractéristiques suivantes ont été retenues :

- Hiver relativement haut (cote 105 à l'échelle soit environ 447,22 en IGN 69),
- Descente progressive à partir de mai pour accompagner le démarrage de la croissance des roseaux,
- Stabilisation à un niveau « bas » (entre la cote 60 et la cote 40 soit entre 446,77 et 446,57)²⁵ pendant la première quinzaine de juin pour favoriser la sortie des nouvelles pousses de roseaux de l'eau,
- Augmentation jusqu'à un niveau moyen sur juillet/août (cote 70 soit 446,87 en IGN 69),
- Diminution puis stabilisation sur septembre-octobre (cote 40) pour permettre notamment la minéralisation des sédiments exondés,
- Retour progressif à un niveau haut en fin d'automne/début hiver (cote 105).

Le marnage moyen annuel pour ce scénario est de 65 cm

²⁵ Cette cote correspond à la cote d'étiage observée 31 octobre 2009 sur le Lac.

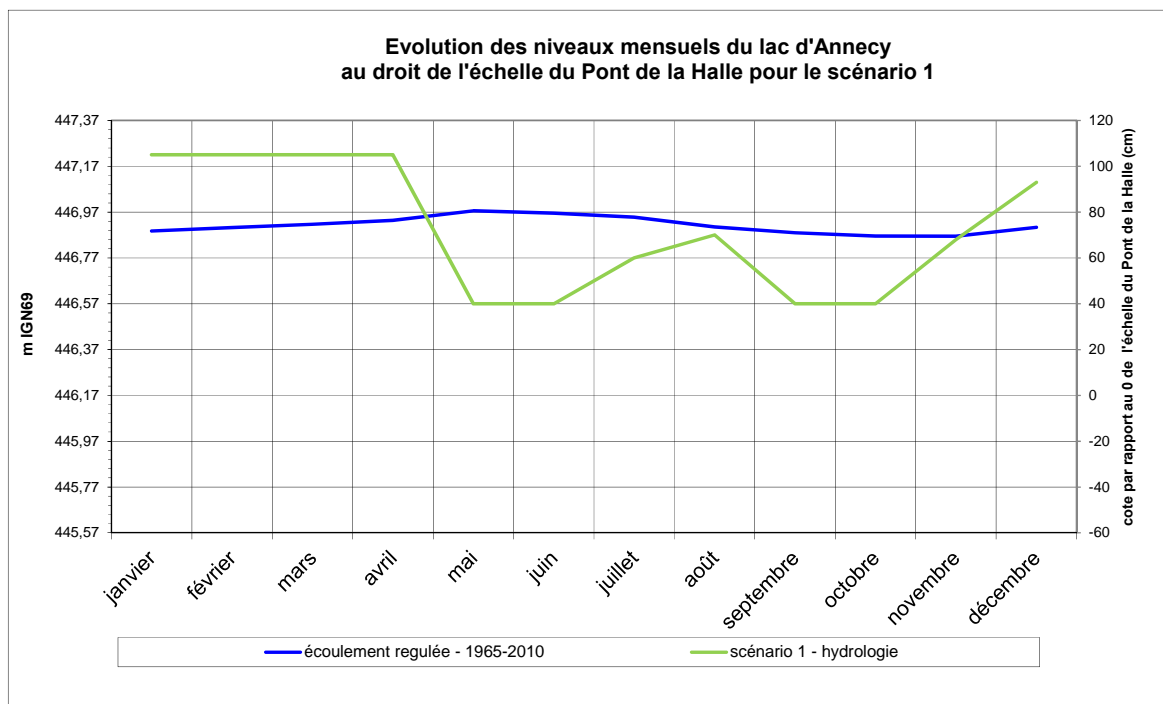


figure 3 Chronique mensuelle des niveaux du Lac dans le cas du scénario 1

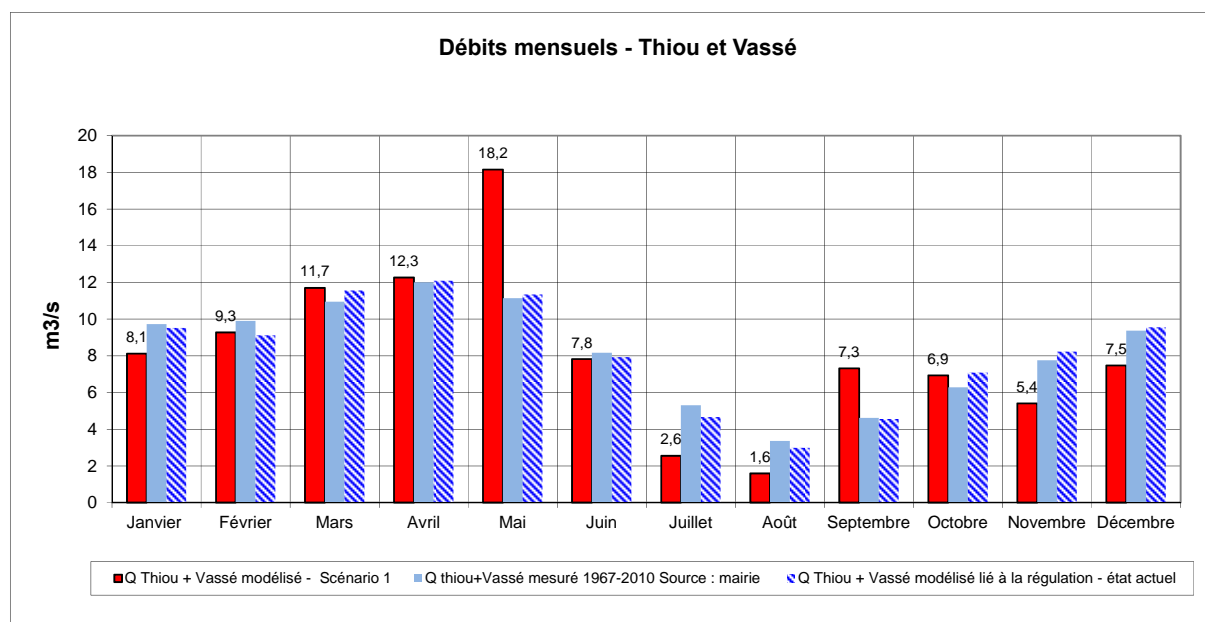


figure 4 Chronique mensuelle du débit du Thiou + Vassé dans le cas du scénario 1

La figure 4 compare les débits mensuels du Thiou (+ Vassé) mesurés par les services techniques de la mairie d'Annecy et les débits mensuels modélisés avec pour hypothèses de régulation de la cote du lac le scénario 1 et les conditions actuelles. Les débits modélisés avec la régulation actuelle sont très proches des débits mesurés ce qui confirme la fiabilité de la modélisation. Comme le montre ce graphe, le scénario 1 induit pour le Thiou un débit minimal mensuel de l'ordre 1,6 m³/s en période d'étiage (août).

6.2 Scénario n°2 - type évolution « régime naturel » appliquée aux conditions actuelles

Il s'agit d'un scénario dont la courbe modélisée en « écoulement libre »²⁶ au cours du module 1 est conservée, mais est transposée au niveau moyen contemporain du Lac, c'est-à-dire autour de la cote 74 (altitude 446,91 IGN69) qui correspond à la cote moyenne observée sur la période 1965-2010.

- Fin d'hiver relativement haut (cote 93 à l'échelle soit environ 447,11 en IGN 69),
- Descente très progressive à partir de fin mai,
- Stabilisation à un niveau « bas » (entre la cote 47 et 43 à l'échelle soit entre 446,64 et 446,6) pendant août et septembre,
- Retour progressif à un niveau haut de 447,01 (84 cm à l'échelle) en fin d'année.

Nous faisons apparaître ci-dessous le graphe illustrant ce scénario d'évolution ainsi que le débit du Thiou modélisé dans ces conditions.

Le marnage moyen annuel pour ce scénario est de 50 cm.

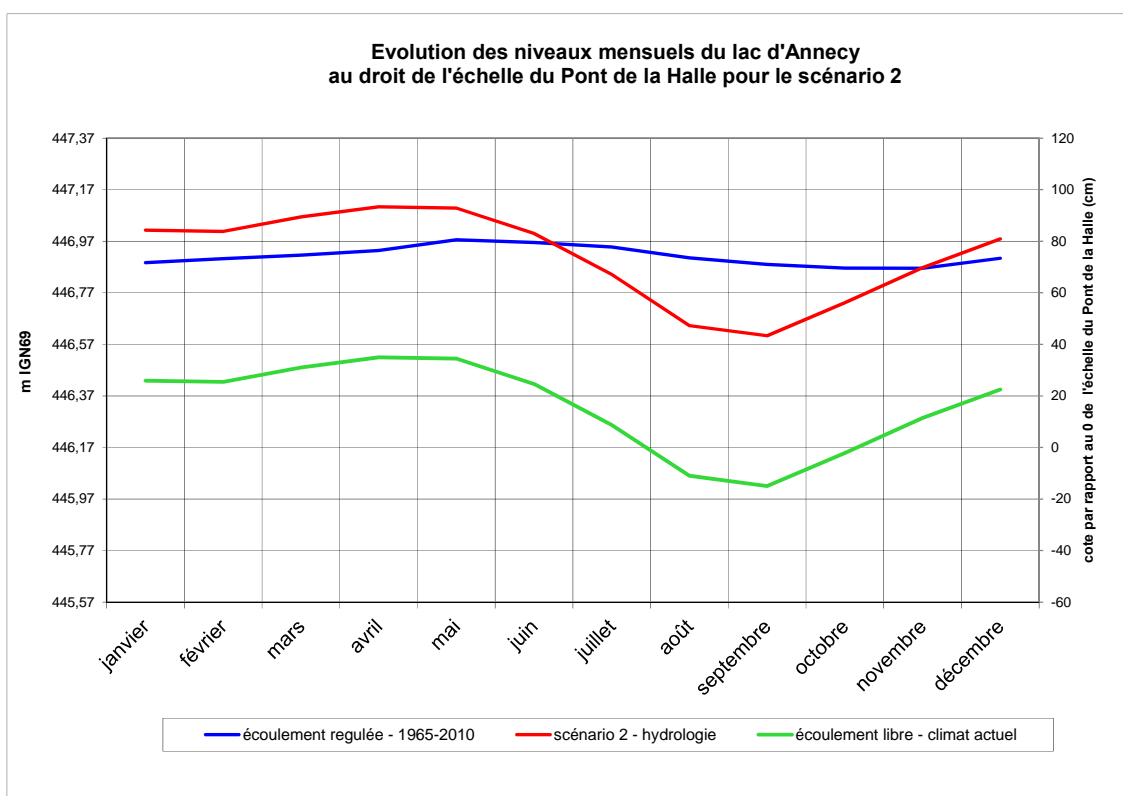


figure 5 Chronique annuelle des niveaux du Lac dans le cas du scénario 2

²⁶ Nous entendons ici « écoulement libre » écoulement en mettant les vannes du Thiou l'horizontal ce qui correspond à la cote -75 cm à l'échelle du Pont de la Halle (445,42 IGN 69). Notons que même en écoulement libre, l'écoulement du Lac est influencé par la section utile du chenal qui a été semble-t-il modifiée par les travaux de 1870.

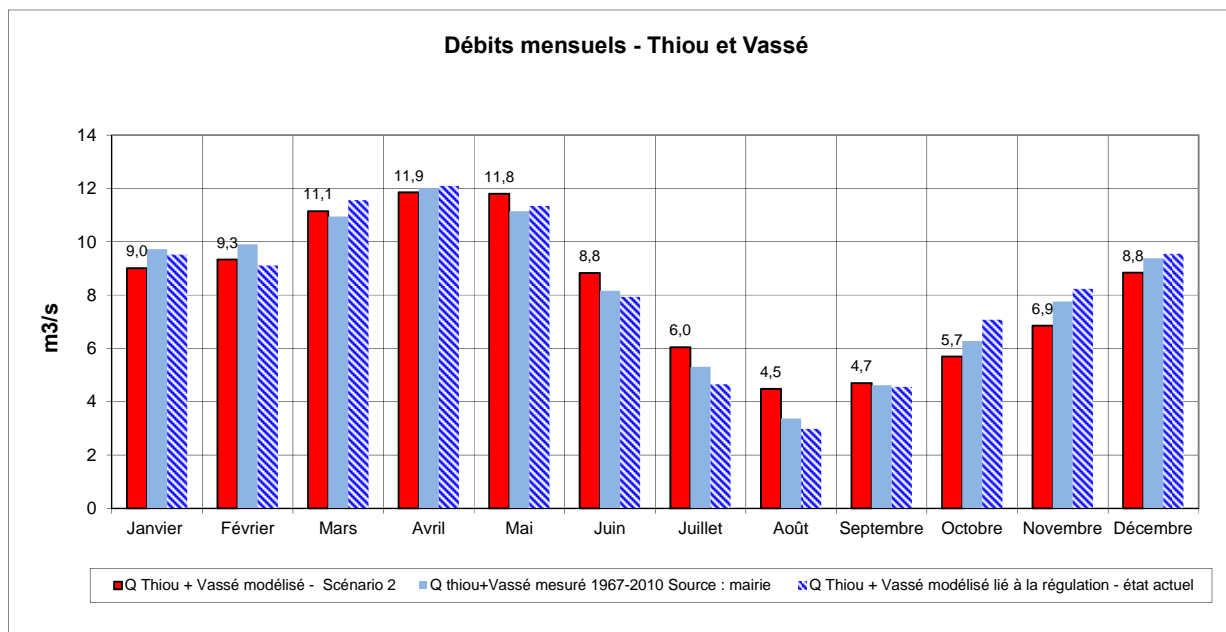


figure 6 Chronique mensuelle du débit du Thiou+ Vassé dans le cas du scénario 2

6.3 Scénario n°3 construit à partir de la courbe de niveaux simulée à l'horizon 2050 mais appliquée (en partie) aux conditions de régulation et climatiques actuelles

Il s'agit d'un scénario tenant compte partiellement de la courbe simulée à l'horizon 2050 dans la fin du module 1, mais transposée aux conditions de régulation actuelles ainsi qu'aux conditions climatiques actuelles.

Les niveaux simulés à l'horizon 2050 dans le module 1 font apparaître notamment :

- Un hiver à niveau moyen dans le but de prévenir les inondations comme aujourd'hui (cote 70 soit 446,87 en IGN 69),
- Un stockage en fin de printemps le plus long possible pour anticiper la sécheresse estivale (cote 90 soit 447,07 IGN 69),
- Une diminution significative jusqu'en juillet-août, comparable à l'épisode de 2003,
- Une augmentation dès que possible en fin d'été pour retrouver un niveau moyen à l'automne.

Le marnage moyen pour ce scénario est de 74 cm.

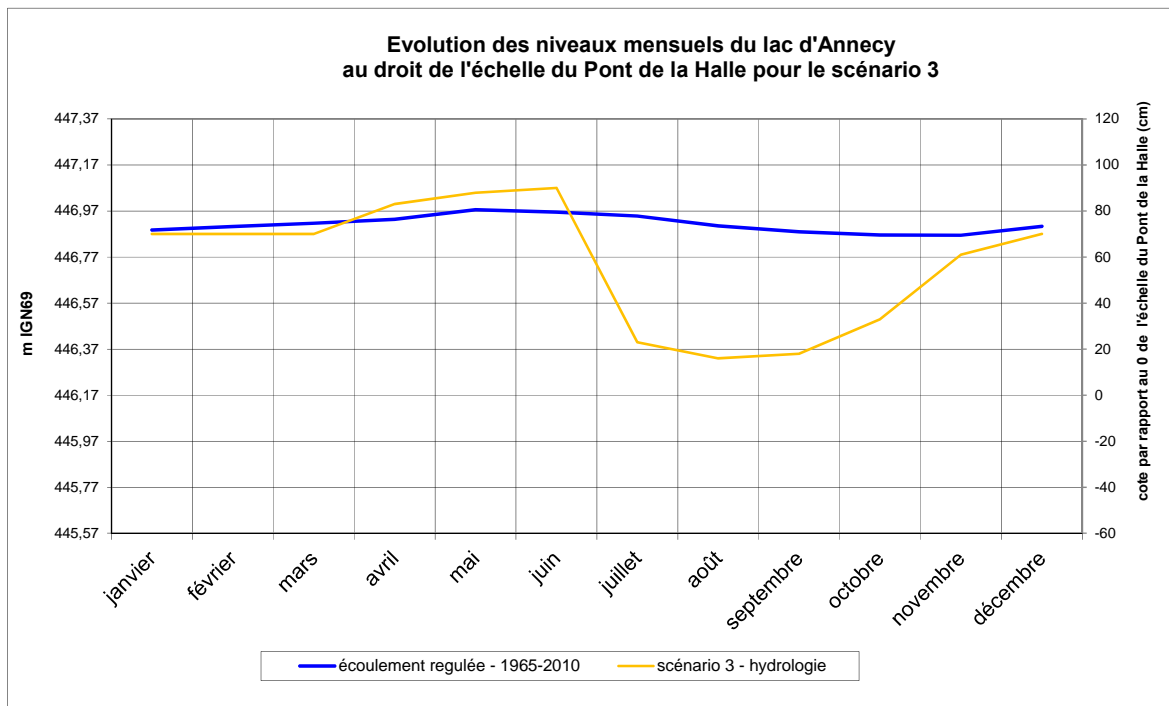


figure 7 Chronique annuelle des niveaux du Lac dans le cas du scénario 3

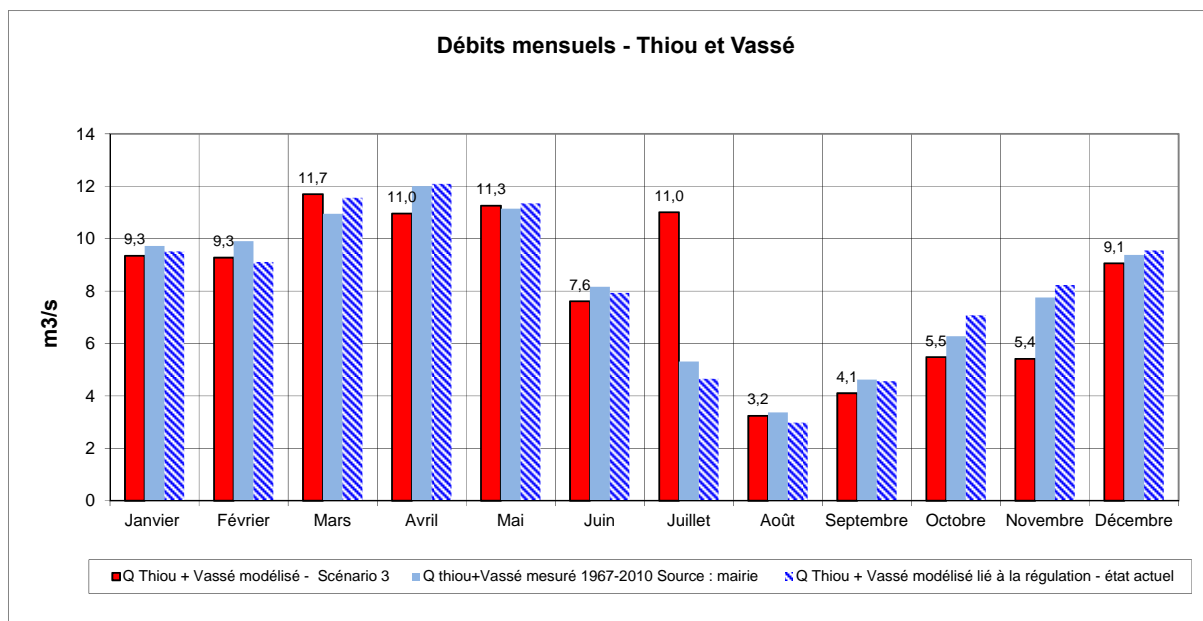


figure 8 Chronique mensuelle du débit du Thiou + Vassé dans le cas du scénario 3

6.4 Tableau de synthèse des trois scénarii

Nous faisons figurer à la suite les valeurs des moyennes mensuelles pour les trois scénarii évoqués dans les paragraphes précédents.

	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	annuel
écoulement libre - climat actuel	446,43	446,42	446,48	446,52	446,51	446,42	446,26	446,06	446,02	446,15	446,28	446,40	446,33
écoulement régulée - 1965-2010	446,89	446,90	446,92	446,93	446,98	446,96	446,95	446,91	446,88	446,87	446,87	446,90	446,91
scénario 1 - hydrologie	447,22	447,22	447,22	447,22	446,57	446,57	446,77	446,87	446,57	446,57	446,85	447,10	446,90
scénario 2 - hydrologie	447,01	447,01	447,06	447,10	447,10	447,00	446,84	446,64	446,60	446,73	446,87	446,98	446,91
scénario 3 - hydrologie	446,87	446,87	446,87	447,00	447,05	447,07	446,40	446,33	446,35	446,50	446,78	446,87	446,75
moyenne -écoulement libre - climat actuel	446,33	446,33	446,33	446,33	446,33	446,33	446,33	446,33	446,33	446,33	446,33	446,33	446,33
moyenne - climat actuel	446,91	446,91	446,91	446,91	446,91	446,91	446,91	446,91	446,91	446,91	446,91	446,91	446,91

7 LES IMPACTS ENVISAGES

Ils sont traités vis-à-vis de :

- la végétation hélophytique en particulier les phragmitaies,
- de la faune en particulier celle dont certaines espèces sont en relation avec les zones littorales du Lac à une période de leur cycle biologique à savoir : l'ichtyofaune, l'avifaune, les odonates et le Castor.

Pour chacun des scénarii envisagés une cartographie des niveaux extrêmes est présentée faisant apparaître les surfaces exondées et inondées concernées.

Précisons que vis-à-vis de la qualité physico-chimique de l'eau, nous pouvons déjà préciser que quelque que soit le scénario envisagé, les impacts seront quasi nuls ou tout du moins négligeables à l'échelle du Lac et cela au vu de sa masse d'eau (volume de l'ordre de 10^9 m³) et des zones concernées par le marnage (secteurs d'interface terre-eau).

7.1 Scénario 1

7.1.1 La roselière aquatique

Comme évoqué précédemment, par construction, il s'agit du scénario hydrologique le plus favorable vis-à-vis des besoins des roselières aquatiques. L'impact écologique à ce niveau, du moins en l'état des connaissances actuelles de l'espèce est clairement considéré comme positif puisqu'en appliquant ce schéma de régulation, on traite l'une des causes principales de dégradation des roselières aquatiques mentionnée abondamment dans la littérature.

Néanmoins, il est important d'être particulièrement prudent quant à la vitesse de réponse de cet habitat (et cela quel que soit le scénario) qui est rarement inférieur à quatre ou cinq années mais dont l'inertie peut être plus élevée en fonction notamment de l'état de dégradation des roselières²⁷. Or, il s'avère que sur Annecy, cet état de dégradation est relativement et localement bien avancé (mitage important, densité faible des roseaux, ...). Ainsi dans les faits, il faut avoir à l'esprit que même en rétablissant les conditions relativement favorables du point de vue hydrologique avec le marnage, le temps de réaction reste difficilement quantifiable et demeure très certainement hétérogène d'un secteur à un autre.

En outre et comme nous l'avons mentionné dans le module 2, il faut bien convenir également du manquement généralisé de retour d'expérience sur ce type de problématique. En effet, si la plupart des grands lacs possédant historiquement des roselières aquatiques ont vu une régulation des niveaux s'installer au cours des années, aucun n'a fait l'objet d'un véritable « retour en arrière » en termes de rétablissement de marnage basé sur les besoins de cet habitat.

Cette réelle absence interroge donc à juste titre quant à la réversibilité de cette dégradation (et notamment la vitesse) même si de fortes suspicions existent, suspicions qui sont basées sur des observations d'autres situations ponctuelles où des recolonisations d'espaces par la phragmitaie aquatique ont pu être observées.

²⁷ G. Blake- 2011 – Communication personnelle

Ainsi dans le cas présent, et comme le précise le § 1, ce scénario comporte trois périodes propices à la phragmitaie aquatique à savoir :

- Deux périodes de « basses eaux » :

- une en fin de printemps qui favorisera la sortie de l'eau rapide des nouvelles pousses, (mentionnons qu'actuellement cette période correspond à la période de haute eaux du Lac – observations 1965 - 2010 illustrée par la courbe bleue des graphes du § 6 de ce module),
- une en fin d'été qui permettra une oxydation des couches superficielles des sédiments nécessaire au processus de minéralisation débouchant à la remise en circulation des nutriments²⁸.

- Une période de « hautes eaux » durant l'hiver qui permettra d'une part un élargissement de la surface de dissipation énergétique des vagues (origine houle et/ou batillage) et d'autre part une dispersion des flottants et de la matière organique en arrière de la roselière (élimination du cordon parfois présent, reconnexion locale entre roselière terrestre et aquatique).

Nous faisons figurer ci-dessous les valeurs de roselières exondées et inondées pour les cotes extrêmes de ce scénario.²⁹

Cote haute (IGN 69) 447,22 soit 105 cm à l'échelle du Pont de la Halle	Secteurs	Surfaces totales inondées (m ²)	Surfaces de roselières terrestres inondées (m ²)	Autres surfaces (boisement...) (m ²)
	Marais de l'Enfer	≥ 13103	13103	(données topo non disponibles)
	Sentier des roselières	7671	5463	2208
	Bout du Lac	12201	12201	-

Cote basse (IGN 69) 446,57 soit 40 cm à l'échelle du Pont de la Halle	Secteurs	Surfaces totales exondées (m ²)	Surfaces exondées actuellement végétalisées (m ²)	Surfaces exondées actuellement non végétalisées (m ²)	Taux d'occupation par la végétation à la cote considérée (%)	Proportion de roselière aquatique exondée par rapport à la surface totale de roselière aquatique du secteur (%)
	Marais de l'Enfer	5343	2617	2726	49	9,7
	Sentier des roselières	4100	2334	1766	56,9	11
	Bout du Lac	1938	1023	915	52,7	10,3

Valeurs de surfaces inondées et exondées pour le Scénario 1

²⁸ Ajoutons que les résultats d'analyses de sédiments effectués en 2009 au sein des roselières ne montrent pas des valeurs très élevées de Carbone organique

²⁹ Ces surfaces ont été calculées grâce au Modèle Numérique de Terrain réalisé lors du Module 3

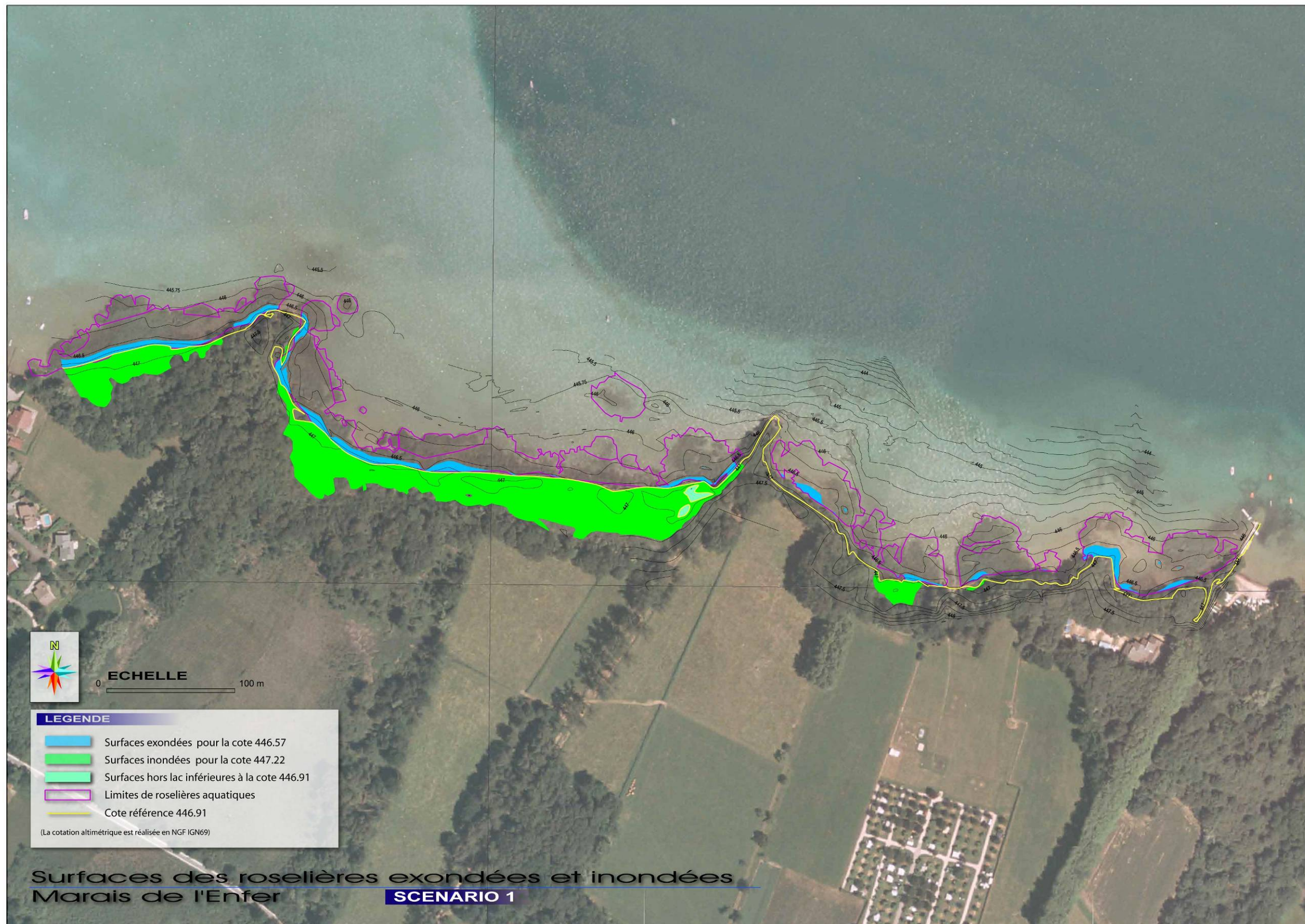
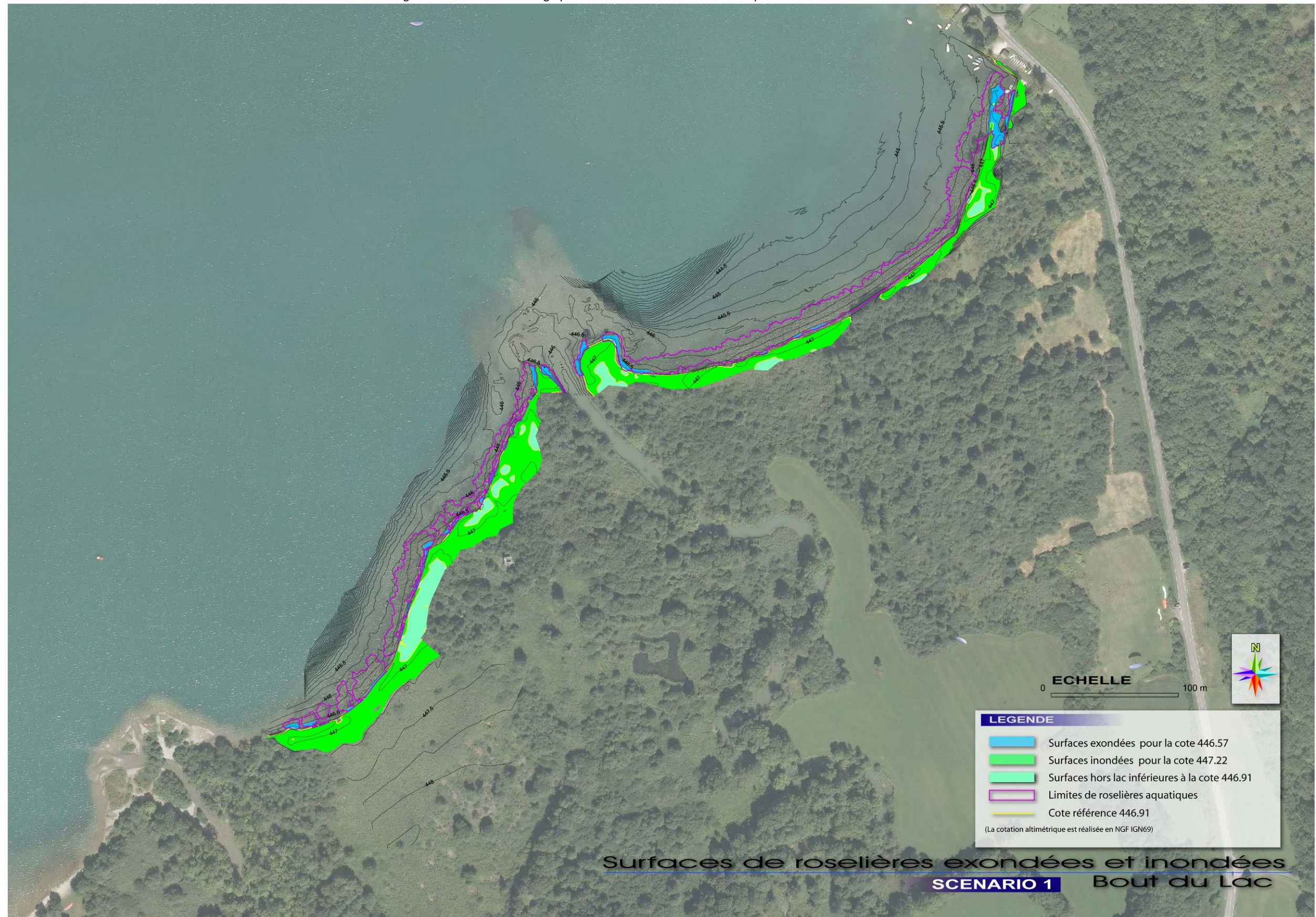


figure 9 Marais de L'enfer - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 1

figure 10 Sentier des roselières - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 1



figure 11 Bout du Lac - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 1



L'application de ce scénario de manière régulière sur le Lac (c'est-à-dire de manière continue tous les ans) permettrait très probablement de gagner des surfaces de roselière aquatique (voire également de la Scirpaie lacustre à *Schoenoplectus lacustris*).

En effet, rappelons que comme le mentionne le module 3, la cote d'exondation maximale pour ce scénario (446,57 soit 40 cm à l'échelle du Pont de la Halle) s'inscrit dans la frange où des surfaces actuellement dénudées pourraient être colonisées : Pour nos trois secteurs (Marais de l'Enfer, sentier des roselières et Bout du Lac), la zone comprise entre la cote de référence 446,91 (74 cm) et cette cote de 446,57 contient en effet entre 9 et 11 % des roselières aquatiques de ces secteurs avec des taux d'occupation³⁰ pour cette dernière cote compris entre 49 % et 56,9 %.

Ainsi la stimulation de la roselière sur cette frange telle qu'évoquée au travers de ces périodes bénéfiques de hautes et basses eaux, laisse prévoir une augmentation potentielle de ces taux d'occupation (à terme jusqu'à 100 % ?).

En outre, il est important de faire observer que la zone d'influence d'un tel rétablissement est plus étendue que les simples surfaces exondées à la cote minimale. En particulier l'abaissement de la cote au début de la période de croissance favorisera les roselières en deçà de la cote 446,57 par une moindre colonne d'eau à franchir pour les pousses localisées plus au large et notamment dans la zone d'érosion.

Par ailleurs, une mise à disposition supplémentaire des nutriments assimilables par les rhizomes se fera également sentir plus au large avec des potentialités supérieures en termes de colonisation et densification. En fonction de cet enrichissement des sédiments du fait de leur exondation régulière quelques développements d'algues benthiques en automne pourraient d'ailleurs potentiellement être observés suite à la remise en eau de ces zones.

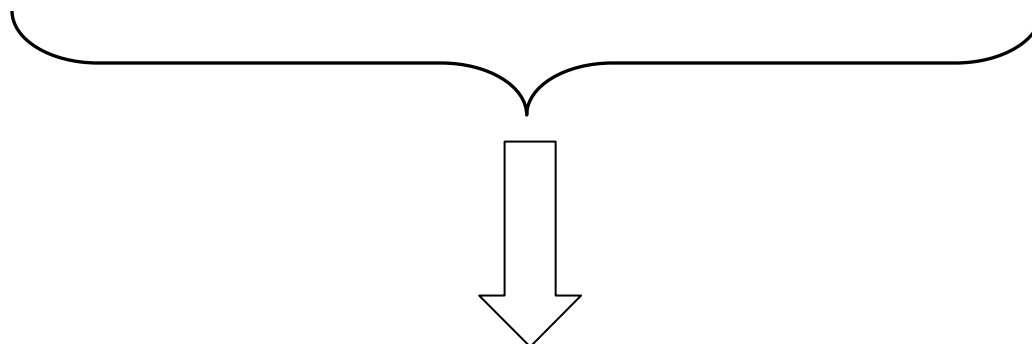
Pour la cote haute (447,22), la mise en eau de zones de roselières actuellement terrestres est importante notamment sur les Marais de l'Enfer et le Bout du Lac puisqu'elle serait respectivement supérieure à 1,3 ha et 1,2 ha.

Concernant les hydrophytes et en particulier les characées, leur quasi absence sur la bande de marnage envisagée (sur les trois secteurs étudiés), laisse présager un impact quasi nul du scénario.

In fine on peut conclure que vu la répartition des roselières sur les trois secteurs étudiés le scénario 1 devrait influencer de manière importante la qualité des roselières, ce que nous pouvons résumer via le tableau ci-dessous :

³⁰ Rapport entre la surface végétalisée exondée et la surface totale exondée

	Cote basse fin de printemps	Cote basse post estivale	Cote haute hivernale
Pour les surfaces exondées à la cote 446,57	Facilite et accélère le développement des pousses de l'année (zone d'accumulation)	Minéralisation des sédiments Remise à disposition des nutriments pour les rhizomes	
Pour les surfaces non exondées	Favorise la sortie des pousses de l'année car diminution de la colonne d'eau - Epargne les réserves des rhizomes (en zone d'accumulation et zone d'érosion)	Profit indirect mais significatif du fait du renforcement des rhizomes	
Pour les surfaces inondées à la cote 447,22			Distribution de la matière organique à l'arrière – atténuation de l'effet de marche entre les différentes roselières (Marais de l'Enfer et Bout du Lac)



**Extension significative des roselières aquatiques : Augmentation des taux d'occupation (colonisation des surfaces dénudées – Développement et stimulation de la zone d'accumulation)
Extension vraisemblable vers le large (stimulation de la zone d'érosion)**

A ce stade et pour finir, il est important de faire observer que les zones actuellement en cours de restauration et de mise en protection (pieux jointifs) répondront très certainement plus rapidement que les autres puisque le facteur « houle et batillage » (dont l'influence est accentué en raison de l'absence de marnage important) aura été résolu sur ces secteurs.

7.1.2 Les oiseaux

Ce scénario de par l'impact positif qu'il aura sur les roselières aquatiques (tant qualitativement que quantitativement) contribuera à termes à offrir à l'avifaune de plus grandes surfaces végétalisées en phragmitaie aquatique ce qui constitue un gain écologique pour cette classe de vertébrés en particulier pour certaines espèces spécialisées comme les rousserolles et certains anatidés

Par ailleurs de manière générale il est important de rappeler qu'au-delà du gain brut en termes d'habitats, une variation du niveau de l'eau au cours d'une période de plusieurs semaines (voire de

mois) favorise le développement d'une flore et d'une microfaune particulières constituant une des bases des chaînes alimentaires lacustres et qui est abondamment exploitée par l'avifaune.

Ainsi notamment la baisse des eaux printanière et post estivale pourrait par exemple favoriser au travers de l'exondation de petites surfaces la fréquentation de certains limicoles (devenus particulièrement occasionnels sur Annecy) ou ardéidés (hérons, aigrettes) en halte migratoire.

Concernant la baisse en période printanière, l'impact potentiel sur la nidification des espèces utilisant cet habitat (Foulque, Grèbe huppé, Rousserole effarvatte) sera faible. En effet, comme déjà évoqué, même pour la cote basse, il demeure des surfaces significatives de roselière en eau dont les conditions d'inondation conviendront à ces espèces qui disposeront donc de secteurs pour se reproduire (la majorité d'entre elles se reproduisent d'ailleurs assez peu près des berges – secteurs les premiers concernés par l'exondation printanière). En outre et c'est un point important à signaler, ces espèces ont la capacité de faire plusieurs couvées lors de l'été (jusqu'à 3 couvées par exemple pour certaines rousserolles).

7.1.3 Le castor

Rappelons que l'espèce fréquente le Lac du Nord au Sud.

Concernant la gestion des niveaux d'eau, nous pouvons d'ores et déjà écrire que eu égard à la relative plasticité de l'espèce ainsi qu'aux amplitudes considérées, l'impact ne sera pas négatif et cela quel que soit le scénario considéré.

Cette espèce semble en effet apte à supporter de grosses variations de niveaux d'eau. Ainsi par exemple et sans préjuger de l'état des populations, sur la Drac et la Dranse, de nombreux indices de présence (voire des individus) ont été observés sur des tronçons subissant d'importantes écluses pour la production d'énergie hydrauliques.³¹

Ainsi, la gestion hydraulique du Lac telle que prévue ici au travers des différents scénarii n'aura selon nous pas ou peu d'influence sur l'espèce dans la mesure où sa ressource alimentaire n'est pas affectée.

En revanche, en termes de gain d'habitat il paraît clair que toute augmentation des surfaces de l'habitat roselière aquatique jouant notamment le rôle de corridor biologique pour l'espèce ne peut lui être que favorable. A ce titre, ce scénario 1 théoriquement le plus bénéfique pour le développement de la phragmitaie aquatique induira donc à moyen terme un impact positif.

7.1.4 Les odonates

Comme évoqué précédemment, aucune espèce n'est exclusivement inféodée à la roselière aquatique. Néanmoins comme pour le Castor, une augmentation de l'habitat roselière telle que pressentie dans le cas de ce scénario, ne pourra qu'avoir un impact positif sur les populations d'odonates de par l'augmentation de la capacité d'accueil, de la ressources alimentaire pour les larves due à l'augmentation vraisemblable en biomasse des autres cortèges d'invertébrés,etc..

³¹ Observations L. Bourgoïn, Q. Dumoutier de SAGE Environnement

Signalons néanmoins que pour les espèces qui fréquentent ce type d'habitat pour pondre éventuellement sur des tiges, une exondation des œufs durant cette période provoquerait leur destruction. Ceci pourrait se produire éventuellement pour des espèces précoces (pour la baisse du printemps) et tardives pour la baisse post estivale.

Rappelons toutefois que la baisse de 30 cm envisagée durant les deux périodes basses ne concerne qu'une faible partie de roselière du côté « berge » au regard de celles qui resteraient en eau. Par ailleurs, les odonates pouvant utiliser les tiges comme support de ponte ne montrent pas de préférence particulière pour les zones proches du rivage. L'impact de la régulation paraît donc très faible voire nul et ne concerne aucune espèce en particulier puisqu'aucune n'est spécialisée sur les roselières.

Au bilan l'impact est bien positif pour cette classe d'invertébrés de par les nombreux bénéfices qu'offrira l'extension des roselières aquatiques.

Pour ce qui a trait aux invertébrés autres que les Odonates, il est important de faire remarquer que d'une manière générale, l'émersion des sédiments favorisant l'oxygénation de ceux-ci pendant la période d'activité des insectes (comme c'est le cas pour les trois scénarii envisagés ici) peut être bénéfique à la présence de certaines larves d'insectes exigeantes.

7.1.5 L'ichtyofaune

En termes de gain brut d'habitat lié à la roselière lacustre, ce scénario constitue un impact indubitablement positif puisque l'augmentation surfacique de cet habitat ne peut qu'augmenter l'offre faite aux espèces dont les alevins les fréquentent en tant que zones refuges et de nourrissage.

Au-delà de ce gain d'habitat dont l'intérêt est net, il convient de s'intéresser aux éventuelles conséquences négatives en termes de rétablissement marnage :

Influence sur les espèces lithophiles de bordure

De par sa faible amplitude (au regard de la colonne d'eau utilisée par la faune piscicole) et la frange rivulaire peu attractive qui sera concernée, l'influence du marnage sur ces espèces est considérablement réduite. L'abaissement envisagé pourra entraîner un « dérangement » nécessitant un déplacement de proche en proche vers une zone sensiblement plus profonde, un phénomène tout à fait commun en conditions non régulées et ne mettant pas en péril les populations considérées.

Influence sur les espèces se nourrissant en berge

Il en va de même pour les espèces s'alimentant en zone littorale. La zone de berge de faible profondeur ne représente qu'une partie de l'habitat de nourrissage, qui s'étend dans une gamme de profondeur supérieure à celle du marnage, généralement sur tout le plateau littoral.

Influence sur les juvéniles présents en berge

Les juvéniles de Gardon, de Perche et de Truite ne sont significativement présents en berge qu'en dessous de la cote 40, et ne seront donc pas affectés directement par le marnage dans le cas de ce scénario (il en est de même pour les deux autres scénarii). De plus, une évolution de la cote d'eau de quelques dizaines de centimètres à l'échelle saisonnière ne posera aucun problème à ces espèces à forte mobilité et plasticité habitationnelle.

Influence sur les espèces qui gagnent la berge peu profonde pour se reproduire

- Cas du Brochet

Les brochets ne recherchent pas de manière exclusive certaines espèces de végétaux pour leur fraie. Leurs œufs peuvent être observés sur toutes sortes de plantes : Elodées, Myriophylle, Fontinale, Hippuris, Carex, Phragmite et diverses autres graminées³². En l'état des connaissances sur le Lac d'Annecy, rien ne permet de conclure quant à la fréquentation plus ou moins prononcée des roselières pour la reproduction. Il est en fait vraisemblable que l'espèce puisse les utiliser tout comme le sont les hydrophytes immergées plus au large sur la berge comme tend à le montrer une étude récente sur le Lac du Bourget pour lequel la reproduction semble se faire majoritairement dans des zones plus profondes (4 à 8m) au sein notamment de tapis de characées.³³

L'augmentation des surfaces de roselière remplaçant des endroits actuellement dépourvus de végétation offrira donc potentiellement un habitat qui pourrait être utilisé par l'espèce (il sera en tous cas plus favorable que les zones dénudées).

Par ailleurs, comme nous l'avons déjà évoqué pour la végétation, l'augmentation des niveaux d'eau en hiver envisagée dans ce scénario 1 avec une trentaine de cm au-dessus du niveau moyen observé ces dernières années (446,91) mettra en eau des surfaces significatives de roselières actuellement terrestres. Ceci concerne notamment les Marais de l'Enfer voire Bout du Lac à termes où la connectivité avec le Lac pourrait être localement rendue effective. Même si la lame d'eau demeurera très faible sur ces secteurs, on ne peut exclure localement que quelques individus soient susceptibles de venir frayer.

- Cas du Corégone et de la Truite fario

Le Corégone, et dans une moindre mesure la Truite, sont les deux seules espèces sur lesquelles la baisse du niveau des eaux pourrait avoir une incidence, car leur phase de reproduction pourrait être affectée directement (Corégone) ou indirectement (Truite).

En effet, le Corégone se reproduit dans des zones de faible profondeur (généralement inférieure à 1 m d'eau), sur des substrats sablo-graveleux, de décembre à janvier. La durée d'incubation est de l'ordre de six semaines (et fonction de la température de l'eau) et les premières larves mobiles sont généralement rencontrées début mars et ce jusqu'à mi avril minimum³⁴. Cette phase hivernale de développement des œufs avant émergence des larves (qui sont alors mobiles et peuvent suivre les fluctuations de niveau) s'avère donc particulièrement sensible, notamment dans le cadre de la présente problématique de marnage. Une exondation significative de la zone littorale durant cette période réduirait considérablement la réussite de la reproduction de cette espèce. Or le scénario 1 ne prévoit pas de phase d'abaissement durant la période sensible qui couvre la reproduction suivie de l'incubation des œufs. L'impact à ce niveau est donc nul. En effet, de décembre à la fin du

³² GILLET C., 1989. Le déroulement de la fraie des principaux poissons lacustres. Hydroécol. Appl (1989). pp.117-143.

³³ S. Cachera & J. Schneiner, 2005. Etude spatio-temporelle de la reproduction du brochet (*Esox lucius*) dans le Lac du Bourget. CISALB & AAPPMA du Lac d'Aiguebelette.

³⁴ CRETENOUY L. et GERDEAUX D., 1996. Croissance et alimentation des larves de Corégone (*Coregonus lavaretus*) dans le Lac d'Annecy de mars à avril 1996. Bull. FT. Pêche Piscic. (1997) 346 : 519-526

printemps le niveau sera maintenu à cote haute – cote 105 puis commencera descendre début avril. Rappelons que la cote moyenne du Lac au cours de ces dernières années est de 446,91 et que les zones de reproduction de cette espèce se localisent donc majoritairement au-dessous de cette cote, cote qui sera atteinte aux environs de début mai.

Précisons même que dans notre cas, la cote 105 cm envisagée durant la période de reproduction pourrait même conduire éventuellement à une augmentation des sites de fraie puisque certains secteurs propices à l'espèce comme les plages de Saint Jorioz et Sévrier seraient partiellement mis en eau.

La Truite quant à elle, gagne les affluents pour trouver des zones favorables à sa reproduction. Cette phase de migration couvre tout l'automne et le début de l'hiver, et survient fréquemment au profit d'un coup d'eau. Le scénario 1 implique une cote basse du Lac durant la fin de l'été avec une remontée amorcée en début d'automne. Il interroge donc quant à un éventuel effet de « marche » au niveau des zones de confluence durant l'automne. En effet, en fonction des configurations morphodynamiques des confluences (Laudon, Ire, Eau morte, Bornette...), de la présence/absence de cônes de déjection, un abaissement du Lac pourrait faire affleurer des plages de dépôt et constituer des radiers potentiellement moins franchissables pour cette espèce. Cette moindre connectivité pourrait alors constituer un facteur limitant (ou retardant) la remontée de ces géniteurs.

En l'état, pour ce scénario et même si le risque de synchronisme entre période d'éventuelle exondation des confluences et début de remontée des poissons demeure faible, de notre point de vue, il serait opportun de mettre en œuvre une évaluation de la connectivité de ces zones qui sont utilisées par l'espèce. Ceci permettrait de qualifier cet éventuel risque de déconnexion pour les cotes post estivales et automnales dont la cote la plus basse est la cote 40 cm à l'échelle du Pont de la Halle.

7.1.6 Les sédiments

Cet aspect concerne les sédiments actuellement inondés en permanence et qui seront par la suite exondés périodiquement tous les ans. Comme nous l'avons évoqué dans le § 1.4.1.b ainsi que dans le § 7.1.1 ci-dessus, une émergence en fin d'été notamment de par les phénomènes d'oxydation induits par l'oxygénation (qui déclenche les processus de décomposition bactérienne si la température est suffisante), favorise la minéralisation de la matière organique et la remise à disposition de nutriments assimilables (Phosphore et Azote notamment) par les rhizomes notamment au niveau de la zone d'accumulation.

Il en résulte logiquement un confortement de la roselière voire une expansion si ces phénomènes sont enclenchés régulièrement et sur une période suffisamment longue.

Le scénario 1 rentre dans ce cadre et donc nous pouvons dire que du point de vue des roselières, la qualité physico-chimique des sédiments sur les parties exondées seront de meilleure qualité.

7.2 Scénario 2

Rappelons qu'il s'agit d'un scénario dont la courbe modélisée en « écoulement libre » au cours du module 1 est conservée, mais est transposée au niveau moyen contemporain du Lac c'est-à-dire autour de la cote 74 (altitude 446,91 IGN69) qui correspond à la cote moyenne observée sur la période 1965-2010.

7.2.1 La végétation

Nous faisons figurer ci-dessous les valeurs de roselières exondées et inondées pour les cotes extrêmes de ce scénario.

Cote haute (IGN 69) 447,10 soit 93 cm à l'échelle du Pont de la Halle	Secteurs	Surfaces totales inondées (m ²)	Surfaces de roselières terrestres inondées (m ²)	Autres surfaces (boisement, ...) (m ²)
	Marais de l'Enfer	12114	9684	2430
	Sentier des roselières	5215	4014	1201
	Bout du Lac	10639	10639	-

Cote basse (IGN 69) 446,60 soit 43 cm à l'échelle du Pont de la Halle	Secteurs	Surfaces totales exondées (m ²)	Surfaces exondées actuellement végétalisées (m ²)	Surfaces exondées actuellement non végétalisées (m ²)	Taux d'occupation par la végétation à la cote considérée (%)	Proportion de roselière aquatique exondée par rapport à la surface totale de roselière aquatique du secteur (%)
	Marais de l'Enfer	4509	2084	2425	46,2	7,7
	Sentier des roselières	3512	1864	1648	53	8,8
	Bout du Lac	1660	915,5	744,5	55,1	9,2

Valeurs de surfaces inondées et exondées pour le Scénario 2

Le marnage moyen annuel pour ce scénario est de 50 cm

Concernant les périodes pénalisantes pour le développement du roseau, ce scénario se différencie du précédent notamment par la période des hautes eaux qui demeure au-dessus de la cote 447 (83 cm) pendant toute la période printanière (Mars à Juin inclus). En outre signalons que la cote des hautes eaux pour ce scénario (447,1 soit 93 cm à l'échelle du Pont de la Halle) est inférieure de 12 cm à celle du scénario 1 (447,22 soit 105 cm à l'échelle du Pont de la Halle).

La période de basses eaux (446,60 en septembre soit 43 cm à l'échelle du Pont de la Halle) est en revanche proche de celle du scénario 1.

A la lumière de ces constatations et pour faire référence au scénario 1, il paraît très probable que l'impact de ce scénario n°2 sur la roselière aquatique soit moins bénéfique pour leur développement. La raison principale est liée au maintien d'un niveau haut en période printanière et ceci même si la période d'exondation post estivale demeure conservée (remise à disposition de nutriments pour les rhizomes, développement potentiel d'algues benthiques en automne) et que des surfaces significatives de roselières actuellement terrestres seraient mise en eau durant l'hiver.

Ajoutons par ailleurs que le marnage moyen annuel de ce scénario est inférieur de 15 cm au scénario précédent.

En l'état pour ce scénario, nous pouvons même nous interroger quant à la possibilité d'un effet négatif dans la mesure où le maintien d'une cote haute durant le début de la phase de croissance des pousses, pourrait à terme contribuer à « l'épuisement » des rhizomes et donc potentiellement à une perte de surface. En effet, précisons qu'avec l'application de ce scénario, la majorité actuelle des roselières qui est localisée au-delà de 50 cm de profondeur³⁵ (cf. module 3) aura 10 à 15 cm d'eau en plus à franchir à la période charnière (fin mai début juin) du développement des pousses ce qui est significatif.

En fait pour ce scénario une incertitude demeure notamment entre deux niveaux d'impact qui s'opposent :

Impacts négatifs du fait de niveaux « hauts » au printemps

Versus

Impacts positifs du fait de niveaux bas de fin d'été

Là encore l'absence de réel retour d'expérience à l'échelle qui nous intéresse, empêche de trancher véritablement et cela même si la littérature et l'état des connaissances actuelles sur la physiologie de la roselière aquatique laisse présager que ce type de situation négative (perte de surface de roselière) soit envisageable sur les roselières d'Annecy.

Concernant les hydrophytes, tout comme pour le scénario 1, leur quasi absence sur la bande de marnage envisagée (sur les trois secteurs étudiés), laisse présager un impact nul du scénario.

7.2.2 La faune

◆ Du point de vue comparatif et d'une manière générale, la différence par rapport au scénario 1 concerne la différence de gain (ou de pertes si impact négatif de ce scénario) en termes d'habitat roselière.

Le scénario envisagé ici offrant moins de conditions favorables pour l'expansion et /ou la densification des roselières aquatiques, il sera donc théoriquement moins bénéfique pour la faune en général fréquentant cet habitat.

L'impact d'un tel scénario pourrait même s'avérer négatif sur la faune s'il conduisait à une perte de surface pour la raison évoquée ci-dessus (hautes eaux au printemps).

Cet impact potentiellement négatif du point de vue habitational concerne donc l'ichtyofaune, l'avifaune, les odonates et le Castor.

³⁵ Par rapport à la cote 446,91

◆ Du point de vue à présent des impacts directs liés aux périodes de hautes et basses eaux, il n'y a en revanche pas de différence majeure avec le scénario 1.

En effet pour ce qui a trait à l'avifaune, il n'y a pas de dissemblance notable à observer par rapport au scénario précédent. La baisse du niveau envisagée étant décalée plus tard en début d'été, il y a également comme pour le scénario 1, potentiellement un impact possible pour quelques nids qui seraient exondés. Cet impact demeure néanmoins tout aussi faible car il ne concerne d'une part qu'une faible frange en surface et d'autre part des espèces se reproduisant plusieurs fois durant une saison (Grèbe huppé, Rousserole effarvate et Foulque en l'occurrence).

Pour les odonates et le Castor, la gestion hydraulique en termes de basses et hautes eaux n'engendrera également pas de différence significative par rapport au scénario 1 dont les faibles impacts peuvent être repris ici.

En ce qui concerne l'ichthyofaune, la cote du Lac étant maintenue durant tout l'hiver ainsi qu'au printemps, l'ensemble des espèces "sensibles" du Lac utilisant les zones littorales pour se reproduire (Corégone en particulier) auront terminé leur cycle de reproduction : ainsi tout risque d'exondation des œufs est exclu. La cote haute pour ce scénario étant 12 cm plus bas que pour le scénario 1, la mise eau d'éventuelles nouvelles zones de fraie sera effective mais néanmoins moins importante que dans ce même scénario.

Par ailleurs, concernant la Truite, la remontée de la cote du Lac (cotes basses pratiquement identiques entre les deux scénarii) pour le scénario 2 est envisagée en tout début d'automne (1 mois plus tôt que pour le scénario 1). Ceci limite encore d'avantage les risques de déconnexion hydraulique des confluences au moment des premières migrations.

In fine, il est important de retenir que l'impact principal pour la faune risque sera étroitement lié au comportement de la roselière en termes de surfaces gagnées (ou perdues).

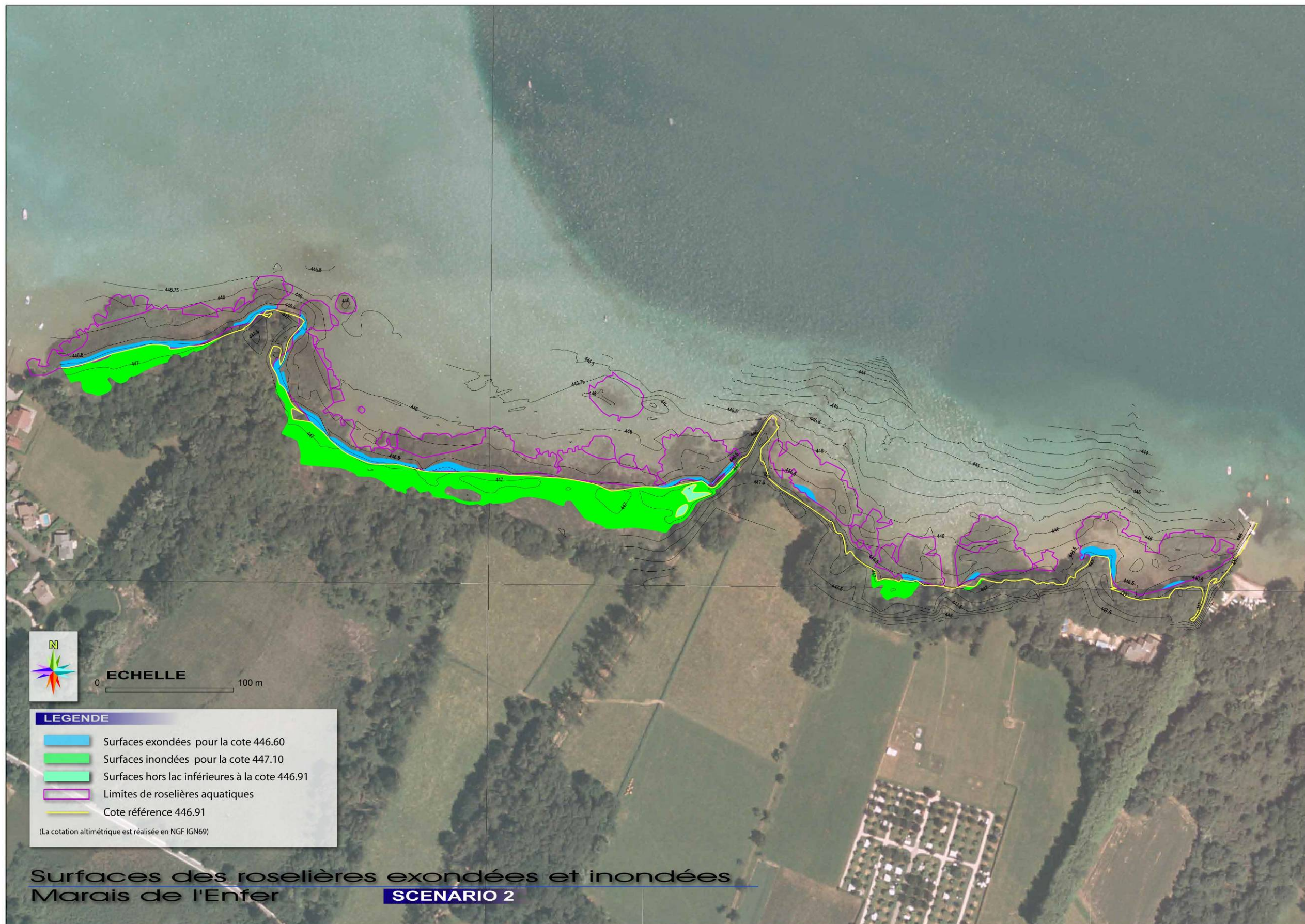
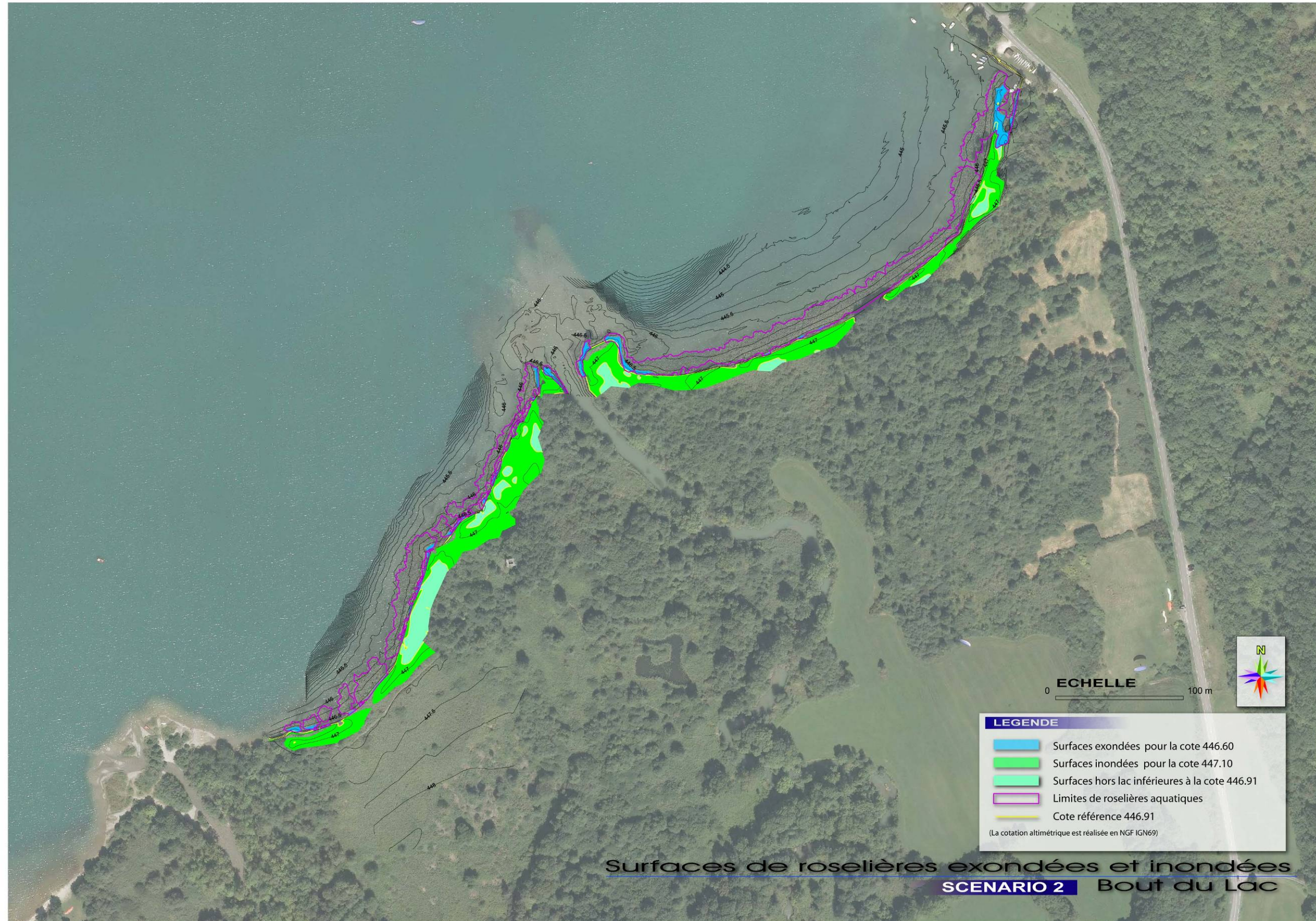


figure 12 Marais de L'enfer - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 2

figure 13 Sentier des roselières - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 2



figure 14 Bout du Lac - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 2



7.2.3 Les sédiments

Comme déjà évoqué dans le § 7.1.6, cet aspect concerne les sédiments actuellement inondés en permanence et qui seront par la suite exondés périodiquement tous les ans durant l'été ou la fin d'été. Dans la mesure où la cote de basses eaux ainsi que la longueur d'exondation sont comparables à celles du scénario 1, ces deux scénarii demeurent équivalents en termes de minéralisation et donc de gains écologiques pour la roselière aquatique.

7.3 Scénario 3

Rappelons qu'il s'agit d'un scénario tenant compte partiellement des niveaux simulés à l'horizon 2050 dans le module 1 avec notamment :

- une période hivernale à niveau moyen (cote 70 soit 446,87 en IGN 69),
- une période de Stockage en fin de printemps le plus long possible pour anticiper la sécheresse estivale (cote 90 soit 447,07 IGN 69),
- une diminution significative sur juillet-août, comparable à l'épisode de 2003 (cote 446,33 soit 16 cm à l'échelle du Pont de la Halle),
- une augmentation dès que possible en fin d'été pour retrouver un niveau moyen à l'automne.

Le marnage moyen pour ce scénario est de 74 cm.

7.3.1 La végétation

Nous faisons figurer ci-dessous les valeurs de roselières exondées et inondées pour les cotes extrêmes de ce scénario 3.

Cote haute (IGN 69) 447,07 soit 90 cm à l'échelle du Pont de la Halle	Secteurs	Surfaces totales inondées (m ²)	Surfaces de roselières terrestres inondées (m ²)	Autres surfaces (boisement,) (m ²)
	Marais de l'Enfer	9822	8038	1784
	Sentier des roselières	4507	3485	1022
	Bout du Lac	9883	9883	-

Cote basse (IGN 69) 446,33 soit 16 cm à l'échelle du Pont de la Halle	Secteurs	Surfaces totales exondées (m ²)	Surfaces exondées actuellement végétalisées (m ²)	Surfaces exondées actuellement non végétalisées (m ²)	Taux d'occupation par la végétation à la cote considérée (%)	Proportion de roselière aquatique exondée par rapport à la surface totale de roselière aquatique du secteur (%)
	Marais de l'Enfer	16232	11876 dont 400 m ² de mélange roselière-scirpaie	4356	73,1	44,1
	Sentier des roselières	12407	8864	3543	71,4	41,7
	Bout du Lac	5491	2878	2613	52,4	29

Valeurs de surfaces inondées et exondées pour le Scénario 3



figure 15 Marais de L'enfer - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 3

figure 16 Sentier des roselières - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 3

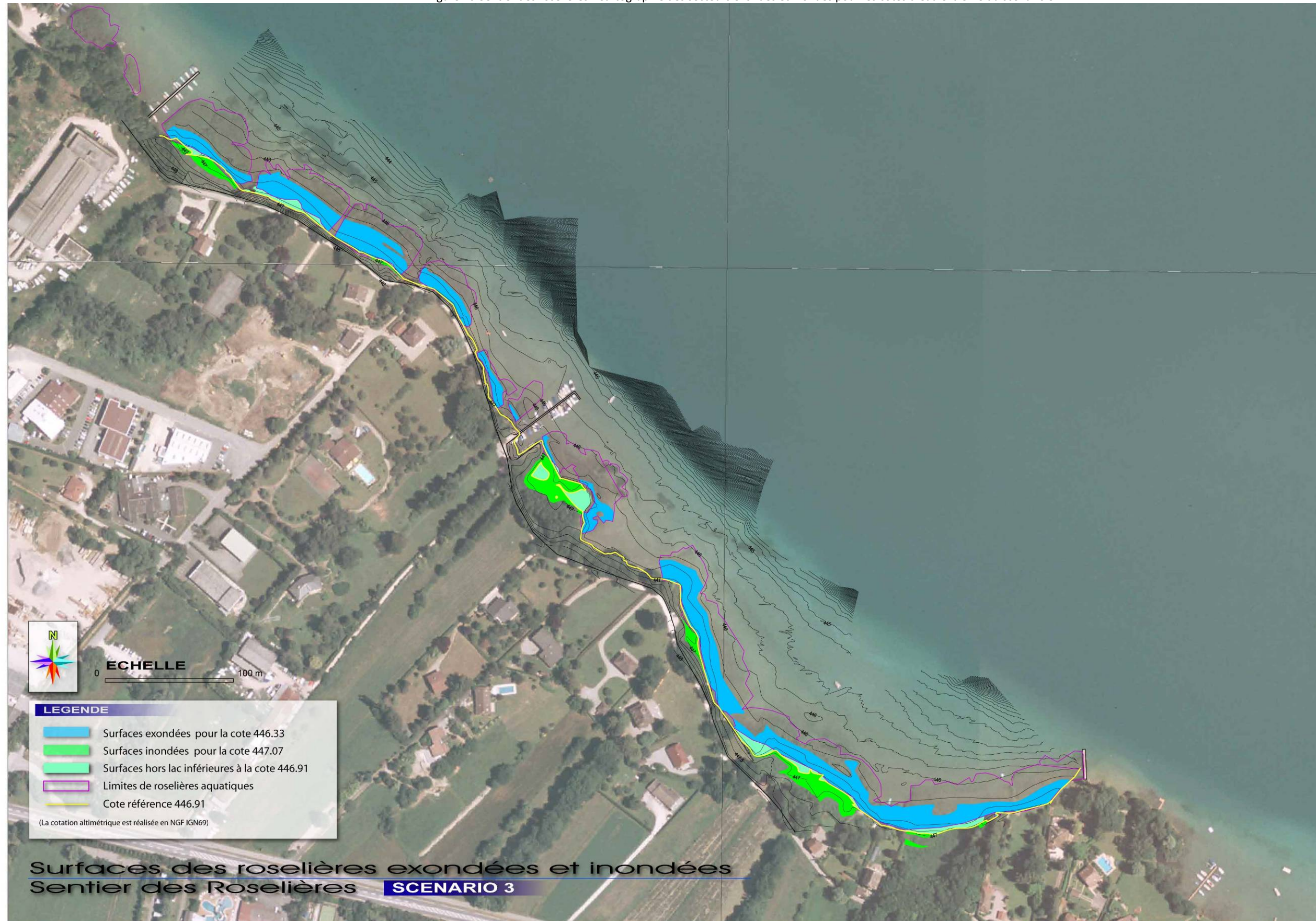
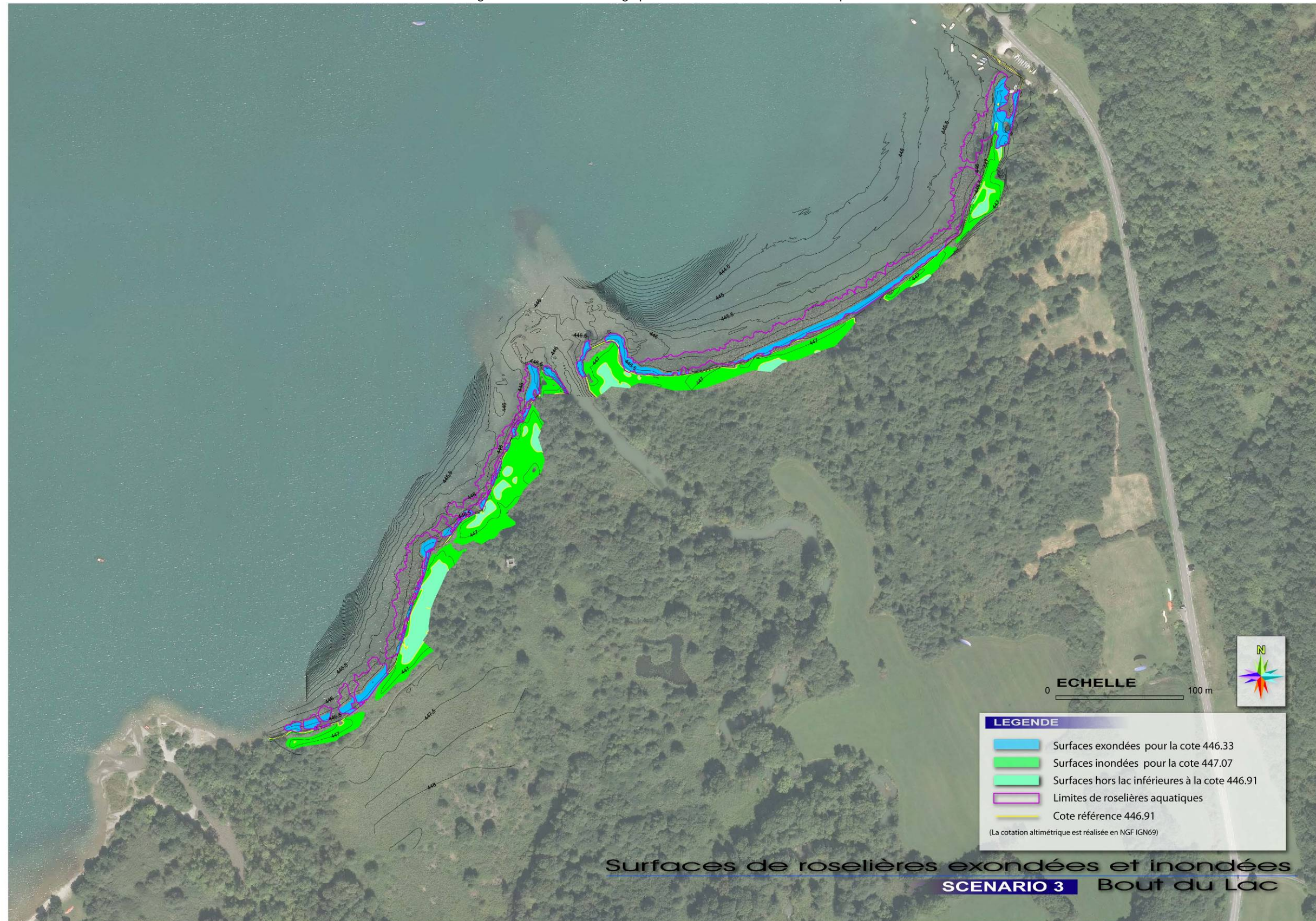


figure 17 Bout du Lac - Cartographie des secteurs exondés et inondés pour les cotes d'eau extrême du scénario 3



Concernant les périodes pénalisantes pour le développement du roseau, ce scénario possède quelques similitudes avec le scénario 2 car on observe un niveau haut jusque tard dans la saison (juin) avec une cote qui demeure au-dessus de la cote 447. Néanmoins signalons que la cote des hautes eaux hivernales pour ce scénario (446,87) est inférieure de 23 cm à celle du scénario 2 et de 35 cm par rapport au scénario 1.

La période de basses eaux est revanche beaucoup plus prononcée et plus étendue que pour les deux premiers scénarii avec des surfaces exondées qui commencent à être significatives par rapport au scénario 1 (facteur entre 2 et 3 suivant les secteurs entre les deux scénarii).

A la lumière de ces constatations et comme évoqué précédemment pour le scénario 2, il paraît très probable que l'impact de ce scénario n°3 sur la roselière aquatique soit moins bénéfique pour leur développement que le scénario 1.

La raison principale est liée au maintien d'un niveau haut en période printanière. Néanmoins et c'est là que s'arrête la similarité avec le scénario 2, l'exondation estivale bien que tardive est relativement rapide (baisse du Lac suivant éventuellement la croissance des pousses du roseau), prononcée (cote 446,33 soit la cote 16 à l'échelle du Pont de la Halle) et assez longue.

Ainsi là encore même si nous pouvons nous interroger sur l'effet négatif d'une cote haute durant le début de la phase de croissances des pousses, l'impact sera semble-t-il moins néfaste que pour le scénario précédent qui observait une lente descente du niveau.

En outre il est probable que l'exondation prononcée et prolongée en été aura un effet positif sur la phragmitaie aquatique : de plus grandes surfaces seront exondées plus longtemps à une période propice à la minéralisation : L'expansion de la roselière vers le large avec une densification de la roselière actuelle sont des hypothèses tout à fait possibles pour ce scénario. Tout comme les scénarii précédents cette forte exondation pourrait s'accompagner de quelques développements d'algues benthiques en automne.

A contrario, du fait de cette longue période à une cote basse (par rapport aux deux autres scénarii), il est pertinent de s'interroger sur l'évolution du cortège floristique à proximité de la berge actuelle : cette période d'exondation en plein été pourrait en effet à terme favoriser la colonisation par d'autres espèces moins caractéristiques mais simplement hygrophiles (*Lythrum salicaria*, *Lycopus europaeus*, *Carex sp.* ...).

In fine il n'est pas impossible d'aboutir à une évolution de la zonation de la végétation qui suivrait peu ou prou l'évolution de la cote moyenne de ce scénario (446,75 soit 58 cm à l'échelle du Pont de la Halle). Cela pourrait se traduire par un léger déplacement de la roselière vers le large et une colonisation des zones de berge actuelle (coté Lac) par des espèces non héliophytes annuelles ou bisannuelles.

Là encore l'absence de réel retour d'expérience à l'échelle qui nous intéresse empêche de trancher véritablement et il faut rester prudent quant aux hypothèses qui viennent d'être émises.

Concernant les hydrophytes, tout comme pour les deux scénarii précédents, leur quasi absence sur la bande de marnage envisagée (sur les trois secteurs étudiés), laisse présager un impact nul du scénario.

7.3.2 La faune

◆ Du point de vue comparatif et d'une manière générale, la différence par rapport aux autres scénarii concerne le gain en termes d'habitat roselière.

Le scénario envisagé ici paraissant intermédiaire entre le scénario 1 et 2 en termes d'expansion et /ou la densification des roselières, il apparaît donc logiquement également médian pour la faune fréquentant cet habitat.

Le déplacement éventuel de la zonation de la végétation évoquée ci-dessus avec une certaine diversification en berge pourrait voir un enrichissement de la faune et dans la mesure où le maintien (voire l'expansion) de la roselière est effectif.

◆ Du point de vue des impacts directs liés aux périodes de hautes et basses eaux, les différences avec les autres scénarii concernent à priori l'avifaune et la Truite.

En effet pour l'avifaune, la forte et longue exondation estivale pourrait commencer à être impactante pour les espèces utilisant les roselières à cette période (Grèbe huppé, Rousserole effarvate et Foulque en l'occurrence) et dépendant du niveau d'eau.

Le niveau d'impact demeure néanmoins largement à nuancer en fonction d'une part de la surface de roselière restant en eau durant cette période (entre 70 et 80 %) et d'autre part de l'expansion de la roselière qui pourrait être observée à termes en suivant cette régulation.

Pour les odonates et le Castor, la gestion hydraulique en termes de basses et hautes eaux n'engendrera également pas de différence significative par rapport aux scénarii précédents dont les faibles impacts peuvent être repris.

En ce qui concerne l'ichyofaune, en lien avec ce qui a été déjà évoqué, la cote haute de la chronique étant maintenue durant tout l'hiver ainsi qu'au printemps, l'ensemble des espèces "sensibles" du Lac utilisant les zones littorales pour se reproduire (Corégone en particulier) auront terminé leur cycle de reproduction : ainsi tout risque d'exondation des œufs est exclu.

Concernant la Truite, la remontée relativement lente de la cote du Lac place ce scénario en première place quant aux interrogations sur la connectivité hydraulique des confluences en milieu d'automne (cote 60 mi-novembre).

Ainsi pour ce scénario il paraît indispensable de mettre en œuvre une évaluation de la connectivité au niveau des confluences pour les cotes envisagées en début et à l'automne.

Précisons que les cotes hivernales bien que plus basses que l'enveloppe actuellement observée sur les chroniques 1965-2010 en demeurent néanmoins proches et ne font pas craindre à priori de risque de discontinuité hydraulique durant cette période.

7.3.3 Les sédiments

Comme déjà évoqué dans le § 7.1.6, cet aspect concerne les sédiments actuellement inondés en permanence et qui seront par la suite exondés périodiquement tous les ans durant l'été. Dans la mesure où pour ce scénario, les surfaces exondées sont plus importantes que pour le scénario 1 et à

une période de plein été, la minéralisation s'effectuera sur des surfaces également plus grandes (plus vers le large) et pourrait être plus efficace du fait de plus hautes températures. In fine, la remise à disposition de nutriments pour ce scénario 3 pourrait donc être plus importante que pour le scénario.1

7.4 Les indicateurs à suivre

Le caractère expérimental d'un retour à un marnage significatif impose quel que soit le scénario retenu, la mise en œuvre d'un suivi pour évaluer réellement l'impact d'un tel rétablissement sur la végétation aquatique et la faune

◆ Ainsi concernant la roselière, il est important de pouvoir mesurer quantitativement l'évolution qu'induirait la nouvelle régulation. Dans ce but il est proposé deux types de mesure :

- Cartographie précise établie à l'aide d'outils comme les GPS haute précision comme celle établie en 2007 :

Pas de temps d'observation 5- 6 ans.

- Mise en place de points de repères en bordure de certaines roselières actuelles ceci afin de pouvoir observer rapidement sur le terrain le comportement de la phragmitaie en termes de gain ou de perte. Ceci peut être associé à un relevé succinct d'informations complémentaires au sein de quadrats (densité, hauteur, inflorescence, espèces compagnes éventuelles). Nous faisons figurer ci-dessous un schéma de principe de ce moyen simple d'observation.

Notons que ce suivi par la mise en place de repères pourra s'effectuer dans des zones qui font actuellement l'objet de protection (installation de pieux jointifs) et dans des zones qui n'en reçoivent pas, ceci de manière à pouvoir observer d'éventuelles différences en termes de cinétique d'évolution.

Pas de temps d'observation : 3 ans

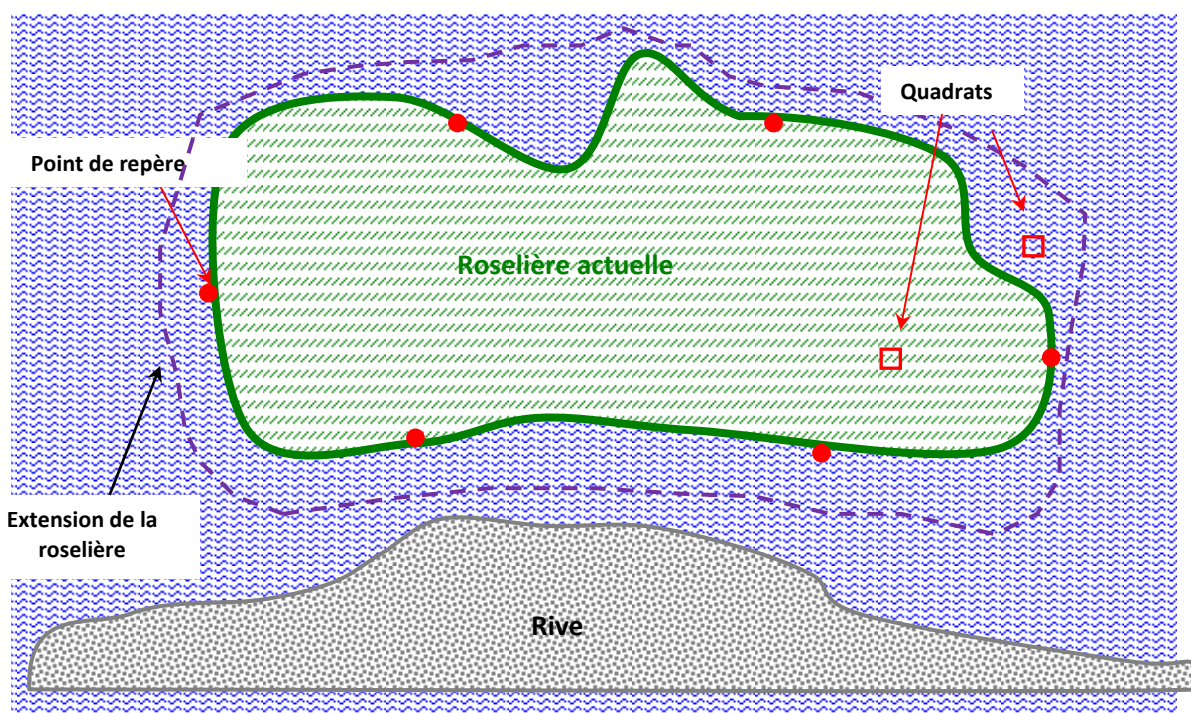


Schéma de piquetage de la roselière actuelle pour observer son évolution – cas d'une progression

◆ Pour la faune, il paraît important :

- D'évaluer quel que soit le scénario envisagé la connectivité hydraulique des confluences pour les cotes basses envisagées en début d'automne de manière à pouvoir s'assurer que ces cotes ne posent pas de problème particulier concernant la migration de la Truite. Ceci concerne en particulier le scénario 3 dont la période de remontée pourrait coïncider avec le début de la migration.

Pas de temps d'observation : Il s'agit d'un constat unique puisque les scénarii fixent les cotes basses

- De pouvoir qualifier concrètement les éventuelles nouvelles zones de fraie pour le Corégone qu'induirait une montée des eaux durant la période hivernale (scénario 1 et 2).

Pas de temps d'observation : Il s'agit d'un constat unique puisque les scénarii fixent les cotes basses

- De suivre quelques zones test de roselière du point de vue de l'avifaune nicheuse (mise en place d'indice type IPA ou équivalents - Cf. étude LPO 2010) et hivernante pour constater de l'éventuelle évolution tant qualitative que quantitative. Comme nous l'avons déjà évoqué, il est en effet certain qu'une modification significative de l'habitat roselière lacustre soit accompagnée d'une évolution des effectifs voire d'une évolution de la richesse spécifique.

Pas de temps d'observation : tous les 2 à 3 ans

◆ Suivi physico-chimique de sédiments

Le but est de pouvoir suivre l'évolution des paramètres physico-chimiques des sédiments qui seront exondés raisonnablement sur la base des prélèvements déjà effectués en 2009 et en s'intéressant en particulier aux paramètres pouvant avoir une influence sur la croissance des végétaux.

Dans cette perspective il est proposé pour chaque prélèvement d'analyser les paramètres suivants

- le Carbone organique total
- la granulométrie
- le potentiel redox
- le Phosphore assimilable (PO₄)
- l'Azote total (non dosé 2009 mais proposée ici pour permettre quelques comparaisons et quelques rapport (C/N en particulier)).

En termes de localisation de prélèvements et afin d'effectuer des comparaisons, il est intéressant de suivre des zones exondées et non exondées, en roselière (avec un prélèvement en zone d'accumulation et un prélèvement en front) et hors roselière.

Nous faisons figurer ci-dessous un schéma de principe de localisation de ces prélèvements.

Pas de temps d'observation : tous les 2 à 3 ans

● Point de prélèvement

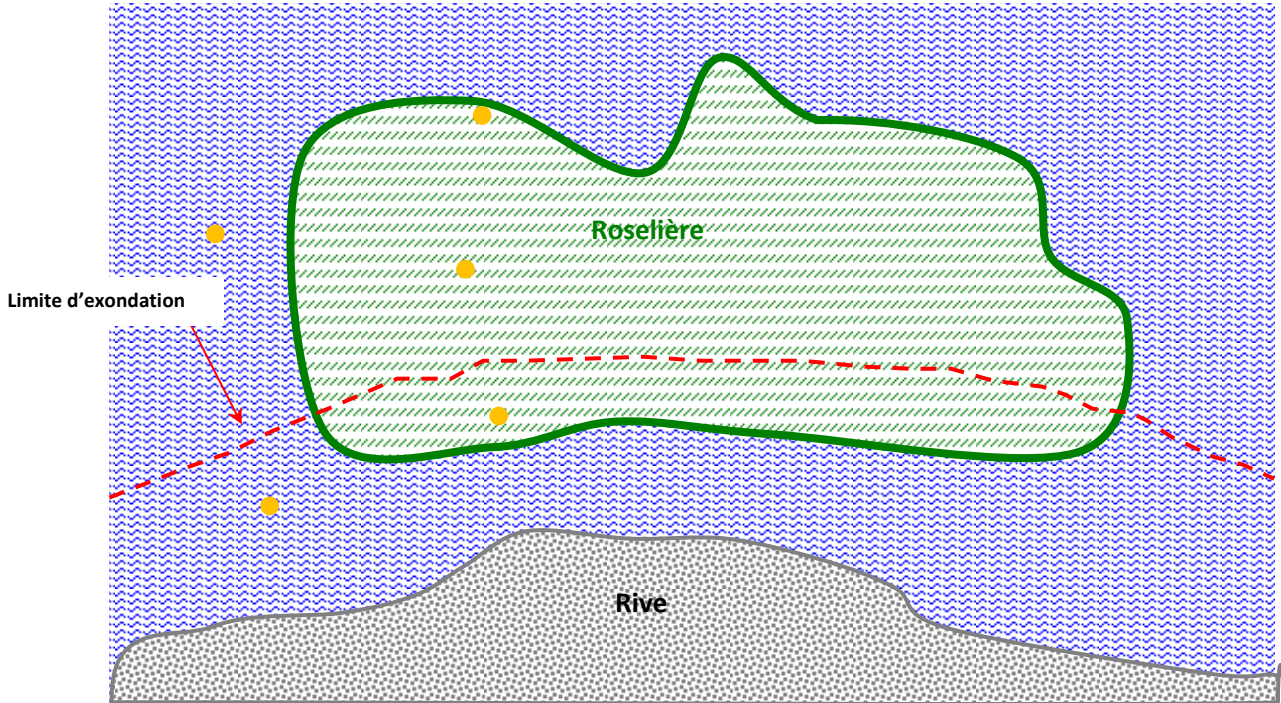


Schéma de principe prélèvement de sédiments – Total 5 prélèvements

8 CONCLUSION

Ce module consacré à l'étude de trois scénarii réalistes de rétablissement de marnage sur le Lac d'Annecy a permis de dégager des tendances évolutives sur quelques indicateurs (végétation héliophytique, avifaune, odonates, Castor, ichtyofaune) en l'état des connaissances actuelles et en s'affranchissant des contraintes socio-économiques.

Ces scénarii hydrologiques construits à partir des modules précédents ont été retenus en fonction de différentes clés d'entrée.

Ainsi :

- le scénario 1 est basé sur les besoins écologiques d'une roselière aquatique avec notamment deux périodes de basses eaux et une période de hautes eaux,
- le scénario 2 reprend quant à lui une évolution des cotes « en régime naturel » (modélisé au module 1) mais transposée à la cote moyenne actuelle,
- le scénario 3 tient compte partiellement des niveaux simulés à l'horizon 2050 dans le module 1.

D'une manière générale, il ressort de l'analyse que concernant la roselière aquatique, le scénario 1 de rétablissement de marnage demeure logiquement et par construction le plus propice à l'expansion des roselières tant vers le front des roselières qu'au sein des zones d'accumulation actuelles dont les taux d'occupation pourraient être réellement améliorés.

Le scénario 2 interroge quant à lui sur deux niveaux d'impact qui s'opposent (hautes eaux au printemps et début d'été *versus* basses eaux en fin d'été) et dont la résultante pourrait faire basculer vers une expansion (impact positif) ou une dégradation des roselières (impacts négatifs).

Le scénario 3 semble quant à lui médian entre les deux scénarii puisqu'avec un niveau estival le plus bas et cela sur plus de deux mois, l'impact positif qu'induirait cette phase compenserait certainement les niveaux assez hauts jusqu'en fin de printemps qui par ailleurs seront baissés rapidement (et donc parallèlement à la croissance des pousses de roseaux). La phase estivale de ce scénario interroge même quant à un éventuel déplacement de la zonation des roselières aquatiques vers le large avec une évolution du cortège floristique à proximité des berges actuelles qui pourraient voir apparaître des espèces hygrophiles moins caractéristiques d'un milieu purement aquatique.

Concernant la faune, deux approches sont nécessaires pour résumer les niveaux d'impact :

- Une première approche concerne le gain ou la perte à termes de l'habitat roselière en fonction du scénario envisagé,
- une seconde approche s'intéresse davantage aux éventuels impacts dus aux périodes de basses eaux et hautes eaux envisagées au cours de l'année.

Ainsi il apparaît clairement que pour la première approche, la positivité ou la négativité des impacts sur la faune en général sera étroitement liée à la réaction des roselières au vu du marnage envisagé. Ainsi, un scénario favorisant une expansion et une densification de la phragmitaie aquatique sur le Lac sera plus propice à la faune que celui induisant une stagnation voire une dégradation de cette dernière. Là encore il semble qu'au vu des éléments évoqués précédemment les scénarii 1 et 3 se détachent du scénario 2 puisqu'ils seraient à priori plus favorables (surtout le 1) au développement des roselières.

Pour la seconde approche, il ressort essentiellement que les impacts demeurent relativement comparables et faiblement négatifs (notamment pour les périodes de basses eaux) d'un scénario à l'autre et cela pour ce qui concerne l'avifaune les odonates, et le Castor, et la quasi-totalité de la faune piscicole. Néanmoins concernant la Truite, des vérifications sont à faire sur la connectivité hydraulique des confluences pour les cotes basses envisagées dans le cadre du scénario 1 et surtout

le n°3, ceci afin de s'affranchir de tout risque de limitation quant aux remontées de géniteurs en début de période de reproduction.

Pour conclure, il est important d'avoir présent à l'esprit que le rétablissement d'un marnage sur le Lac d'Annecy peut être plus ou moins bénéfique sur les roselières aquatiques en fonction notamment des épisodes de hautes eaux et basses eaux retenues. Dans le cadre d'une régulation réaliste en termes de cotes extrêmes, il existe au jour d'aujourd'hui des conditions hydrologiques techniquement possibles à mettre en œuvre qui pourraient être favorables à une expansion et/ou une densification des roselières aquatiques du Lac.

C'est ce que montre au moins un des scénarii étudiés dans le cadre de la présente étude. Outre la phragmitaie aquatique, ce type de scénario aura au final un impact écologique globalement positif notamment sur les espèces animales fréquentant de manière plus ou moins continue cet habitat.

Néanmoins, il convient d'être prudent quant à la vitesse de réponse de cet habitat et cela quel que soit le scénario envisagé dans la mesure où d'une part cette cinétique est liée à l'état de dégradation locale des roselières et d'autre part on constate un réel déficit de retour d'expériences à ce niveau.

9 FICHES DE SYNTHÈSE

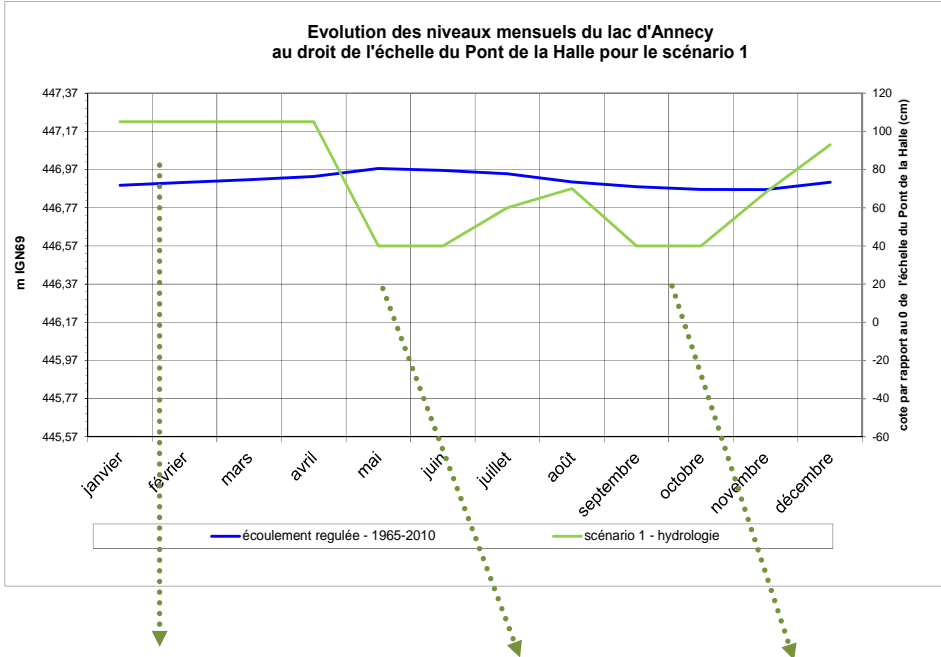
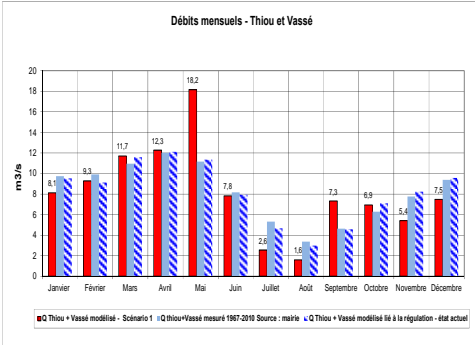
Nous faisons figurer à la suite une fiche de synthèse par scénario résumant les éléments principaux évoqués dans les paragraphes précédents.

SCENARIO n°1

⇒ Construit à partir des conditions les plus favorables pour les roselières

HYDROLOGIE [MODELISEE]

→ Scénario compatible avec les apports des affluents du Lac
→ Garantit un débit [Thiou + Vassé] même en été
(estimation août : 1,6 m³/s)



IMPACTS PHYSIQUES [MODELISES]

MARNAGE ANNUEL

Rappel marnage annuel moyen 1965-2010 : 11 cm

Scénario n°1
65 cm

PERIODE DE HAUTES EAUX

⇒ Proportion de roselières terrestres inondées / surface roselières aquatiques du secteur

Marais Enfer	Sentier rosol.	Bout du Lac
49%	26%	123%

PERIODES DE BASSES EAUX

⇒ Surface totale exondée (végétalisée ou non) / surface roselières aquatiques du secteur

Marais Enfer	Sentier rosol.	Bout du Lac
20%	19%	20%

IMPACTS ECOLOGIQUES [ESTIMES]

	PERIODE DE HAUTES EAUX	PERIODES DE BASSES EAUX
Qualité des sédiments littoraux	☺☺ : Dispersion de la matière organique accumulée	☺☺☺ : Minéralisation des sédiments par mise en assec
Végétation héliophytique (roseaux principalement)	☺☺☺ : Amélioration de la physiologie du roseau par diminution de l'accumulation de matière organique (réduction de « l'étouffement »)	☺☺☺ : Mai-juin, facilite la sortie des nouvelles pousses par diminution de l'épaisseur de la tranche d'eau à franchir (niveaux adaptables en fonction des autres enjeux) ☺☺☺ : Bénéfique pour la roselière du fait de la remise à disposition de nutriments occasionnée par la minéralisation post-estivale (mais risque de développement d'algues benthiques en automne ?)
Faune aquatique fréquentant le littoral (groupes cibles : poissons, avifaune, odonates, castor)	☺☺☺ : Marnage ⇒ Atténuation notable de l'érosion mécanique liée aux vagues (dissipation sur une surface importante de la roselière) ☺☺☺ : Extension potentielle des roselières aquatiques : développement et confortement des surfaces actuelles - colonisation des surfaces dénudées – accroissement vers le large	☺☺☺ : Impact positif à terme pour l'ensemble de la faune si extension des surfaces de roselières aquatiques (du fait de l'augmentation de cet habitat naturel) ☺☺☺ : Hautes eaux en période hivernale potentiellement positives pour la reproduction du corégone, dans une moindre mesure pour le brochet ☺ : Pas d'impact significatif pour la faune par rapport aux variations saisonnières extrêmes du niveau ☺☺☺ : Pour la truite, connectivité hydraulique des affluents du lac au début de l'automne à vérifier

DIVERS

- Remarque : vitesse de réponse certainement très hétérogène d'une zone à l'autre du fait de l'état de dégradation, qui est relativement et localement bien avancé (mitage important, densité faible des roseaux...).

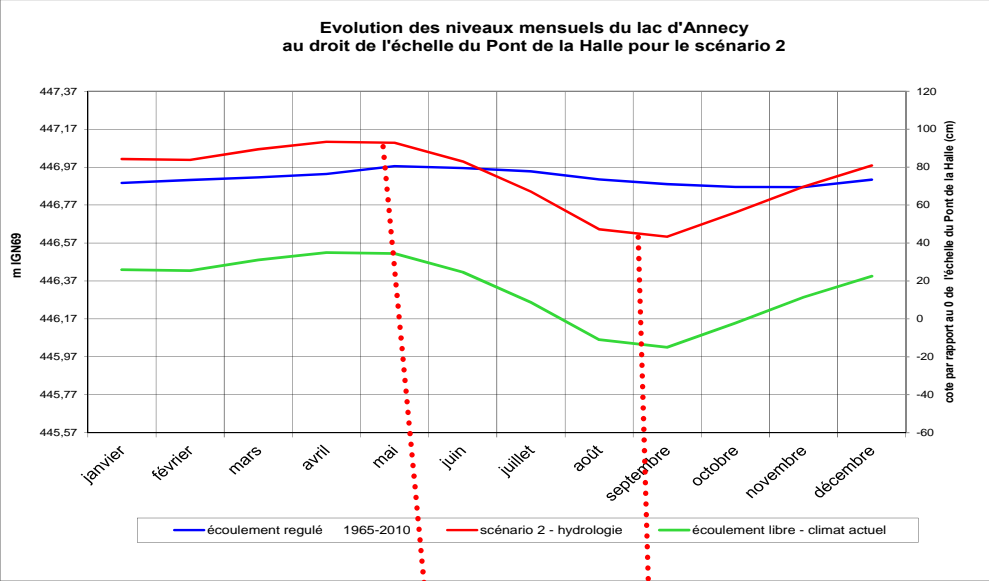
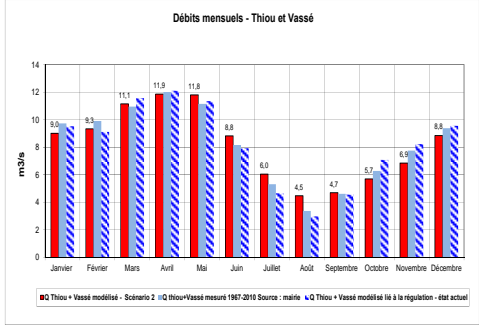
- En cas de mise en place du scénario, différents indicateurs à suivre pour évaluer les impacts sur l'écosystème (cf. rapport d'étude).

SCENARIO n°2

⇒ Construit à partir des conditions modélisées en « écoulement libre » du lac, mais transposées au niveau moyen contemporain observé entre 1965 et 2010

HYDROLOGIE [MODELISEE]

→ Scénario compatible avec les apports des affluents du Lac
→ Garantit un débit [Thiou + Vassé] même en été
(estimation août : 4,5 m³/s)



IMPACTS PHYSIQUES [MODELISES]

MARNAGE ANNUEL

Rappel marnage annuel moyen 1965-2010 : 11 cm

Scénario n°2
50 cm

PERIODE DE HAUTES EAUX

⇒ Proportion de roselières terrestres inondées / surface roselières aquatiques du secteur

Marais Enfer	Sentier rosol.	Bout du Lac
36%	19%	107%

PERIODE DE BASSES EAUX

⇒ Surface totale exondée (végétalisée ou non) / surface roselières aquatiques du secteur

Marais Enfer	Sentier rosol.	Bout du Lac
17%	17%	17%

IMPACTS ECOLOGIQUES [ESTIMES]

	PERIODE DE HAUTES EAUX	PERIODE DE BASSES EAUX
Qualité des sédiments littoraux	☺☺ : Dispersion de la matière organique accumulée	☺☺ : Minéralisation accentuée des sédiments par mise en assec
Végétation hélophytique (roseaux principalement)	☺☺ : Amélioration de l'état physiologique du roseau par réduction de l'accumulation de matière organique (réduction de « l'étouffement ») ☹ : Mai-juin, nécessite de puiser dans les réserves des roselières pour la sortie des nouvelles pousses en raison des niveaux (à adapter si phase opérationnelle ?)	☺ : Bénéfique pour la roselière du fait de la remise à disposition de nutriments occasionnée par la minéralisation (mais risque de développement d'algues benthiques en automne ?)
Faune aquatique fréquentant le littoral (groupes cibles : poissons, avifaune, odonates, castor)	☺ ? ou ☹ ? : Impacts dépendent de l'évolution de l'habitat roselières ☺ ? : Hautes eaux en période hivernale potentiellement positives pour la reproduction du corégone (mais de moindre importance par rapport au scénario n°1), dans une moindre mesure pour le brochet ☺ : Pas d'impact significatif pour la faune par rapport aux variations saisonnières extrêmes du niveau ☹ ? : Pour la truite, connectivité hydraulique des affluents du lac au début de l'automne à vérifier	

DIVERS

- Remarque : vitesse de réponse certainement très hétérogène d'une zone à l'autre du fait de l'état de dégradation, qui est relativement et localement bien avancé (mitage important, densité faible des roseaux...).

- En cas de mise en place du scénario, différents indicateurs à suivre pour évaluer les impacts sur l'écosystème (cf. rapport d'étude).

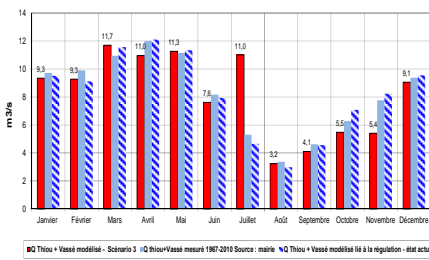
SCENARIO n°3

⇒ Construit à partir de la courbe de niveaux simulée à l'horizon 2050 mais appliquée (en partie) aux conditions de régulation et climatiques actuelles

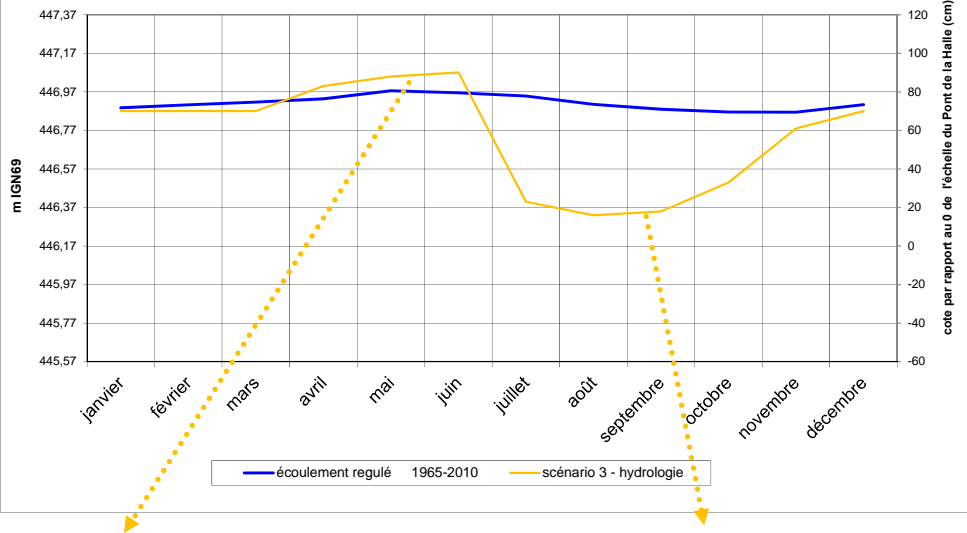
HYDROLOGIE [MODELISEE]

→ Scénario compatible avec les apports des affluents du Lac
→ Garantit un débit [Thiou + Vassé] même en été
(estimation août : 3,2 m³/s)

Débits mensuels - Thiou et Vassé



Evolution des niveaux mensuels du lac d'Anney au droit de l'échelle du Pont de la Halle pour le scénario 3



IMPACTS PHYSIQUES [MODELISES]

MARNAGE ANNUEL

Rappel marnage annuel moyen 1965-2010 : 11cm

Scénario n°3
74 cm

PERIODE DE HAUTES EAUX

⇒ Proportion de roselières terrestres inondées / surface roselières aquatiques du secteur

Marais Enfer	Sentier rosol.	Bout du Lac
30%	16 %	100%

PERIODE DE BASSES EAUX

⇒ Surface totale exondée (végétalisée ou non) / surface roselières aquatiques du secteur

Marais Enfer	Sentier rosol.	Bout du Lac
60%	58 %	55%

IMPACTS ECOLOGIQUES [ESTIMES]

Qualité des sédiments littoraux

😊😊😊 : Dispersion de la matière organique accumulée en début de printemps

😊😊😊 : Minéralisation des sédiments par mise en assec sur de plus grandes surfaces que les autres scénarii

Végétation héliphytique (roseaux principalement)

😊 : Amélioration de la physiologie des roseaux par la réduction de l'accumulation de matière organique

☹️ : Mai-juin, nécessite de puiser dans les réserves des roselières pour la sortie des nouvelles pousses - Impact néanmoins moins marqué que le scénario n°2

😊 : Bénéfique pour la roselière du fait de la remise à disposition de nutriments occasionnée par la minéralisation (mais risque de développement d'algues benthiques en automne ?)

Faune aquatique fréquentant le littoral (groupes cibles : poissons, avifaune, odonates, castor)

😊😊😊 : Marnage ⇒ Atténuation notable de l'érosion mécanique liée aux vagues (dissipation sur une surface importante de la roselière)

😊😊 : Impact global positif à priori ⇒ Extension potentielle des roselières aquatiques : développement et confortement des surfaces actuelles - colonisation des surfaces dénudées - accroissement vers le large

😊😊 ou 😊 ? ⇒ Déplacement de la zonation des roselières vers le large ?

😊 ? : Impacts positifs à terme pour l'ensemble de la faune si extension des surfaces de roselières aquatiques (du fait de l'augmentation de cet habitat naturel)

😊 : Pas d'impact significatif avéré pour la faune par rapport aux variations saisonnières extrêmes du niveau

☹️ ? : Néanmoins interrogation importante pour la truite, en termes de connectivité hydraulique des affluents du lac au début de l'automne - **Point important à vérifier**

DIVERS

- Remarque : vitesse de réponse certainement très hétérogène d'une zone à l'autre du fait de l'état de dégradation, qui est relativement et localement bien avancé (mitage important, densité faible des roseaux...).

- En cas de mise en place du scénario, différents indicateurs à suivre pour évaluer les impacts sur l'écosystème (cf. rapport d'étude).

RESUME

Remarque : Les altitudes indiquées sont données dans le système orthométrique IGN. Les correspondances entre le système NGF (antérieures à 1969) et IGN sont rappelées en annexe 2.

La stabilisation du niveau du Lac d'Annecy, par la régulation des débits des canaux du Thiou et du Vassé, a été identifiée comme un des facteurs responsables de la régression des roselières au cours du XX^{ème} siècle. Dans ce contexte et faisant suite aux différentes études réalisées depuis 2007, le SILA a initié une étude sur l'opportunité de modifier la gestion du niveau du Lac à des fins environnementales. Dans cet objectif, elle se compose des quatre modules suivants :

- Module 1 : Caractérisation de l'hydrologie du Lac et de sa gestion hydraulique.
- Module 2 : Synthèse bibliographique des expériences menées en termes de marnage ayant pour objectif une amélioration des herbiers d'hélophytes en général et de phragmitaie en particulier.
- Module 3 : Détermination des relations entre niveaux du Lac et la mise en eau des secteurs de roselières.
- Module 4 : Proposition et étude des impacts de différents scénarii de gestion hydraulique du Lac d'Annecy en utilisant en particulier les résultats des modules 1 et 3.

Module 1

Le Lac est domaine d'Etat qui depuis la fin du XIX^{ème} Siècle a confié à la Ville d'Annecy la responsabilité des manœuvres de vannes. Le niveau du Lac doit être maintenu le plus près possible de la "cote légale de retenue" qui a été fixée à 80 cm à l'échelle de lecture située au Pont de la Halle. La Ville dispose de trois déversoirs équipés de jeux de vannes de retenue pouvant évacuer un débit maximal de 51 m³/s :

- le canal du Thiou (canal principal) dont les vannes ont été changées en 1965,
- le canal du Vassé,
- le canal Saint Dominique.

La quasi-totalité du débit sortant transit par les deux premiers canaux, le troisième étant anecdotique.

Le niveau du Lac est régulé depuis 1874. Des travaux de modernisation des ouvrages de régulation ont eu lieu en 1965 ; ils ont eu pour effet d'augmenter la stabilisation de la cote du Lac. Entre temps, de 1906 à 1914 plusieurs phases de travaux ont été réalisées au droit du Thiou et du canal du Vassé (curage, recalibrage, bétonnage). Elles ont permis d'améliorer les écoulements dans les canaux d'Annecy.

Du point de vue de l'hydrologie du bassin versant du Lac d'Annecy (apport moyen, débits extrêmes, bilan hydrique mensuel...), le volume annuel d'eau entrant en jeu dans le bilan hydrique a été estimé à 290,4 10⁶ m³. Les données hydrométéorologiques récentes ont confirmé que la dernière décennie est plus sèche que la normale : un déficit de 13% du débit des émissaires du Lac (Thiou et canal du Vassé) a été enregistré.

Les événements extrêmes (crues et étiages) du niveau du Lac montrent que :

- pour les crues, il y a une baisse du nombre d'événements forts depuis les travaux de calibrage et bétonnage des canaux d'Annecy entre 1906 et 1914 ;

- pour les étiages, la mise en place de la régulation a limité l'apparition des étiages extrêmes. Ce phénomène s'est renforcé avec la modernisation des ouvrages de régulation en 1965.

L'ensemble de ces données associées aux courbes de tarage des émissaires du Lac et de la courbe de capacité de la retenue ont permis dans le cadre de ce module de modéliser le régime naturel du Lac en écoulement libre sous conditions climatiques actuelles. La simulation fait apparaître un marnage annuel de la cote moyenne mensuelle du Lac de 50 cm contre seulement 11 cm en régime régulé. En outre, une synthèse bibliographique a été menée pour faire l'état des lieux des connaissances scientifiques sur le changement climatique dans les Alpes à horizon 2050. Suite à cela, 9 scénarii de changement climatique ont été retenus. Le régime naturel du Lac a été calculé pour chacun de ces scénarii. Les résultats des simulations des 9 scénarii sont proches ; le marnage annuel de la cote moyenne du Lac à horizon 2050 est évalué à 60 cm. La principale différence entre la simulation sous condition climatique actuelle et sous condition de changement climatique concerne l'étiage : la cote minimale à horizon 2050 est inférieure de 10 cm par rapport à l'étiage actuel en régime naturel.

Module 2

Depuis plus d'une dizaine d'années, des opérations de restauration des roselières à grande échelle ont été menées sur différents lacs alpins sans pour autant évoquer spécifiquement la thématique du marnage. Ainsi bien que ce phénomène soit reconnu comme un des facteurs explicatifs de la régression de certaines roselières, il n'existe quasiment aucun retour d'expérience à ce sujet traitant notamment des éventuels gains écologiques et qui puisse être transposable à notre cas.

Module 3

L'objectif de ce module était d'étudier la relation entre le niveau du Lac et l'état d'inondation/exondation des roselières aquatiques pour trois secteurs du Lac d'Annecy : Les Marais de l'Enfer, le sentier des roselières et le Bout du Lac.

Pour mener à bien cette phase, un modèle numérique de terrain a été élaboré à partir de 14 000 relevés topographiques sur ces trois zones de manière à disposer d'un outil permettant de simuler pour différentes cotes, l'importance des surfaces de roselières (ou surfaces dénuées de végétation) exondées ou inondées.

Les amplitudes testées par pas de 10 cm se situent pour chacun des trois secteurs entre les cotes d'alertes actuelles à savoir 447,42 (cote d'alerte de crue – cote 125 cm à l'échelle du Pont de la Halle) et 446,42 (cote d'alerte étiage sévère - cote 25 cm à l'échelle du Pont de la Halle).

Concernant les exondations, et dans la mesure où la cote d'étiage sévère testée ne permettait pas une exondation suffisante des surfaces de roselière pour une bonne interprétation, deux autres simulations aux cotes 446,16 (cote -1 cm à l'échelle du Pont de la Halle) et 445,91 (- 26 cm à l'échelle du Pont de la Halle) ont été réalisées complémentaires.

Il ressort de ces simulations d'intéressantes informations notamment au niveau de la répartition de la roselière aquatique sur la beine lacustre.

Ainsi pour une hausse des niveaux compris entre 446,91³⁶ et 447,41 (124 cm à l'échelle du Pont de la Halle), les chiffres font apparaître des mises en eau significatives de roselières terrestres. Ainsi notamment on observe pour les Marais de l'Enfer et le Bout du Lac des surfaces importantes de roselières qui seraient inondées dès la cote 447,11 (94 cm) à savoir plus de 10 000 m² pour chacun

³⁶ Cette cote correspond à la cote moyenne observée sur la période 1965 – 2010 (cote 74 cm à l'échelle du Pont de la Halle)

de ces secteurs (représentant plus de 37 % des roselières aquatiques pour ce premier secteur et plus de 109 % pour le second).

Pour une baisse de la ligne d'eau entre 446,91 (74 cm à l'échelle du Pont de la Halle) et 445,91 (- 26 cm), les résultats montrent notamment que pour les trois secteurs étudiés, la répartition des roselières aquatiques est plus importante au large (entre 50 cm et 1 m de profondeur) que près de la berge là où est censée se développer pleinement la zone d'accumulation. Cette exondation progressive des roselières s'accompagne en effet d'exondation notable de surfaces dénudées. Ceci se traduit pour ces trois secteurs par des taux d'occupation (rapport entre la surface de roselière exondée et la surface totale exondée à la cote considérée) qui demeurent assez faibles puisque inférieurs à 50 % pour les cotes supérieures à 446,61 (44 cm à l'échelle du Pont de la Halle). Précisons même que pour le Bout du Lac, ce taux reste en deçà de 50 % pour quasiment toutes les cotes testées.

In fine, ces informations importantes indiquent de réelles potentialités de recolonisation par les roseaux au sein de secteurs peu profonds actuellement peu ou pas colonisés.

Module 4

Ce module qui constitue en quelque sorte l'aboutissement des précédents modules est consacré à l'étude de trois scénarii réalistes de rétablissement de marnage sur le Lac d'Annecy et traite de leurs impacts respectifs sur la végétation hélophytique et la faune (avifaune, odonates, Castor, ichtyofaune). Précisons que ces indicateurs faunistiques ont été retenus en raison de leur importance du point de vue de la caractérisation de l'écosystème lacustre et littoral et/ou de leur utilisation plus ou moins soutenue de l'habitat roselière aquatique.

On appelle ici scénario, un profil d'évolution répété annuellement et qui décrit les niveaux du Lac au pas de temps mensuel. Ce pas de temps mensuel a été retenu eu égard à l'écologie du roseau pour lequel des pas de temps plus courts n'ont que très peu d'influence.

Ces scénarii hydrologiques construits à partir des modules précédents ont été sélectionnés en fonction de différentes clés d'entrée. Ainsi :

- le scénario 1 est basé sur les besoins écologiques d'une roselière aquatique avec notamment deux périodes de basses eaux et une période de hautes eaux (Cf. § ci-dessous),
- le scénario 2 reprend quant à lui une évolution des cotes « en régime naturel » (modélisé au module 1) mais transposée à la cote moyenne actuelle,
- le scénario 3 tient compte pour sa part partiellement la courbe simulée à l'horizon 2050 dans le module 1.

Les marnages envisagés ici oscillent entre 50 et 74 cm en fonction du scénario.

Précisons que comme évoqué ci-dessus notamment vis-à-vis de l'écologie du roseau, chaque scénario propose des objectifs de niveau à tenir en moyenne mensuelle. Cependant dans les faits et dans l'hypothèse d'une phase opérationnelle, des variations sur quelques jours seront bien évidemment possibles, par rapport aux autres contraintes spécifiques liées à la régulation du lac (prévention des inondations notamment).

D'une manière générale et avant de s'intéresser plus en détails aux impacts écologiques, il est important de faire observer qu'il est à présent reconnu scientifiquement que les variations saisonnières de niveaux d'eau jouent un rôle important dans la confortement et la stimulation des roselières aquatiques. Ainsi notamment :

- Des épisodes de hautes eaux en particulier en hiver permettent d'élargir la surface de dissipation énergétique des vagues et contribuent bénéfiquement à disperser plus en arrière de la roselière, les flottants et la matière organique diminuant de fait les « effets de cordons » voire de

sapement de berges observés sur Annecy notamment au Bout du Lac et dans une moindre mesure sur les Marais de l'Enfer.

- Des épisodes de basses eaux contribuent, si elles ont lieu à des périodes favorables, d'une part à la pousse des végétaux (printemps) et d'autre part à la minéralisation de la matière organique (fin d'été) de par l'oxygénation des sédiments et de ses effets induits. Tout comme la hausse, ces basses contribuent également du point de vue mécanique à élargir la bande de dissipation énergétique des vagues.

Ces observations étant faites, il ressort de l'analyse que concernant la roselière aquatique, le scénario 1 de rétablissement de marnage demeure logiquement et par construction le plus propice à l'expansion des roselières tant vers le front des roselières qu'au sein des zones d'accumulation actuelles dont les taux d'occupation pourraient être réellement améliorés.

Le scénario 2 interroge quant à lui sur deux niveaux d'impact qui s'opposent (hautes eaux au Printemps et début d'été *versus* basses eaux en fin d'été) et dont la résultante pourrait faire basculer vers une expansion (impact positif) ou une dégradation des roselières (impacts négatifs).

Le scénario 3 semble quant à lui médian entre les deux scénarii puisqu'avec un niveau estival le plus bas et cela sur plus de deux mois, l'impact positif qu'induirait cette phase compenserait certainement les niveaux assez hauts jusqu'en fin de printemps qui par ailleurs seront baissés rapidement (et donc parallèlement à la croissance des pousses de roseaux). La phase estivale de ce scénario interroge même quant à un éventuel déplacement de la zonation des roselières aquatiques vers le large avec une évolution du cortège floristique à proximité des berges actuelles qui pourraient voir apparaître des espèces hygrophiles moins caractéristiques d'un milieu purement aquatique.

Concernant la faune, deux approches sont nécessaires pour résumer les niveaux d'impact :

- Une première approche concerne le gain ou la perte à termes de l'habitat roselière en fonction du scénario envisagé,

- une seconde approche s'intéresse davantage aux éventuels impacts dus aux périodes de basses eaux et hautes eaux envisagées au cours de l'année notamment vis-à-vis des cycles biologiques des espèces.

Ainsi il apparaît clairement que pour la première approche, la positivité ou la négativité des impacts sur la faune en général sera étroitement liée à la réaction des roselières au vu du marnage envisagé. Ainsi, un scénario favorisant une expansion et une densification de la phragmitaie aquatique sur le Lac sera plus propice à la faune que celui induisant une stagnation voire une dégradation de cette dernière. Là encore il semble qu'au vu des éléments évoqués précédemment les scénarii 1 et 3 se détachent du scénario 2 puisqu'ils seraient à priori plus favorables (surtout le 1) au développement des roselières.

Pour la seconde approche, il ressort essentiellement que les impacts demeurent peu significatifs et relativement comparables (notamment pour les périodes de basses eaux) d'un scénario à l'autre et cela pour ce qui concerne l'avifaune les odonates, et le Castor, et la quasi-totalité de la faune piscicole. Néanmoins concernant la Truite, des vérifications sont à faire sur la connectivité hydraulique des confluences pour les cotes basses envisagées dans le cadre du scénario 1 et surtout le n°3, ceci afin de s'affranchir de tout risque de limitation quant aux remontées de géniteurs en début de période de reproduction.

In fine, il est important de retenir que le rétablissement d'un marnage sur le Lac d'Annecy, en l'état actuel des connaissances doit être bénéfique pour les roselières aquatiques et l'ensemble des habitats littoraux. Dans le cadre d'une régulation réaliste en termes de cotes extrêmes, et en s'affranchissant de toute contrainte socio-économique, il existe au jour d'aujourd'hui des conditions

hydrologiques techniquement possibles à mettre en œuvre qui pourraient être véritablement favorables à une expansion et/ou une densification des roselières aquatiques du Lac.

C'est ce que montre au moins un des scénarii étudiés dans le cadre de la présente étude. Outre la phragmitaie aquatique, ce type de scénario aura au final un impact écologique globalement positif notamment sur les espèces animales fréquentant de manière plus ou moins continue cet habitat.

Néanmoins, il convient d'être prudent quant à la vitesse de réponse de cet habitat et cela quel que soit le scénario envisagé dans la mesure où d'une part cette cinétique est liée à l'état de dégradation locale des roselières et d'autre part on constate un réel déficit de retour d'expériences à ce niveau.

C'est pourquoi, si un tel rétablissement était envisagé, il serait très important de mettre en place un suivi rigoureux notamment de la végétation des roselières en termes d'évolution quantitative et qualitative mais également au niveau de quelques indicateurs liés à la faune comme par exemple l'avifaune hivernante et nicheuse utilisant ce type d'habitat.

Annexes

Annexe 1 Bibliographie relative au module 1

- [1] E.BENEDITTI-CROUZET – Etude géodynamique du Lac d'Annecy et de son bassin versant, 1972 – Faculté des Sciences de Paris
- [2] H.ONDE - Le Lac d'Annecy et le Thiou (étude hydrologique), 1944 – Revue de géographie alpine Tome 32 n°1 p 1-58 et n°3 P 389-446
- [3] SOGREA H INGENIERIE – Etude de vulnérabilité de la ressource en eau de l'agglomération annecienne Phase 1 Définition du périmètre fin d'étude, nov. 1998 – ville d'Annecy Direction des Services Techniques
- [4] J.Danloux , ORSTOM - Le Lac d'Annecy Bilan hydrologique octobre 1966 – septembre 1967, juin 1968 – Syndicat Intercommunal des Communes Riveraines du Lac d'Annecy
- [5] A.Crolard, Annecy et les crues du Lac, 1910
- [6] A.Crolard, régularisation du débit des cours d'eau par le moyen des lacs ou des réservoirs artificiels, 1902
- [7] F. Charles, régulation du niveau et du débit du Lac d'Annecy – 1998 – Institut National Agronomique de Paris-Grignon, 58 p.
- [8] Mairie d'Annecy, Direction Générale des Services techniques - Régulation des eaux du Lac d'Annecy, Méthodes et astreintes, 10 p.

Annexe 2 Relation systèmes orthométriques NGF - IGN

La cote 80 cm (ou 0,80 m) de l'échelle de référence de niveau du Lac correspond à une altitude de 446,69 m en altitude orthométrique (altitude antérieure à 1969). La correspondance en altitude normale IGN s'établit pour la région d'Annecy en ajoutant aux anciennes altitudes NGF un facteur correctif de **28 cm**.

L'altitude normale IGN de la cote 80 cm de l'échelle du Pont de la Halle est donc de

$$\begin{array}{rcccl} 446,69 \text{ m} & + & 0,28 \text{ m} & = & 446,97 \text{ m} \\ \text{(Orthométrique)} & & & & \text{(Normal)} \end{array}$$

Cette altitude a été vérifiée par les Services Techniques de la Ville d'Annecy, le 24 avril 1990 qui a effectué un nivellement de l'échelle de référence depuis un point IGN « récent » (1979) situé sur le bâtiment de l'Hôtel de Ville (altitude normale de 448,745 m).

De la même manière, la correspondance du zéro à l'échelle du Pont de la Halle se fait de la manière suivante :

$$\begin{array}{rcccl} 445,89 \text{ m} & + & 0,28 \text{ m} & = & 446,174 \text{ m} \\ \text{(Orthométrique)} & & & & \text{(Normal)} \end{array}$$

Nous faisons figurer à la suite un tableau des correspondances pour les différentes cotes de l'échelle du Pont de la Halle.

	Echelle lac Pont de la Halle	Cote lac ortho NGF normal	Cote lac IGN 69 (ortho NGF normal + 28cm)	
	150	447,39	447,67	☛ Crue 16/02/1990 (447,67)
	145	447,34	447,62	
	140	447,29	447,57	
	135	447,24	447,52	
	130	447,19	447,49	
Cote d'alerte crue →	125	447,14	447,42	☛ Crue 11/01/1977 (447,41)
Cote pré-alerte crue →	120	447,09	447,37	
Cote vigilance crue →	115	447,04	447,32	
	110	446,99	447,27	
	105	446,94	447,22	
	100	446,89	447,17	
	95	446,84	447,12	
	90	446,79	447,07	
	85	446,74	447,02	
	80	446,69	446,97	← Objectif règlement 1876
	75	446,64	446,92	
	70	446,59	446,87	← Cote 74 (446,91 IGN69) : cote moyenne de 1966 à 2010
	65	446,54	446,82	
	60	446,49	446,77	
	55	446,44	446,72	
	50	446,39	446,67	
Cote vigilance étiage →	45	446,34	446,62	
	40	446,29	446,57	☛ Etiage 31/10/2009, cote 42
Cote pré-alerte étiage →	35	446,24	446,52	
	30	446,19	446,47	☛ Etiage 28/08/2003, cote 31
Cote d'alerte étiage sévère →	25	446,14	446,42	
	20	446,09	446,37	
	15	446,04	446,32	
	10	445,99	446,27	
	5	445,94	446,22	
	0	445,89	446,17	
	-5	445,84	446,12	
	-10	445,79	446,07	
	-15	445,74	446,02	
	-20	445,69	445,97	
	-25	445,64	445,92	
	-30	445,59	445,87	
	-35	445,54	445,82	
	-40	445,49	445,77	
	-45	445,44	445,72	
	-50	445,39	445,67	
	-55	445,34	445,62	← 445,63 IGN69 : point haut Thiou au pont Morens
	-60	445,29	445,57	↳ écoulement nul en dessous
	-65	445,24	445,52	
	-70	445,19	445,47	
	-75	445,14	445,42	← 445,42 IGN69 : niveau du clapet ouvert
	-80	445,09	445,37	↳ écoulement "libre"

Source : SILA

Annexe 3 Arrêtés préfectoraux concernant l'autorisation de la remise en état des micros centrales des Forges et des Papeteries.

**Arrêté préfectoral autorisant la remise en
service de la chute dite des Forges,
commune de CRAN GEVRIER**

**Le Préfet de la Haute-Savoie
Chevalier de la Légion d'Honneur
Officier de l'Ordre National du Mérite**

ARRETE DDAF/2008/SEP/n° 92

- VU** Le Code Rural ;
- VU** l'ordonnance n° 2000-914 du 18 septembre 2000 relative à la partie législative du Code de l'Environnement ;
- VU** le Code de l'Environnement, notamment son livre I^{er} et son livre II titre I^{er} (parties législative et réglementaire) ;
- VU** la Loi du 16 octobre 1919 modifiée relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique ;
- VU** la Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'Eau, modifiée, notamment son article 47.II ;
- VU** le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 pris pour application du chapitre II du titre II du livre I^{er} du Code de l'Environnement, modifié par le décret n° 93-245 du 25 février 1993 relatif aux études d'impact et au champ d'application des enquêtes publiques ;
- VU** le décret n° 81-375 du 15 avril 1981 modifiant l'article 16 de la Loi du 16 octobre 1919 modifiée relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique et pris pour son application en ce qui concerne la forme et la procédure d'instruction des demandes d'autorisation d'usines hydrauliques ;
- VU** le décret n° 81-376 du 15 avril 1981 modifié portant application de l'article 28 (2°) de la Loi du 16 octobre 1919 modifiée relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique et approuvant le modèle de règlement d'eau pour les entreprises autorisées sur les cours d'eau ;
- VU** le Code de l'Environnement, notamment son article R 214 ;
- VU** le décret n° 95-1204 du 6 novembre 1995 relatif à l'autorisation des ouvrages utilisant l'énergie hydraulique et modifiant le décret n° 93-742 du 29 mars 1993 ;
- VU** le décret n° 95-1205 du 6 novembre 1995 approuvant le modèle de règlement d'eau des entreprises autorisées à utiliser l'énergie hydraulique ;
- VU** la pétition en date du 29 février 2008 par laquelle la Compagnie Alpine Aluminium et la SARL COEXHYE demandent la reconnaissance du droit fondé en titre de disposer de l'énergie du Thiou pour poursuivre l'exploitation d'une chute destinée à la production d'énergie électrique ;
- VU** le rapport et les propositions en date du 14 octobre 2008 de Monsieur le Directeur Départemental de l'Agriculture et de la Forêt chargé de la police des eaux ;
- VU** l'avis du CODERST dans sa séance du 29 octobre 2008 ;

CONSIDERANT que la force motrice de l'eau était utilisée au barrage des Forges avant 1860, l'installation est fondée en titre avec les caractéristiques suivantes :

- _débit d'équipement : 6 m³/s ;
- _hauteur de chute : 10,60 m
- _puissance brute maximale : 624 kW ;

CONSIDERANT que les prescriptions du présent arrêté permettent de garantir une gestion globale et équilibrée de la ressource en eau ;

SUR proposition de Monsieur le Secrétaire Général de la Préfecture de la Haute-Savoie ;

A R R E T E

ARTICLE 1^{er} – AUTORISATION DE DISPOSER DE L'ENERGIE

La Compagnie Alpine Aluminium est autorisée, à compter de la date de signature du présent arrêté, à disposer de l'énergie du Thiou, pour poursuivre l'exploitation d'un barrage situé sur le territoire de la commune de CRAN GEVRIER (département de la Haute-Savoie) et destiné à la production d'énergie électrique. L'autorisation sera transférée à la SARL COEXHYE à la signature du bail emphytéotique.

La puissance maximale brute hydraulique calculée à partir du débit maximal de la dérivation et de la hauteur de chute brute maximale est fixée à 624 kilowatts.

ARTICLE 2 – SECTION AMENAGEE

Les eaux sont dérivées au moyen d'un barrage et d'une prise d'eau situés sur la commune de CRAN GEVRIER, en aval du pont de CRAN, créant une retenue à la cote normale de 427,65 m.

Elles sont restituées au Thiou, en rive gauche, en aval de la centrale hydroélectrique, à la cote 417,05 m, en amont de la confluence avec le Fier.

La hauteur de chute brute maximale est de 10,60 m (pour le débit dérivé autorisé).

La longueur du lit court-circuité est d'environ 260 m.

ARTICLE 3 – ACQUISITION DES DROITS PARTICULIERS A L'USAGE DE L'EAU EXERCES

Néant.

ARTICLE 4 – EVICTION DES DROITS PARTICULIERS A L'USAGE DE L'EAU NON EXERCES

Néant.

ARTICLE 5 – CARACTERISTIQUES DE LA PRISE D'EAU

Le niveau normal d'exploitation est fixé à la cote 427,65 m.

Le niveau des plus hautes eaux est de 428,16 m.

Le niveau minimal d'exploitation est de 427,65 m.

Le débit maximal de la dérivation est de 6 m³/s.

La prise d'eau est du type "au fil de l'eau verticale", située en rive gauche du barrage. Elle a une largeur de 7,6 m, une hauteur de 2,3 m au niveau des grilles et sera munie d'une vanne d'isolement à l'amont.

Le débit à maintenir dans le Thiou, immédiatement en aval de la prise d'eau (débit réservé), ne devra pas être inférieur à 0,750 m³/s.

Les valeurs retenues pour le débit maximal de la dérivation et le débit à maintenir dans le Thiou (débit réservé) seront affichées à proximité immédiate de la prise d'eau et de l'usine, de façon permanente et lisible pour tous les usagers du cours d'eau, au plus tard un an après la signature du présent arrêté.

ARTICLE 6 – CARACTERISTIQUES DU BARRAGE

Le barrage de prise d'eau a les caractéristiques suivantes :

type	barrage vanné
hauteur au-dessus du terrain naturel	3 m
largeur en crête du barrage	0,5 m
longueur en crête du déversoir vanné	6 m
longueur du barrage (y compris déversoir)	26 m
cote de la crête du barrage	427,66 m.

Compte-tenu de la hauteur du barrage, il sera classé en classe D au sens du décret n° 2007-1735 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques.

Les caractéristiques principales de la retenue sont les suivantes :

surface de la retenue au niveau normal d'exploitation	1 200 m ²
---	----------------------

ARTICLE 7 – EVACUATEUR DE CRUES, DEVERSOIR ET VANNES, DISPOSITIFS DE PRISE ET DE MESURE DU DEBIT A MAINTENIR

a)Le déversoir est constitué par un barrage arasé à la cote 427.66 avec une vanne centrale levante de 6 m de largeur et de 2 m de hauteur

Une échelle limnimétrique rattachée au Nivellement Général de la France sera scellée à proximité du barrage.

b)La vanne de fond ou de vidange est constituée par une vanne métallique de diamètre 800 mm verticale à crémaillère.

c)Le débit à maintenir dans le Thiou (débit réservé) sera délivré par une échancrure en rive droite du barrage. Elle aura une largeur de 2,00 m et une hauteur de 0,36 m. Un dispositif de visualisation du débit réservé sera implanté à proximité de l'ouvrage concerné.

ARTICLE 8 – CANAUX DE DECHARGE ET DE FUITE

Les canaux de décharge et de fuite sont disposés de manière à écouler facilement toutes les eaux que les ouvrages placés à l'amont peuvent débiter et à ne pas aggraver l'érosion naturelle, non seulement à l'aval des ouvrages, mais également à l'amont.

ARTICLE 9 – MESURES DE SAUVEGARDE

Les eaux devront être utilisées et restituées en aval de manière à garantir chacun des éléments mentionnés à l'article L 211-1 du Code de l'Environnement.

Indépendamment de la réglementation générale, notamment en matière de police des eaux, le permissionnaire sera tenu en particulier de se conformer aux dispositions ci-après.

a) L'exploitation continuera de se faire au fil de l'eau.

b) Les eaux dérivées seront rendues au cours d'eau sans qu'aucune dégradation significative de leur qualité ne puisse être constatée.

c) Des panneaux avertissant de l'existence d'un barrage de prise d'eau sur le Thiou et des risques potentiels en résultant (notamment à cause des chasses de dégravage) devront être mis en place, notamment à proximité immédiate de la prise d'eau et de la centrale, au plus tard un an après la signature du présent arrêté.

ARTICLE 10 – REPERE

Il sera posé aux frais du permissionnaire, en un point qui sera désigné par le service chargé de la police de l'eau, un repère définitif et invariable rattaché au Nivellement Général de la France et associé à une échelle limnimétrique scellée à proximité. Cette échelle, dont le zéro indiquera le niveau normal d'exploitation de la retenue, devra toujours rester accessible aux agents de l'administration, ou commissionnés par elle, qui ont qualité pour vérifier la hauteur des eaux. Elle demeurera visible aux tiers. Le permissionnaire sera responsable de sa conservation.

ARTICLE 11 – OBLIGATIONS DE MESURES A LA CHARGE DU PERMISSIONNAIRE

Le permissionnaire est tenu d'assurer la pose et le fonctionnement des moyens de mesure ou d'évaluation prévus aux articles 5, 7, 9 et 10, de conserver trois ans les dossiers correspondants (calculs des débits turbinés) et de tenir ceux-ci à la disposition des agents de l'administration, ainsi que des personnes morales de droit public dont la liste est fixée en application de l'article L 214-8 du Code de l'Environnement.

La nature des données à recueillir et les modalités de recueil seront décidées en accord avec l'administration chargée de la police des eaux et de la police de la pêche.

ARTICLE 12 – MANŒUVRE DES VANNES DE DECHARGE ET AUTRES OUVRAGES

En dehors des périodes de crues et dans toute la mesure du possible durant ces périodes, la gestion des ouvrages sera conduite de telle manière que le niveau de la retenue ne dépasse pas le niveau normal d'exploitation. Le permissionnaire sera tenu dans ce but de manœuvrer, en temps opportun, la vanne de décharge.

Le niveau de la retenue ne devra pas dépasser le niveau des plus hautes eaux, ni être inférieur au niveau au niveau minimum d'exploitation sauf travaux, chasses ou vidanges. Le permissionnaire devra, de la même façon, manœuvrer les ouvrages prévus aux articles 5 et 7 pour que les conditions relatives à la dérivation et à la transmission des eaux soient respectées.

Dès que les eaux s'abaisseront dans le bief au-dessous du niveau d'exploitation, le permissionnaire sera tenu de réduire ou d'interrompre le fonctionnement de la prise d'eau.

Il sera responsable de l'abaissement des eaux tant que le prélèvement n'aura pas cessé.

En cas de négligence du permissionnaire ou de son refus d'exécuter les manœuvres prévues au présent article en temps utile, il pourra y être pourvu d'office à ses frais, soit par le Maire de la commune, soit par le Préfet, sans préjudice dans tous les cas des dispositions pénales encourues et de toute action civile qui pourrait lui être intentée à raison des pertes et des dommages résultant de son refus ou de sa négligence.

ARTICLE 13 – CHASSES DE DEGRAVAGE

L'exploitant pourra pratiquer des chasses de dégravage en phase descendante des fortes crues. Ces chasses se font par l'ouverture de la vanne de décharge centrale du barrage.

ARTICLE 14 – VIDANGES

La présente autorisation vaut autorisation de vidanger la retenue, mais pour une durée de 30 années seulement conformément à l'article L 214-8 du Code de l'Environnement et en application de l'arrêté du 27 août 1999 fixant les prescriptions générales applicables aux opérations de vidange de plans d'eau soumises à déclaration.

Un suivi physico-chimique de la qualité de l'eau sera réalisé pendant la première vidange afin de déterminer le débit de vidange à ne pas dépasser. Un rapport sera transmis au Préfet. Les concentrations des eaux rejetées devront respecter les conditions de l'article 5 de l'arrêté du 27 août 1999.

ARTICLE 15 – MANŒUVRES RELATIVES A LA NAVIGATION

Néant.

ARTICLE 16 – ENTRETIEN DE LA RETENUE ET DU LIT DU COURS D'EAU

Toutes les fois que la nécessité en sera reconnue, que la responsabilité en incombera à l'existence du barrage de prise d'eau et qu'il en sera requis par le Préfet, le permissionnaire sera tenu d'effectuer le curage de la retenue dans toute la longueur du remous, ainsi que du cours d'eau entre la prise et la restitution, sauf l'application des anciens règlements ou usages locaux et sauf le concours qui pourrait être réclamé des riverains et autres intéressés suivant l'intérêt que ceux-ci auraient à l'exécution de ce travail.

Les modalités de curage seront soumises à l'accord de l'administration chargée de la police des eaux et de la police de la pêche. Elles devront être conformes à l'arrêté du 30 mai 2008 fixant les prescriptions relatives aux opérations d'entretien de cours d'eau et ne pas remettre en cause le mécanisme de transport naturel des sédiments et le maintien du lit dans son profil d'équilibre.

Si la retenue ou les cours d'eau ne sont pas la propriété exclusive du permissionnaire, les riverains, s'ils le jugent préférable, pourront d'ailleurs opérer le curage eux-mêmes et à leurs frais, chacun dans la partie du lit lui appartenant.

Toutes dispositions devront en outre être prises par le permissionnaire pour que le lit du cours d'eau soit conservé dans son état, sa profondeur et sa largeur naturels, notamment en considération des articles L 215-14 à L 215-16 du Code de l'Environnement.

ARTICLE 17 – OBSERVATION DES REGLEMENTS

Le permissionnaire est tenu de se conformer à tous les règlements existants ou à intervenir sur la police, le mode de distribution et le partage des eaux, et la sécurité civile.

ARTICLE 18 – ENTRETIEN DES INSTALLATIONS

Tous les ouvrages doivent être constamment entretenus en bon état par les soins et aux frais du permissionnaire.

ARTICLE 19 – DISPOSITIONS APPLICABLES EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT – MESURES DE SECURITE CIVILE

Le permissionnaire doit informer dans les meilleurs délais le Préfet et le Maire intéressé de tout incident ou accident affectant l'usine objet de l'autorisation et présentant un danger pour la sécurité civile, la qualité, la circulation ou la conservation des eaux.

Dès qu'il en a connaissance, le permissionnaire est tenu, concurremment, le cas échéant, avec la personne à l'origine de l'incident ou de l'accident, de prendre ou de faire prendre toutes les mesures possibles pour mettre fin à la cause du danger ou d'atteinte au milieu aquatique, évaluer les conséquences de l'incident ou de l'accident et y remédier. Le Préfet peut prescrire au permissionnaire les mesures à prendre pour mettre fin au dommage constaté et en circonscrire la gravité, et notamment les analyses à effectuer.

En cas de carences et s'il y a un risque de pollution ou de destruction du milieu naturel, ou encore pour la santé publique et l'alimentation en eau potable, le Préfet peut prendre ou faire exécuter les mesures nécessaires aux frais et risques des personnes responsables.

Dans l'intérêt de la sécurité civile, l'administration pourra, après mise en demeure du permissionnaire, sauf cas d'urgence, prendre les mesures nécessaires pour prévenir ou faire disparaître, aux frais et risques du permissionnaire, tout dommage provenant de son fait, sans préjudice de l'application des dispositions pénales et de toute action civile qui pourrait lui être intentée.

Les prescriptions résultant des dispositions du présent article, pas plus que l'acceptation des plans ou que la surveillance des Ingénieurs prévues aux articles 22 et 23 ci-après, ne sauraient avoir pour effet de diminuer en quoi que ce soit la responsabilité du permissionnaire, qui demeure pleine et entière tant en ce qui concerne les dispositions techniques des ouvrages que leur mode d'exécution, leur entretien et leur exploitation.

ARTICLE 20 – RESERVE DES DROITS DES TIERS

Les droits des tiers sont et demeurent expressément réservés.

ARTICLE 21 – OCCUPATION DU DOMAINE PUBLIC

Néant.

ARTICLE 22 – COMMUNICATION DES PLANS

Les plans des dispositifs à mettre en place pour la délivrance et le contrôle du débit réservé devront être communiqués à l'administration chargée de la police des eaux et de la police de la pêche afin de recueillir son accord.

ARTICLE 23 – EXECUTION DES TRAVAUX – RECOLEMENT – CONTROLES

Les dispositifs de délivrance et de contrôle du débit réservé devront être mis en place, rendus opérationnels, puis modifiés si besoin après mesures de débit, dès la remise en service de la centrale.

Les ouvrages seront exécutés avec le plus grand soin, en matériaux de bonne qualité, conformément aux règles de l'art et aux plans acceptés par l'administration chargée de la police des eaux et de la police de la pêche.

Dès l'achèvement de ces opérations et au plus tard à l'expiration du délai fixé, le permissionnaire en avisera l'administration chargée de la police des eaux et de la police de la pêche, qui lui fera connaître la date de la visite de récolement devant permettre de constater le respect du débit réservé fixé et la fiabilité du dispositif de contrôle de ce débit.

Lors du récolement des opérations, procès-verbal en sera dressé et notifié au permissionnaire. Ce document décrira avec précision les dispositifs mis en place.

A toute époque, le permissionnaire est tenu de donner aux Ingénieurs et agents chargés de la police des eaux ou de l'électricité et de la pêche accès aux ouvrages, à l'usine et à ses dépendances, sauf dans les parties servant à l'habitation de l'usiner ou de son personnel. Sur les réquisitions des fonctionnaires du contrôle, il devra les mettre à même de procéder à ses frais à toutes les mesures et vérifications utiles pour constater l'exécution du présent règlement.

ARTICLE 24 – MISE EN SERVICE DE L'INSTALLATION

Néant.

ARTICLE 25 – RESERVES EN FORCE

Néant.

ARTICLE 26 – CLAUSES DE PRECARITE

Néant.

ARTICLE 27 – MODIFICATIONS DES CONDITIONS D'EXPLOITATION EN CAS D'ATTEINTE A LA RESSOURCE EN EAU OU AU MILIEU AQUATIQUE

Si les résultats des mesures et les évaluations prévus à l'article 11 mettent en évidence des atteintes aux intérêts mentionnés à l'article L 211-1 du Code de l'Environnement, et en particulier dans les cas prévus à ses articles L 211-3 (II-1°) et L 214-4, le Préfet pourra prendre un arrêté complémentaire modifiant les conditions d'exploitation, en application de l'article R 214-17.

ARTICLE 28 – CESSION DE L'AUTORISATION – CHANGEMENT DANS LA DESTINATION DE L'USINE

Lorsque le bénéfice de l'autorisation est transmis à une autre personne que celle qui était mentionnée au dossier de la demande, le nouveau bénéficiaire doit en faire la notification au Préfet qui, dans les deux mois de cette notification, devra en donner acte ou signifier son refus motivé.

La notification devra comporter une note précisant les capacités techniques et financières du repreneur et justifiant qu'il remplit les conditions de nationalité prescrites par l'article 26 de la Loi du 16 octobre 1919 et l'article 1^{er} du décret n° 70-414 du 12 mai 1970. Le permissionnaire doit, s'il change l'objet principal de l'utilisation de l'énergie, en aviser le Préfet.

ARTICLE 29 – REDEVANCE DOMANIALE

Néant.

ARTICLE 30 – MISE EN CHOMAGE – RETRAIT DE L'AUTORISATION – CESSATION DE L'EXPLOITATION – RENONCIATION A L'AUTORISATION

Indépendamment des poursuites pénales, en cas d'observation des dispositions du présent arrêté, le Préfet met le permissionnaire en demeure de s'y conformer dans un délai déterminé. Dans cet esprit, il pourra exiger la modification du dispositif de délivrance du débit réservé mis en place s'il ne donne finalement pas satisfaction dans le temps.

Si, à l'expiration du délai fixé, il n'a pas été obtempéré à cette injonction par le bénéficiaire de la présente autorisation, ou par l'exploitant, ou encore par le propriétaire de l'installation s'il n'y a pas d'exploitant, le Préfet peut mettre en œuvre l'ensemble des dispositions de l'article L 216-1 du Code de l'Environnement concernant la consignation d'une somme correspondant à l'estimation des travaux à réaliser, la réalisation d'office des mesures prescrites et la suspension de l'autorisation.

Il est rappelé que le contrat d'achat par EDF de l'énergie produite pourra, le cas échéant, être suspendu ou résilié dans les conditions fixées par le décret n° 86-203 du 7 février 1986, modifié par le décret n° 93-925 du 13 juillet 1993.

ARTICLE 31 – RENOUELEMENT DE L'AUTORISATION

Néant.

ARTICLE 32 – PUBLICATION ET EXECUTION

Le Secrétaire Général de la Préfecture de la Haute-Savoie, le Maire de la commune de CRAN GEVRIER et le Directeur Départemental de l'Agriculture et de la Forêt sont chargés, chacun en ce qui le concerne, d'assurer l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié au permissionnaire, publié au Recueil des Actes Administratifs de la Préfecture et affiché en Mairie de CRAN GEVRIER.

Copie en sera également adressée à :

- Monsieur le Directeur Régional de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement, Division Energie-Electricité et Sous-Sol, Pôle Electricité – GRENOBLE
- Monsieur le Directeur Régional de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement – ANNECY
- Monsieur le Directeur Régional de l'Environnement, Service Nature, Eau et Paysages
- Monsieur le Directeur Régional de l'Environnement, Service Intégration et Evaluation Environnementale
- Madame la Déléguée Régionale de l'ONEMA
- Monsieur le Technicien de l'Environnement, ONEMA 74
- MM. les Présidents des Chambres d'Agriculture, de Commerce et de l'Industrie, et des Métiers de Haute-Savoie.

En outre :

- une copie du présent arrêté d'autorisation sera déposée à la Mairie de CRAN GEVRIER et pourra y être consultée,
- un extrait de l'arrêté, énumérant notamment les prescriptions auxquelles l'installation est soumise, sera affiché à la Mairie pendant une durée minimale d'un mois ; une attestation de l'accomplissement de cette formalité sera dressée par le Maire et envoyée au Préfet,
- le même extrait sera affiché en permanence de façon visible dans l'installation, par les soins du permissionnaire.

Annecy, le 30/12/2008

LE PREFET

SIGNE

**Arrêté préfectoral autorisant la remise en
service de la chute dite des Papeteries,
commune de CRAN GEVRIER**

**Le Préfet de la Haute-Savoie
Chevalier de la Légion d'Honneur
Officier de l'Ordre National du Mérite**

ARRETE DDAF/2008/SEP/n° 91

- VU** Le Code Rural ;
- VU** l'ordonnance n° 2000-914 du 18 septembre 2000 relative à la partie législative du Code de l'Environnement ;
- VU** le Code de l'Environnement, notamment son livre I^{er} et son livre II titre I^{er} (parties législative et réglementaire) ;
- VU** la Loi du 16 octobre 1919 modifiée relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique ;
- VU** la Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'Eau, modifiée, notamment son article 47.II ;
- VU** le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 pris pour application du chapitre II du titre II du livre I^{er} du Code de l'Environnement, modifié par le décret n° 93-245 du 25 février 1993 relatif aux études d'impact et au champ d'application des enquêtes publiques ;
- VU** le décret n° 81-375 du 15 avril 1981 modifiant l'article 16 de la Loi du 16 octobre 1919 modifiée relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique et pris pour son application en ce qui concerne la forme et la procédure d'instruction des demandes d'autorisation d'usines hydrauliques ;
- VU** le décret n° 81-376 du 15 avril 1981 modifié portant application de l'article 28 (2°) de la Loi du 16 octobre 1919 modifiée relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique et approuvant le modèle de règlement d'eau pour les entreprises autorisées sur les cours d'eau ;
- VU** le Code de l'Environnement, notamment son article R214 ;
- VU** le décret n° 95-1204 du 6 novembre 1995 relatif à l'autorisation des ouvrages utilisant l'énergie hydraulique et modifiant le décret n° 93-742 du 29 mars 1993 ;
- VU** le décret n° 95-1205 du 6 novembre 1995 approuvant le modèle de règlement d'eau des entreprises autorisées à utiliser l'énergie hydraulique ;
- VU** la pétition en date du 25 juillet 2007 par laquelle la SARL COEXHYE demande la reconnaissance du droit fondé en titre de disposer de l'énergie du Thiou pour poursuivre l'exploitation d'une chute destinée à la production d'énergie électrique ;
- VU** le rapport et les propositions en date du 14 octobre 2008 de Monsieur le Directeur Départemental de l'Agriculture et de la Forêt chargé de la police des eaux ;
- VU** l'avis du CODERST dans sa séance du 29 octobre 2008 ;

CONSIDERANT que la force motrice de l'eau était utilisée au barrage des Papeteries avant 1860, l'installation est fondée en titre avec les caractéristiques suivantes :

- _débit d'équipement : 7 m³/s ;
- _hauteur de chute : 10,22 m
- _puissance brute maximale : 703 kW ;

CONSIDERANT que les prescriptions du présent arrêté permettent de garantir une gestion globale et équilibrée de la ressource en eau

SUR proposition de Monsieur le Secrétaire Général de la Préfecture de la Haute-Savoie ;

A R R E T E

ARTICLE 1^{er} – AUTORISATION DE DISPOSER DE L'ENERGIE

La SARL COEXHYE est autorisée, à compter de la date de signature du présent arrêté, à disposer de l'énergie du Thiou, pour poursuivre l'exploitation d'un barrage situé sur le territoire de la commune de CRAN GEVRIER (département de la Haute-Savoie) et destiné à la production d'énergie électrique.

La puissance maximale brute hydraulique calculée à partir du débit maximal de la dérivation et de la hauteur de chute brute maximale est fixée à 703 kilowatts.

ARTICLE 2 – SECTION AMENAGEE

Les eaux sont dérivées au moyen d'un barrage et d'une prise d'eau situés sur la commune de CRAN GEVRIER, en aval du pont de CRAN, créant une retenue à la cote normale de 437,88 m.

Elles sont restituées au Thiou, en rive gauche, en aval de la centrale hydroélectrique, à la cote 427,66 m, en amont de la confluence avec le Fier.

La hauteur de chute brute maximale est de 10,22 m (pour le débit dérivé autorisé).

La longueur du lit court-circuité est d'environ 210 m.

ARTICLE 3 – ACQUISITION DES DROITS PARTICULIERS A L'USAGE DE L'EAU EXERCES

Néant.

ARTICLE 4 – EVICTION DES DROITS PARTICULIERS A L'USAGE DE L'EAU NON EXERCES

Néant.

ARTICLE 5 – CARACTERISTIQUES DE LA PRISE D'EAU

Le niveau normal d'exploitation est fixé à la cote 437,88 m.

Le niveau des plus hautes eaux est de 438,18 m.

Le niveau minimal d'exploitation est de 437,88 m.

Le débit maximal de la dérivation est de 7 m³/s.

La prise d'eau est du type "au fil de l'eau verticale", située en biais sur la rive droite du barrage. Elle aura une largeur de 13 m et une hauteur de 2,2 m au niveau des grilles.

Le débit à maintenir dans le Thiou, immédiatement en aval de la prise d'eau (débit réservé), ne devra pas être inférieur à 0,188 m³/s. A compter du 1^{er} janvier 2014, et en application de l'article L 214-18 du Code de l'Environnement, le débit réservé ne devra pas être inférieur à 0,750 m³/s.

Les valeurs retenues pour le débit maximal de la dérivation et le débit à maintenir dans le Thiou (débit réservé) seront affichées à proximité immédiate de la prise d'eau et de l'usine, de façon permanente et lisible pour tous les usagers du cours d'eau, au plus tard un an après la signature du présent arrêté.

ARTICLE 6 – CARACTERISTIQUES DU BARRAGE

Le barrage de prise d'eau sera constitué, de la rive gauche à la rive droite, d'un seuil déversant, d'un déversoir (avec une échancrure pour le débit réservé), de deux vannes manuelles, d'un clapet automatique et de la prise d'eau. Il aura les caractéristiques suivantes :

type	barrage vanné avec déversoir
hauteur au-dessus du terrain naturel	3,50 m
largeur en crête du barrage	0,10 m
longueur en crête du seuil déversant rive gauche	15 m
longueur en crête du déversoir	6,20 m
longueur des vannes	1,25 m
hauteur des vannes	2,60 m
longueur du clapet	9 m
hauteur du clapet	2,60 m
longueur du barrage (y compris déversoir)	35 m
cote de la crête du barrage	437,88 m NGF

Les caractéristiques principales de la retenue sont les suivantes :

surface de la retenue au niveau normal d'exploitation	3 300 m ²
---	----------------------

ARTICLE 7 – EVACUATEUR DE CRUES, DEVERSOIR ET VANNES, DISPOSITIFS DE PRISE ET DE MESURE DU DEBIT A MAINTENIR

a)Le déversoir est constitué par une crête déversante de 15 m de largeur et de 2 m de hauteur. Sa crête est arasée à la cote 437,88 m. Un seuil déversant est également placé à côté des vannes sur une longueur de 6,20 m.

Une échelle limnimétrique rattachée au Nivellement Général de la France sera scellée à proximité du barrage.

b)Deux vannes manuelles seront positionnées entre le clapet à effacement et le seuil déversant. Elles auront une hauteur de 2,60 m et une largeur de 1,25 m.

c)Le débit à maintenir dans le Thiou (débit réservé) sera délivré par une échancrure en rive gauche du barrage. Elle aura une largeur de 2,00 m et une hauteur de 0,14 m pour restituer le quarantième du module et de 0,36 m pour restituer le dixième du module. Un dispositif de visualisation du débit réservé sera implanté à proximité de l'ouvrage concerné.

ARTICLE 8 – CANAUX DE DECHARGE ET DE FUITE

Les canaux de décharge et de fuite sont disposés de manière à écouler facilement toutes les eaux que les ouvrages placés à l'amont peuvent débiter et à ne pas aggraver l'érosion naturelle, non seulement à l'aval des ouvrages, mais également à l'amont.

ARTICLE 9 – MESURES DE SAUVEGARDE

Les eaux devront être utilisées et restituées en aval de manière à garantir chacun des éléments mentionnés à l'article L 211-1 du Code de l'Environnement.

Indépendamment de la réglementation générale, notamment en matière de police des eaux, le permissionnaire sera tenu en particulier de se conformer aux dispositions ci-après.

a) L'exploitation continuera de se faire au fil de l'eau.

b) Les eaux dérivées seront rendues au cours d'eau sans qu'aucune dégradation significative de leur qualité ne puisse être constatée.

c) Des panneaux avertissant de l'existence d'un barrage de prise d'eau sur le Thiou et des risques potentiels en résultant (notamment à cause des chasses de dégravage) devront être mis en place, notamment à proximité immédiate de la prise d'eau et de la centrale, au plus tard un an après la signature du présent arrêté.

d) Un suivi de la qualité du milieu sera réalisé par la réalisation de pêche d'inventaire et de relevé d'IBGN. Un premier relevé sera réalisé avant la mise en service de l'installation, puis sera renouvelé deux ans après la mise en service. Un rapport sera transmis au service de police de l'eau.

ARTICLE 10 – REPERE

Il sera posé aux frais du permissionnaire, en un point qui sera désigné par le service chargé de la police de l'eau, un repère définitif et invariable rattaché au Nivellement Général de la France et associé à une échelle limnimétrique scellée à proximité. Cette échelle, dont le zéro indiquera le niveau normal d'exploitation de la retenue, devra toujours rester accessible aux agents de l'administration, ou commissionnés par elle, qui ont qualité pour vérifier la hauteur des eaux. Elle demeurera visible aux tiers. Le permissionnaire sera responsable de sa conservation.

ARTICLE 11 – OBLIGATIONS DE MESURES A LA CHARGE DU PERMISSIONNAIRE

Le permissionnaire est tenu d'assurer la pose et le fonctionnement des moyens de mesure ou d'évaluation prévus aux articles 5, 7, 9 et 10, de conserver trois ans les dossiers correspondants (calculs des débits turbinés) et de tenir ceux-ci à la disposition des agents de l'administration, ainsi que des personnes morales de droit public dont la liste est fixée en application de l'article L 214-8 du Code de l'Environnement.

La nature des données à recueillir et les modalités de recueil seront décidées en accord avec l'administration chargée de la police des eaux et de la police de la pêche.

ARTICLE 12 – MANŒUVRE DES VANNES DE DECHARGE ET AUTRES OUVRAGES

En dehors des périodes de crues et dans toute la mesure du possible durant ces périodes, la gestion des ouvrages sera conduite de telle manière que le niveau de la retenue ne dépasse pas le niveau normal d'exploitation. Le permissionnaire sera tenu dans ce but de manœuvrer, en temps opportun, la vanne de décharge.

Le niveau de la retenue ne devra pas dépasser le niveau des plus hautes eaux, ni être inférieur au niveau au niveau minimum d'exploitation sauf travaux, chasses ou vidanges. Le permissionnaire devra, de la même façon, manœuvrer les ouvrages prévus aux articles 5 et 7 pour que les conditions relatives à la dérivation et à la transmission des eaux soient respectées.

Dès que les eaux s'abaisseront dans le bief au-dessous du niveau d'exploitation, le permissionnaire sera tenu de réduire ou d'interrompre le fonctionnement de la prise d'eau.

Il sera responsable de l'abaissement des eaux tant que le prélèvement n'aura pas cessé.

En cas de négligence du permissionnaire ou de son refus d'exécuter les manœuvres prévues au présent article en temps utile, il pourra y être pourvu d'office à ses frais, soit par le Maire de la commune, soit par le Préfet, sans préjudice dans tous les cas des dispositions pénales encourues et de toute action civile qui pourrait lui être intentée à raison des pertes et des dommages résultant de son refus ou de sa négligence.

ARTICLE 13 – CHASSES DE DEGRAVAGE

L'exploitant pourra pratiquer des chasses de dégravage en phase descendante des fortes crues. Ces chasses se font par l'ouverture de la vanne de décharge située en rive droite du barrage.

ARTICLE 14 – VIDANGES

La présente autorisation vaut autorisation de vidanger la retenue, mais pour une durée de 30 années seulement conformément à l'article L 214-8 du Code de l'Environnement et en application de l'arrêté du 27 août 1999 fixant les prescriptions générales applicables aux opérations de vidange de plans d'eau soumises à déclaration.

Un suivi physico-chimique de la qualité de l'eau sera réalisé pendant la première vidange afin de déterminer le débit de vidange à ne pas dépasser. Un rapport sera transmis au Préfet. Les concentrations des eaux rejetées devront respecter les conditions de l'article 5 de l'arrêté du 27 août 1999.

ARTICLE 15 – MANŒUVRES RELATIVES A LA NAVIGATION

Néant.

ARTICLE 16 – ENTRETIEN DE LA RETENUE ET DU LIT DU COURS D'EAU

Toutes les fois que la nécessité en sera reconnue, que la responsabilité en incombera à l'existence du barrage de prise d'eau et qu'il en sera requis par le Préfet, le permissionnaire sera tenu d'effectuer le curage de la retenue dans toute la longueur du remous, ainsi que du cours d'eau entre la prise et la restitution, sauf l'application des anciens règlements ou usages locaux et sauf le concours qui pourrait être réclamé des riverains et autres intéressés suivant l'intérêt que ceux-ci auraient à l'exécution de ce travail.

Les modalités de curage seront soumises à l'accord de l'administration chargée de la police des eaux et de la police de la pêche. Elles devront être conformes à l'arrêté du 30 mai 2008 fixant les prescriptions relatives aux opérations d'entretien de cours d'eau et ne pas remettre en cause le mécanisme de transport naturel des sédiments et le maintien du lit dans son profil d'équilibre.

Si la retenue ou les cours d'eau ne sont pas la propriété exclusive du permissionnaire, les riverains, s'ils le jugent préférable, pourront d'ailleurs opérer le curage eux-mêmes et à leurs frais, chacun dans la partie du lit lui appartenant.

Toutes dispositions devront en outre être prises par le permissionnaire pour que le lit du cours d'eau soit conservé dans son état, sa profondeur et sa largeur naturels, notamment en considération des articles L 215-14 à L 215-16 du Code de l'Environnement.

ARTICLE 17 – OBSERVATION DES REGLEMENTS

Le permissionnaire est tenu de se conformer à tous les règlements existants ou à intervenir sur la police, le mode de distribution et le partage des eaux, et la sécurité civile.

ARTICLE 18 – ENTRETIEN DES INSTALLATIONS

Tous les ouvrages doivent être constamment entretenus en bon état par les soins et aux frais du permissionnaire.

ARTICLE 19 – DISPOSITIONS APPLICABLES EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT – MESURES DE SECURITE CIVILE

Le permissionnaire doit informer dans les meilleurs délais le Préfet et le Maire intéressé de tout incident ou accident affectant l'usine objet de l'autorisation et présentant un danger pour la sécurité civile, la qualité, la circulation ou la conservation des eaux.

Dès qu'il en a connaissance, le permissionnaire est tenu, concurremment, le cas échéant, avec la personne à l'origine de l'incident ou de l'accident, de prendre ou de faire prendre toutes les mesures possibles pour mettre fin à la cause du danger ou d'atteinte au milieu aquatique, évaluer les conséquences de l'incident ou de l'accident et y remédier. Le Préfet peut prescrire au permissionnaire les mesures à prendre pour mettre fin au dommage constaté et en circonscrire la gravité, et notamment les analyses à effectuer.

En cas de carences et s'il y a un risque de pollution ou de destruction du milieu naturel, ou encore pour la santé publique et l'alimentation en eau potable, le Préfet peut prendre ou faire exécuter les mesures nécessaires aux frais et risques des personnes responsables.

Dans l'intérêt de la sécurité civile, l'administration pourra, après mise en demeure du permissionnaire, sauf cas d'urgence, prendre les mesures nécessaires pour prévenir ou faire disparaître, aux frais et risques du permissionnaire, tout dommage provenant de son fait, sans préjudice de l'application des dispositions pénales et de toute action civile qui pourrait lui être intentée.

Les prescriptions résultant des dispositions du présent article, pas plus que l'acceptation des plans ou que la surveillance des Ingénieurs prévues aux articles 22 et 23 ci-après, ne sauraient avoir pour effet de diminuer en quoi que ce soit la responsabilité du permissionnaire, qui demeure pleine et entière tant en ce qui concerne les dispositions techniques des ouvrages que leur mode d'exécution, leur entretien et leur exploitation.

ARTICLE 20 – RESERVE DES DROITS DES TIERS

Les droits des tiers sont et demeurent expressément réservés.

ARTICLE 21 – OCCUPATION DU DOMAINE PUBLIC

Néant.

ARTICLE 22 – COMMUNICATION DES PLANS

Les plans des dispositifs à mettre en place pour la délivrance et le contrôle du débit réservé devront être communiqués à l'administration chargée de la police des eaux et de la police de la pêche afin de recueillir son accord.

ARTICLE 23 – EXECUTION DES TRAVAUX – RECOLEMENT – CONTROLES

Les dispositifs de délivrance et de contrôle du débit réservé devront être mis en place, rendus opérationnels, puis modifiés si besoin après mesures de débit, dès la remise en service de la centrale.

Les ouvrages seront exécutés avec le plus grand soin, en matériaux de bonne qualité, conformément aux règles de l'art et aux plans acceptés par l'administration chargée de la police des eaux et de la police de la pêche.

Dès l'achèvement de ces opérations, et au plus tard à l'expiration du délai fixé, le permissionnaire en avisera l'administration chargée de la police des eaux et de la police de la pêche, qui lui fera connaître la date de la visite de récolement devant permettre de constater le respect du débit réservé fixé et la fiabilité du dispositif de contrôle de ce débit.

Lors du récolement des opérations, procès-verbal en sera dressé et notifié au permissionnaire. Ce document décrira avec précision les dispositifs mis en place.

A toute époque, le permissionnaire est tenu de donner aux Ingénieurs et agents chargés de la police des eaux ou de l'électricité et de la pêche accès aux ouvrages, à l'usine et à ses dépendances, sauf dans les parties servant à l'habitation de l'usinier ou de son personnel. Sur les réquisitions des fonctionnaires du contrôle, il devra les mettre à même de procéder à ses frais à toutes les mesures et vérifications utiles pour constater l'exécution du présent règlement.

ARTICLE 24 – MISE EN SERVICE DE L'INSTALLATION

Néant.

ARTICLE 25 – RESERVES EN FORCE

Néant.

ARTICLE 26 – CLAUSES DE PRECARITE

Néant.

ARTICLE 27 – MODIFICATIONS DES CONDITIONS D'EXPLOITATION EN CAS D'ATTEINTE A LA RESSOURCE EN EAU OU AU MILIEU AQUATIQUE

Si les résultats des mesures et les évaluations prévus à l'article 11 mettent en évidence des atteintes aux intérêts mentionnés à l'article L 211-1 du Code de l'Environnement, et en particulier dans les cas prévus à ses articles L 211-3 (II-1°) et L 214-4, le Préfet pourra prendre un arrêté complémentaire modifiant les conditions d'exploitation, en application de l'article R 214-17.

ARTICLE 28 – CESSION DE L'AUTORISATION – CHANGEMENT DANS LA DESTINATION DE L'USINE

Lorsque le bénéfice de l'autorisation est transmis à une autre personne que celle qui était mentionnée au dossier de la demande, le nouveau bénéficiaire doit en faire la notification au Préfet qui, dans les deux mois de cette notification, devra en donner acte ou signifier son refus motivé.

La notification devra comporter une note précisant les capacités techniques et financières du repreneur et justifiant qu'il remplit les conditions de nationalité prescrites par l'article 26 de la Loi du 16 octobre 1919 et l'article 1^{er} du décret n° 70-414 du 12 mai 1970. Le permissionnaire doit, s'il change l'objet principal de l'utilisation de l'énergie, en aviser le Préfet.

ARTICLE 29 – REDEVANCE DOMANIALE

Néant.

ARTICLE 30 – MISE EN CHOMAGE – RETRAIT DE L'AUTORISATION – CESSATION DE L'EXPLOITATION – RENONCIATION A L'AUTORISATION

Indépendamment des poursuites pénales, en cas d'inobservation des dispositions du présent arrêté, le Préfet met le permissionnaire en demeure de s'y conformer dans un délai déterminé. Dans cet esprit, il pourra exiger la modification du dispositif de délivrance du débit réservé mis en place s'il ne donne finalement pas satisfaction dans le temps.

Si, à l'expiration du délai fixé, il n'a pas été obtempéré à cette injonction par le bénéficiaire de la présente autorisation, ou par l'exploitant, ou encore par le propriétaire de l'installation s'il n'y a pas d'exploitant, le Préfet peut mettre en œuvre l'ensemble des dispositions de l'article L 216-1 du Code de l'Environnement concernant la consignation d'une somme correspondant à l'estimation des travaux à réaliser, la réalisation d'office des mesures prescrites et la suspension de l'autorisation.

Il est rappelé que le contrat d'achat par EDF de l'énergie produite pourra, le cas échéant, être suspendu ou résilié dans les conditions fixées par le décret n° 86-203 du 7 février 1986, modifié par le décret n° 93-925 du 13 juillet 1993.

ARTICLE 31 – RENOUELEMENT DE L'AUTORISATION

Néant.

ARTICLE 32 – PUBLICATION ET EXECUTION

Le Secrétaire Général de la Préfecture de la Haute-Savoie, le Maire de la commune de CRAN GEVRIER et le Directeur Départemental de l'Agriculture et de la Forêt sont chargés, chacun en ce qui le concerne, d'assurer l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié au permissionnaire, publié au Recueil des Actes Administratifs de la Préfecture et affiché en Mairie de CRAN GEVRIER.

Copie en sera également adressée à :

- Monsieur le Directeur Régional de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement, Division Energie-Electricité et Sous-Sol, Pôle Electricité – GRENOBLE
- Monsieur le Directeur Régional de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement – ANNECY
- Monsieur le Directeur Régional de l'Environnement, Service Nature, Eau et Paysages
- Monsieur le Directeur Régional de l'Environnement, Service Intégration et Evaluation Environnementale
- Madame la Déléguée Régionale de l'ONEMA
- Monsieur le Technicien de l'Environnement, ONEMA 74
- MM. les Présidents des Chambres d'Agriculture, de Commerce et de l'Industrie, et des Métiers de Haute-Savoie.

En outre :

- une copie du présent arrêté d'autorisation sera déposée à la Mairie de CRAN GEVRIER et pourra y être consultée,
- un extrait de l'arrêté, énumérant notamment les prescriptions auxquelles l'installation est soumise, sera affiché à la Mairie pendant une durée minimale d'un mois ; une attestation de l'accomplissement de cette formalité sera dressée par le Maire et envoyée au Préfet,
- le même extrait sera affiché en permanence de façon visible dans l'installation, par les soins du permissionnaire.

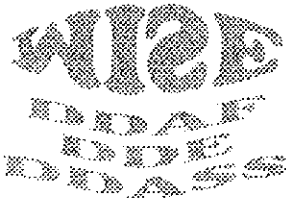
Annecy, le 30/12/2008

LE PREFET

SIGNE

MISE

mission Inter-services de l'eau
L'UNION FAIT LA FORCE



REPUBLIQUE FRANCAISE
PREFECTURE DE LA HAUTE-SAVOIE

DIRECTION DEPARTEMENTALE
DE L'EQUIPEMENT
SERVICE DE L'EAU ET DE L'EQUIPEMENT
DES COLLECTIVITES LOCALES
CELLULE EAU ET ENVIRONNEMENT

=====
Usine hydroélectrique de Brassilly

Arrêté n° DDE 95.299
(arrêté modificatif)

LE PREFET DE LA HAUTE-SAVOIE
Chevalier de la Légion d'Honneur

cité administrative
rue Dupanloup
74040 Annecy cedex

tel: 50 88 41 67
télécopie 50 88 43 28

- VU la loi modifiée du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique ;
- VU le décret n° 81.375 du 15 Avril 1981 modifiant l'article 16 de la loi du 16 Octobre 1919 modifiée relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique et pris pour son application en ce qui concerne la forme et la procédure d'instruction des demandes d'autorisation d'usines hydrauliques ;
- VU le décret n° 81.376 du 15 Avril 1981 modifié portant application de l'article 28 (2è) de la loi du 16 Octobre 1919 modifiée relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique et approuvant le modèle de règlement d'eau pour les entreprises autorisées sur les cours d'eau ;
- VU l'arrêté préfectoral n° DDE 94.529 DU 21 Septembre 1994 autorisant ELECTRICITE DE FRANCE à disposer de l'énergie de la rivière LE FIER pour la mise en jeu d'une entreprise située sur le territoire des communes de CHAVANOD, CRAN-GEVRIER, MEYTHET et POISY (chute de Brassilly) pour la production d'énergie électrique ;
- VU le rapport en date du 06 juin 1995 de M. le Directeur Départemental de l'Equipelement chargé de la police des eaux du FIER ;
- SUR proposition de M. le Secrétaire Général de la Préfecture de la Haute-Savoie ;

.../...

ARRETE :**ARTICLE 1er.**

Le premier paragraphe de l'article 3 de l'arrêté préfectoral n° 94.529 du 21 Septembre 1994 est modifié comme suit :

"Article 3 - Caractéristiques de la prise d'eau.

Le niveau de la retenue sera fixé comme suit :

- niveau normal d'exploitation : cote 410.20 NGFA

Le débit maximum prélevé sera de 14m³/seconde"

ARTICLE 2.

Les autres dispositions de cet article et de l'arrêté préfectoral du 21 Septembre 1994 restent inchangées.

ARTICLE 3.

Le présent arrêté sera notifié à ELECTRICITE DE FRANCE, publié au Recueil des Actes Administratifs de la Préfecture de la Haute-Savoie et affiché dans les mairies de CHAVANOD, CRAN-GEVRIER, MEYTHET et POISY.

Ampliation en sera également adressée à :

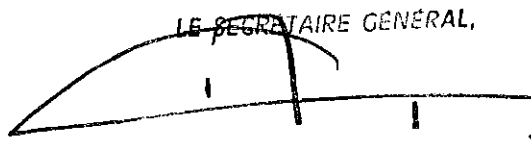
- Monsieur le Directeur Départemental de l'Agriculture et de la Forêt à ANNECY,
- Monsieur le Directeur Régional de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement -Division du Contrôle de l'Electricité-38030 GRENOBLE Cédex 2.
- Monsieur le Directeur Régional de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement -Subdivision d'ANNECY-,
- Monsieur le Directeur Régional de l'Environnement 69009 LYON,
- Monsieur le Directeur Départemental de la Jeunesse et des Sports à ANNECY,
- Monsieur le Directeur des Services Fiscaux à ANNECY,
- Madame le Directeur Départemental des Affaires Sanitaires et Sociales.

ANNECY, le 13 JUIN 1995

LE PREFET,

Pour le Prefet,

LE SECRETAIRE GENERAL,



Albert DUPUY

République Française

PREFECTURE DE LA HAUTE-SAVOIE

DIRECTION DEPARTEMENTALE
de l'EQUIPEMENT
Service de l'Eau et de l'Equipement
des Collectivités Locales
Cellule Eau et Environnement

ARRETE n°DDE 94. 529

LE PREFET DE LA HAUTE-SAVOIE
Chevalier de la Légion d'Honneur

- VU le Code Rural, notamment son livre I et son livre II nouveau ;
- VU le Code Général des Impôts, notamment les articles 1399, 1473 et 1475 et les articles 316 à 321B et 323 de son annexe III ;
- VU la loi modifiée du 16 Octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique ;
- VU la loi n° 76.629 du 10 Juillet 1976 relative à la protection de la nature et le décret n° 77.1141 du 12 Octobre 1977 modifié pris pour l'application de son article 2 ;
- VU le décret n° 81.375 du 15 Avril 1981 modifiant l'article 16 de la loi du 16 Octobre 1919 modifiée relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique et pris pour son application en ce qui concerne la forme et la procédure d'instruction des demandes d'autorisation d'usines hydrauliques ;
- VU le décret n° 81.376 du 15 Avril 1981 modifié portant application de l'article 28 (2è) de la loi du 16 Octobre 1919 modifiée relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique et approuvant le modèle de règlement d'eau pour les entreprises autorisées sur les cours d'eau ;
- VU la loi n°84.512 du 29 juin 1984 relative à la pêche en eau douce et à la gestion des ressources piscicoles;
- VU le décret 87.214 du 25 Mars 1987 modifié, relatif aux réserves en force et en énergie ;
- VU la loi sur l'eau n° 92.3 du 3 Janvier 1992 modifiant l'article 16 de la loi du 16 Octobre 1919 modifiée notamment l'article 47-II concernant la procédure de renouvellement des autorisations ;
- VU les pétitions en date du 10 Octobre 1991 et du 31 Décembre 1992 par lesquelles Electricité de France demande le renouvellement de l'autorisation de disposer de l'énergie de la rivière Le Fier pour poursuivre, au-delà du 16.10.1994, l'exploitation d'une entreprise dans les communes de CHAVANOD, CRAN-GEVRIER, MEYTHET et POISY destinée à la production d'énergie électrique (chute de Brassilly) ;

- VU** les pièces de l'instruction à laquelle l'affaire a été soumise conformément au décret n° 81.375 du 15 Avril 1981, notamment les résultats de l'enquête publique et l'avis de M. le Commissaire-enquêteur ;
- VU** l'avis du Conseil Général du département en date du 16 Mai 1994 ;
- VU** l'avis de la commission départementale des sites dans sa séance du 6 Juillet 1994 ;
- VU** le rapport et les propositions en date du 12 septembre 1994 de M. le Directeur Départemental de l'Équipement chargé de la police des eaux du FIER
- SUR** proposition de M. le Secrétaire Général de la Préfecture de la HAUTE-SAVOIE;

A R R E T E

ARTICLE 1er - AUTORISATION DE DISPOSER DE L'ENERGIE.

Electricité de France est autorisée, dans les conditions du présent règlement et pour une durée de 40 ans (quarante) à compter du 16 Octobre 1994, à disposer de l'énergie de la rivière le Fier code hydrologique V12440, pour la mise en jeu d'une entreprise située sur le territoire des communes de CHAVANOD, CRAN-GEVRIER, MEYTHET et POISY (département de la Haute-Savoie) et destinée à la production d'énergie électrique en vue de la fourniture aux usagers dans le cadre des dispositions législatives ou réglementaires en vigueur.

La puissance maximum brute de l'entreprise est fixée à 2884 kilowatts.

ARTICLE 2 - SECTION AMENAGEE.

Les eaux seront dérivées au moyen d'un barrage (PK 968,75) et d'une prise situés sur le territoire des communes de CRAN-GEVRIER et POISY, à l'aval et en contrebas des viaducs permettant la traversée du Fier par la voie ferrée et la voie rapide de POISY.

Elles seront restituées à la rivière à la cote 389,20 NGFA.

La hauteur de chute sera d'environ 21 mètres en eaux moyennes.

ARTICLE 3 - CARACTERISTIQUES DE LA PRISE D'EAU.

Le niveau de la retenue sera fixé comme suit :

- niveau normal d'exploitation : cote 410,20 NGFA ;
- niveau des plus hautes eaux : cote 410,20 NGFA ;

Le débit maximum prélevé sera de 14 m³/seconde.

La prise d'eau type "latéral" sera installée en rive droite. Elle sera équipée de prégrilles en barreaux verticaux de fer plat de 100 x 17mm espacés de 250mm. La chambre de mise en charge sera munie d'un jeu de grilles fines (barreaux espacés de 15mm).

Le débit maintenu dans la rivière, immédiatement en aval de la prise d'eau (débit réservé), ne devra pas être inférieur à 2710 l/s ou au débit naturel du cours d'eau en amont de la prise si celui-ci est inférieur à ce chiffre.

Les valeurs retenues pour le débit prélevé et le débit réservé seront affichées à proximité immédiate de la prise d'eau et de la centrale, de façon permanente et lisible pour tous les usagers du cours d'eau.

ARTICLE 4 - CARACTERISTIQUES DU BARRAGE.

Selon les propositions du pétitionnaire, le barrage de prise aura les caractéristiques suivantes :

Type : "à piles"

Hauteur au-dessus du terrain naturel : 4,50m

Longueur en crête : 50,00m

Largeur en crête : 0,80m (à la base de la partie arrondie)

Cote de la crête du barrage : 410,20 NGFA

ARTICLE 5 - EVACUATEUR DE CRUES, DEVERSOIR ET VANNES, DISPOSITIF DE MESURE DE DEBIT RESERVE.

- a) Le déversoir sera situé en crête du barrage. Il aura une longueur de 45,00m. Sa crête sera arasée à la cote 410,20 NGFA. Une échelle limnimétrique rattachée au niveau NGFA sera scellée à proximité du déversoir.
- b) La vanne de décharge sera constituée par une vanne tablier. Elle présentera une section de 17,50m² en position d'ouverture maximale. Son seuil sera établi à la cote 405,70 NGFA. La vanne sera disposée de manière à pouvoir être facilement manoeuvrée en tous temps.
- c) Le débit réservé prévu à l'article 3 sera assuré au moyen d'une vanne de 0,60m x 1,00m, maintenue à pleine ouverture par un système fixe et installée en rive droite à l'aval des prégrilles. Le seuil de cette vanne sera calé à la cote 405,70 NGFA.

ARTICLE 6 - CANAUX DE DECHARGE ET DE FUITE.

Les canaux de décharge et de fuite seront disposés de manière à écouler facilement toutes les eaux que les ouvrages placés à l'amont peuvent débiter et à ne provoquer aucune érosion, non seulement à l'aval des ouvrages, mais également à l'amont.

ARTICLE 7 - MESURES DE SAUVEGARDE.

L'usage des eaux et leur transmission en aval devront se faire de manière à ne pas compromettre la salubrité publique, l'alimentation des personnes et des animaux, la navigation, la satisfaction des besoins domestiques, les installations agricoles et industrielles, le maintien des équilibres biologiques, la qualité des sites et paysages, la pratique des loisirs et des sports, le rétablissement du libre écoulement des eaux et, d'une façon générale, la bonne utilisation des eaux, d'une part, et d'autre part, la conservation, la reproduction et la libre circulation du poisson.

Indépendamment de la réglementation générale, notamment en matière de police des eaux, le permissionnaire sera tenu en particulier de se conformer aux dispositions relatives à la conservation et à la reproduction du poisson ; il établira et entretiendra des dispositifs destinés à éviter la pénétration du poisson dans les canaux d'aménée et de fuite.

Pour compenser les difficultés que la présence et l'exploitation des ouvrages apporteront aux migrations du poisson et le dépeuplement qui peut en être la conséquence, le permissionnaire fournira chaque année, aux époques et aux points indiqués par le service chargé de la pêche, des alevins dont les espèces, la taille et les quantités seront également indiquées par ce service, sans toutefois que la dépense correspondant à cette fourniture puisse dépasser la valeur de 3915 alevins de truites de six mois, soit 3161 F (valeur au 1er Janvier de l'année 1992).

Le permissionnaire aura la faculté de se libérer de l'obligation de repeuplement résultant du paragraphe ci-dessus par le versement annuel à titre de fonds de concours au Trésor Public d'une somme égale au montant mentionné au paragraphe précédent. Le montant de cette somme sera révisé lors de la publication de chaque décision ministérielle fixant une nouvelle valeur de cession des alevins de repeuplement pris dans les établissements de pisciculture, sur la base de cette nouvelle valeur.

ARTICLE 8 - REPERE.

Il sera posé aux frais du permissionnaire en un point qui sera désigné par le service chargé de la police des eaux, un repère définitif et invariable rattaché au nivellement général de la France et associé à une échelle limnimétrique scellée à proximité.

Cette échelle, dont le zéro indiquera le niveau normal d'exploitation, devra toujours rester accessible aux agents de l'Administration qui ont qualité pour vérifier la hauteur des eaux. Elle demeurera visible aux tiers. Le permissionnaire sera responsable de sa conservation.

ARTICLE 9 - MANOEUVRE DES VANNES DE DECHARGE ET AUTRES OUVRAGES.

En dehors des périodes de crues et dans toute la mesure du possible durant ces périodes, la gestion des ouvrages sera conduite de telle manière que le niveau de la retenue ne dépasse pas le niveau normal d'exploitation. Le permissionnaire sera tenu dans ce but de manoeuvrer, en temps opportun, les ouvrages de décharge.

En aucun cas, le niveau de la retenue ne devra dépasser le niveau des plus hautes eaux.

Le permissionnaire devra, de la même façon, manoeuvrer les ouvrages prévus aux articles 3 et 5 pour que les conditions relatives à la dérivation et à la transmission des eaux soient respectées.

S'il y a lieu, le service chargé de la police des eaux réglementera les éclusées de l'usine de façon que soit maintenu dans le canal de fuite le débit nécessaire à la sauvegarde des intérêts généraux, dans la limite d'un débit égal à celui qui arrive à la prise d'eau.

En cas de négligence du permissionnaire ou de son refus d'exécuter les manoeuvres prévues au présent article en temps utile, il pourra y être pourvu d'office à ses frais, soit par le maire de la commune, soit par les agents du service chargé de la police des eaux, sans préjudice dans tous les cas des dispositions pénales encourues, et de toute action civile qui pourrait lui être intentée à raison des pertes et des dommages résultant de son refus ou de sa négligence.

Le cas échéant, le service chargé de la police des eaux réglementera les chasses et les vidanges de la retenue.

ARTICLE 10 - MANOEUVRES RELATIVES A LA NAVIGATION.

- NEANT -

ARTICLE 11 - ENTRETIEN DE LA RETENUE ET DU LIT DU COURS D'EAU.

Toutes les fois que la nécessité en sera reconnue et qu'il en sera requis par le préfet, le permissionnaire sera tenu d'effectuer le curage de la retenue dans toute la longueur du remous ainsi que celle du cours d'eau entre la prise et la restitution, sauf l'application des anciens règlements ou usages locaux et sauf le concours qui pourrait être réclamé des riverains et autres intéressés suivant l'intérêt que ceux-ci auraient à l'exécution de ce travail.

Lorsque la retenue ou les cours d'eau ne seront pas la propriété exclusive du permissionnaire, les riverains, s'ils le jugent préférable, pourraient d'ailleurs opérer le curage eux-mêmes et à leurs frais, chacun au droit de soi et dans la moitié du lit du cours d'eau.

Toutes dispositions devront en outre être prises par le permissionnaire pour que le lit du cours d'eau soit conservé dans son état, sa profondeur et sa largeur naturelles

ARTICLE 12 - OBSERVATION DES REGLEMENTS.

Le permissionnaire est tenu de se conformer à tous les règlements existants ou à intervenir sur la police, le mode de distribution et le partage des eaux.

ARTICLE 13 - ENTRETIEN DES OUVRAGES.

Tous les ouvrages devront être constamment entretenus en bon état par les soins et aux frais du permissionnaire.

ARTICLE 14 - MESURES DE SECURITE PUBLIQUE.

Dans l'intérêt de la sécurité publique, l'administration pourra, après mise en demeure du permissionnaire sauf cas d'urgence, prendre les mesures nécessaires pour prévenir ou faire disparaître, aux frais et risques du permissionnaire, tout dommage provenant de son fait sans préjudice de l'application des dispositions pénales et de toute action civile qui pourrait lui être intentée.

Les prescriptions résultant des dispositions du présent article, pas plus que la surveillance des ingénieurs prévue à l'article 17 ci-après, ne sauraient avoir pour effet de diminuer en quoi que ce soit la responsabilité du permissionnaire qui demeure pleine et entière tant en ce qui concerne les dispositions techniques des ouvrages que leur mode d'exécution, leur entretien et leur exploitation.

ARTICLE 15 - RESERVE DES DROITS DES TIERS.

Les droits des tiers sont et demeurent expressément réservés.

ARTICLE 16 - OCCUPATION DU DOMAINE PUBLIC.

- NEANT -

ARTICLE 17 - EXECUTION DES TRAVAUX - RECOLEMENT - CONTROLES.

Les ouvrages ont été exécutés avec le plus grand soin, en matériaux de bonne qualité, conformément aux règles de l'art.

Les agents du service chargé de la police des eaux et ceux du service chargé de l'électricité, ainsi que les fonctionnaires et agents habilités pour constater les infractions en matière de police des eaux, auront en permanence libre accès aux chantiers des travaux et aux ouvrages en exploitation.

Lors du récolement des travaux, procès-verbal en est dressé et notifié au permissionnaire.

A toute époque, le permissionnaire est tenu de donner aux ingénieurs et agents chargés de la police des eaux ou de l'électricité et de la pêche accès aux ouvrages, à l'usine et à ses dépendances, sauf dans les parties servant à l'habitation de l'usinier ou de son personnel. Sur les réquisitions des fonctionnaires du contrôle, il devra les mettre à même de procéder à ses frais à toutes les mesures et vérifications utiles pour constater l'exécution du présent règlement.

ARTICLE 18 - RESERVES EN FORCE.

La puissance totale instantanée que le permissionnaire laissera dans le département de la Haute-Savoie, pour être rétrocédée par les soins du Conseil Général au profit des services publics de l'Etat, du département, des communes, des établissements publics ou des associations syndicales autorisées et des groupements agricoles d'utilité générale, ainsi qu'aux entreprises industrielles ou artisanales qui s'installent, se développent et créent ou maintiennent des emplois, sera au total de 44 KW.

Pendant la première année à compter de l'achèvement des travaux, les demandes du Conseil Général devront être satisfaites par le permissionnaire sans préavis.

Passé ce délai et jusqu'à l'expiration de la dixième année à compter de l'achèvement des travaux, le permissionnaire ne sera tenu de satisfaire aux demandes qu'après un préavis de six mois.

Au-delà de la dixième année et jusqu'à expiration de l'autorisation, le préavis sera de douze mois.

ARTICLE 19 - (Article abrogé par le décret 88.639 du 6.05.1988)

- NEANT -

ARTICLE 20 - MODALITES DE FOURNITURE DES RESERVES D'ENERGIE.

Les réserves d'énergie indiquées à l'article 18 ci-dessus seront livrées aux conditions fixées par les articles 3, 4 et 5 du décret n°87-214 du 25 Mars 1987 modifié ;

ARTICLE 21 - CLAUSES DE PRECARITE.

Le permissionnaire ne peut prétendre à aucune indemnité ni dédommagement quelconque si, à quelque époque que ce soit, l'administration reconnaît nécessaire de prendre, dans l'intérêt de la défense nationale, de la sécurité et de la salubrité publiques, notamment pour l'alimentation en eau des centres habités, de la police et de la répartition des eaux, ainsi que pour prévenir, faire cesser les inondations ou préserver l'environnement, des mesures qui le privent d'une manière temporaire ou définitive de tout ou partie des avantages résultant du présent règlement.

ARTICLE 22 - CESSION DE L'AUTORISATION - CHANGEMENT DANS LA DESTINATION DE L'USINE.

Tout projet de cession totale ou partielle de la présente autorisation, toute demande de changement de permissionnaire doivent être notifiés au préfet qui, dans les deux mois de cette notification, devra en donner acte ou signifier son refus motivé.

Le permissionnaire doit, s'il change l'objet principal de l'utilisation de l'énergie, en aviser le Préfet.

ARTICLE 23 - REDEVANCE DOMANIALE ET IMPOTS

Redevance domaniale : NEANT

Impôts :

En application des dispositions des articles 1399, 1473 et 1475 du Code Général des Impôts et des articles 316 à 321 B et 323 de l'annexe III du même code, la valeur locative de la force motrice de la chute et de ses aménagements sera répartie entre les communes intéressées, conformément aux pourcentages suivants :

- commune de CHAVANOD	9,29%
- commune de CRAN-GEVRIER	18,80%
- commune de MEYTHET	0,24%
- commune de POISY	71,67%

Ces pourcentages pourront être révisés dans la mesure où les éléments servant de base à la répartition se trouveront modifiés.

ARTICLE 24 - MISE EN CHOMAGE - RETRAIT DE L'AUTORISATION - CESSATION DE L'EXPLOITATION - RENONCIATION A L'AUTORISATION.

Faute par le permissionnaire de se conformer dans les délais fixés aux dispositions prescrites, sans préjudice des dispositions prévues à l'article 1er de la loi modifiée du 16 Octobre 1919, l'administration peut, suivant les circonstances et après mise en demeure, prononcer le retrait d'office de l'autorisation ou mettre l'usine en chômage, et, dans tous les cas, elle prend les mesures nécessaires pour faire disparaître, aux frais du permissionnaire, tout dommage provenant de son fait, sans préjudice de l'application des dispositions pénales relatives aux contraventions en matière de cours d'eau ou de grande voirie.

Il en est de même dans le cas où, après s'être conformé aux dispositions prescrites par le présent arrêté, le permissionnaire changerait l'état des lieux sans y être préalablement autorisé, s'il ne maintient pas constamment les ouvrages en bon état d'entretien ou s'il cesse d'avoir la libre disposition en permanence de l'un des ouvrages visés aux articles 2 à 6 ou de son terrain d'emprise.

Si l'entreprise cesse d'être exploitée pendant une durée de 3 ans, l'administration peut prononcer le retrait d'office de l'autorisation et imposer au permissionnaire le rétablissement, à ses frais, du libre écoulement du cours d'eau. Au cas où le permissionnaire déclare renoncer à l'autorisation, l'administration en prononce le retrait d'office et peut imposer le rétablissement du libre écoulement des eaux aux frais du permissionnaire.

ARTICLE 25 - RENOUELEMENT DE L'AUTORISATION.

La demande tendant au renouvellement de la présente autorisation doit être présentée au Préfet cinq ans au moins avant sa date d'expiration.

Au plus tard trois ans avant cette expiration, l'Administration prend la décision soit de mettre fin définitivement à cette autorisation à son expiration, soit d'instituer une autorisation nouvelle à compter de l'expiration.

A défaut par l'Administration d'avoir, avant cette date, notifié sa décision au permissionnaire, l'autorisation actuelle est prorogée aux conditions antérieures, mais pour une durée équivalente au dépassement.

Lors de l'établissement d'une autorisation nouvelle, le permissionnaire actuel a un droit de préférence s'il accepte les conditions du nouveau règlement d'eau. Cette autorisation nouvelle doit être instituée au plus tard le jour de l'expiration du titre en cours, c'est-à-dire soit à la date normale d'expiration, soit si l'alinéa précédent est mis en oeuvre, à la nouvelle date déterminée selon les dispositions de cet alinéa. A défaut, pour assurer la continuité de l'exploitation, ce titre est prorogé aux conditions antérieures jusqu'au moment où est délivrée la nouvelle autorisation.

ARTICLE 26 - PUBLICATION ET EXECUTION.

M. le Secrétaire Général de la Préfecture de la Haute-Savoie, MM. les Maires de CHAVANOD, CRAN-GEVRIER, MEYTHET et POISY, M. le Directeur Départemental de l'Équipement sont chargés, chacun en ce qui le concerne, d'assurer l'exécution du présent arrêté qui sera notifié au permissionnaire, publié au Recueil des Actes Administratifs de la Préfecture et affiché dans chacune des Mairies.

Ampliation en sera également adressée à :

- Monsieur le Directeur Départemental de l'Agriculture et de la Forêt à ANNECY,
- Monsieur le Directeur Régional de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement - Division du Contrôle de l'Électricité - 38030 GRENOBLE Cédex 2,
- Monsieur le Directeur Régional de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement - Subdivision d'ANNECY,

- Monsieur le Directeur Régional de l'Environnement 69009 LYON,
- Madame le Directeur Départemental de la Jeunesse et des Sports à ANNECY.
- Monsieur le Directeur des Services Fiscaux à ANNECY,
- Madame le Directeur Départemental des Affaires Sanitaires et Sociales.

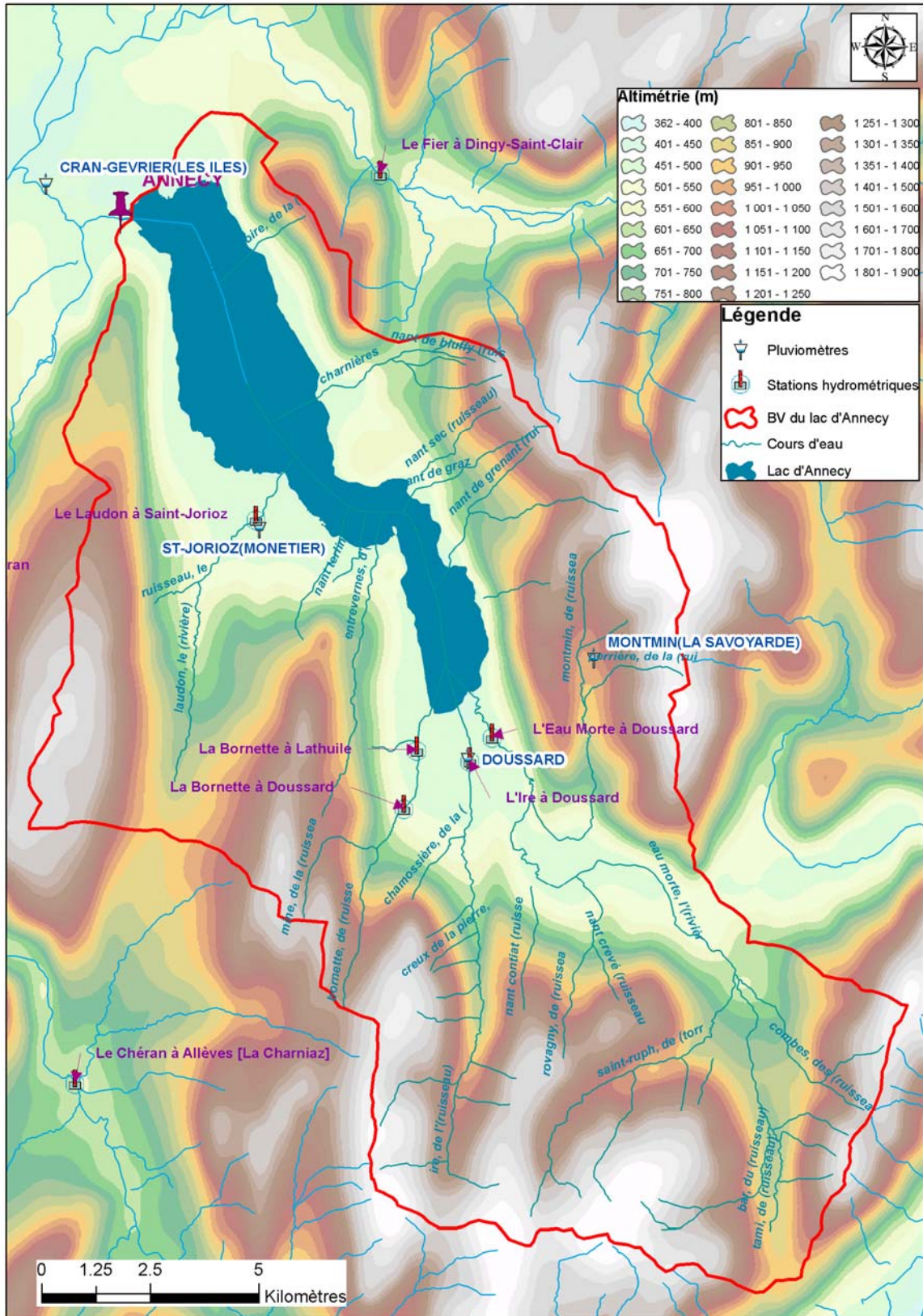
ANNECY, le 21 SEP. 1994

LE PREFET,

Pour le Préfet,
LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL,

Signé : J.-P. COGEZ

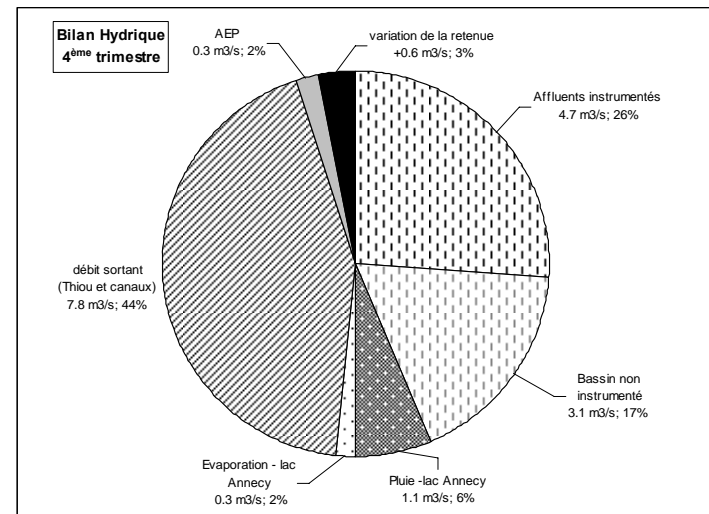
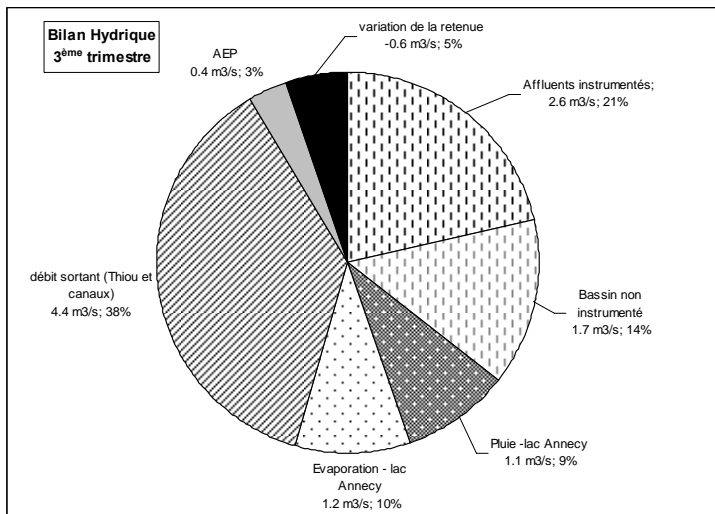
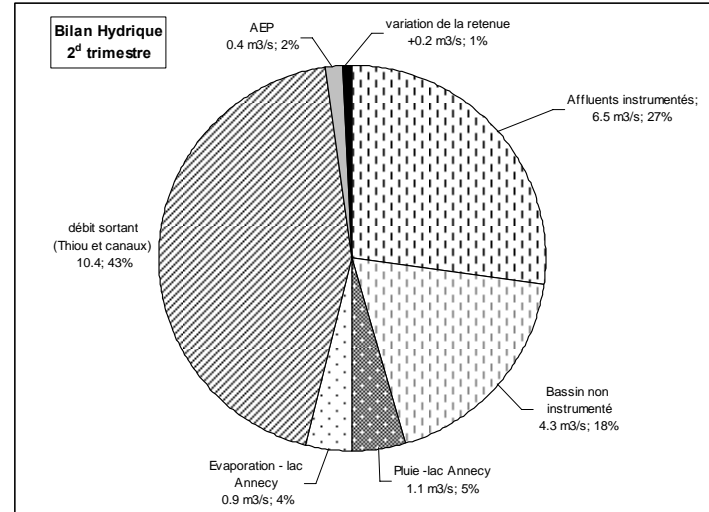
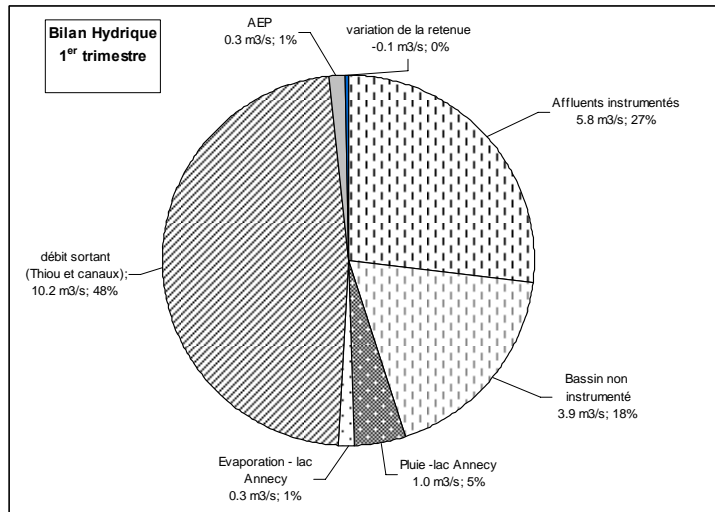
Annexe 4 Implantation des stations hydrométriques et pluviométriques



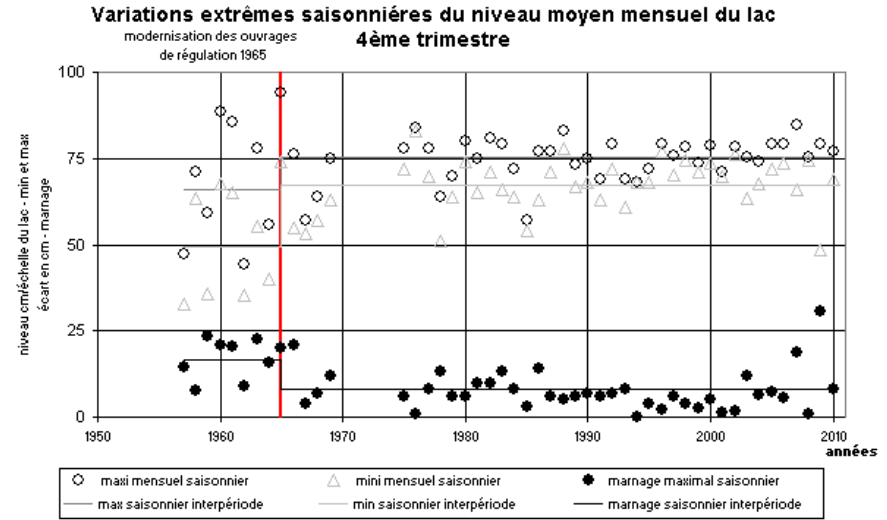
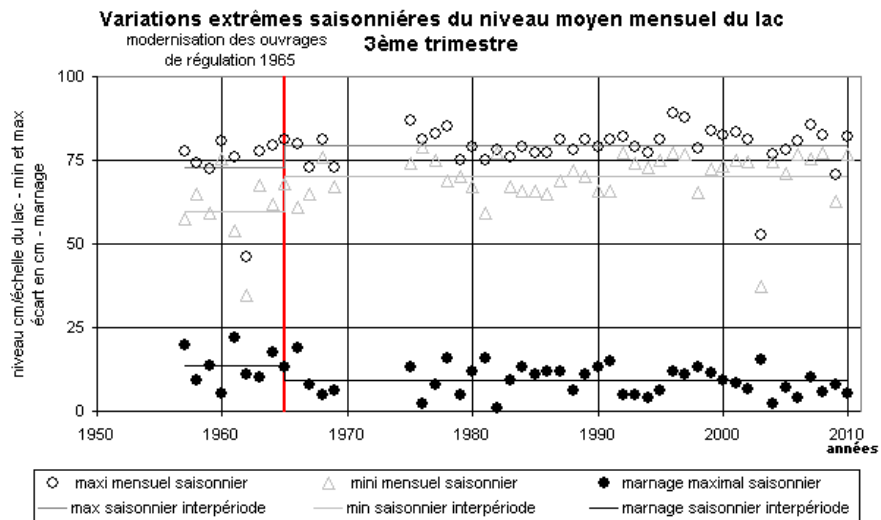
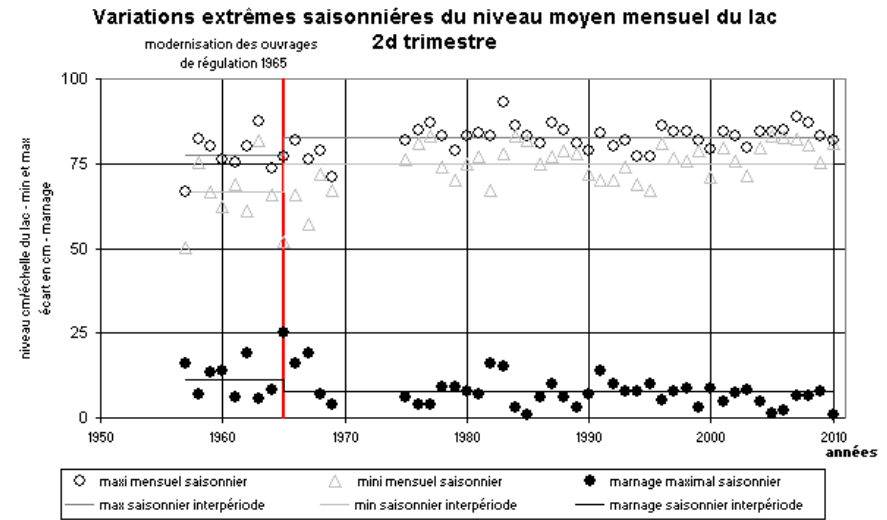
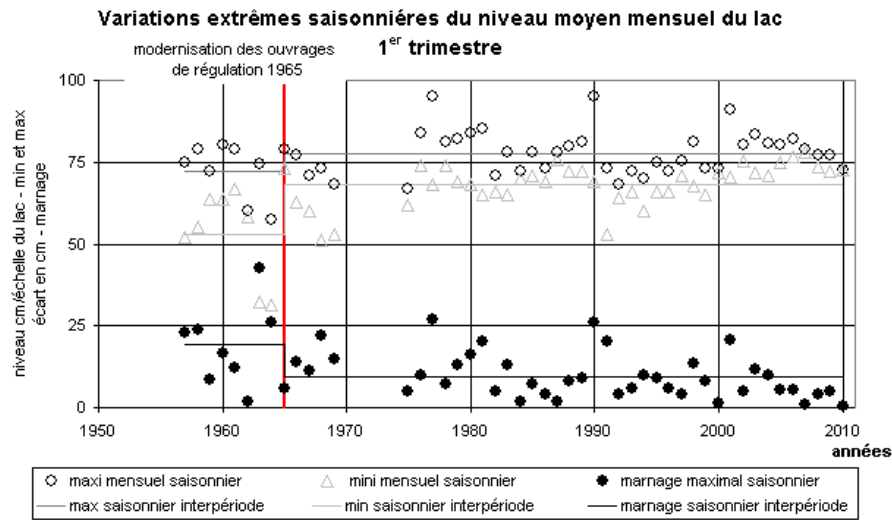
Annexe 5 Recensement des sources de données

Type	Pas de temps	période	source	Remarques
Chroniques : - Niveau du Lac - Débit des canaux	journalier	1997 - 2010	Mairie Annecy	Données numériques
Chroniques : - Niveau du Lac	mensuel	1965 - 1993	Mairie Annecy	Données papiers numérisées pour l'étude
Chronique : - Niveau du Lac	journalier	1957 -1968	Mairie Annecy	Données papiers numérisées pour l'étude
Chroniques : - Niveau du Lac - Débit des canaux	journalier	Cote :1865 1892 à 1902	[5] Conférence d'A.CROLARD, 1902	Hydrogrammes papiers non numérisables Valeurs numériques de cotes et débits minimales et maximales annuelles
		Débit : 1865,1862 à 1869, 1899 à 1901		
Chronique : - Niveau du Lac	Mensuel Extrêmes journalier mensuel		C2A	Données papiers
Recensement des cotes extrêmes du Lac	-	1570-1910	[5] Note d'A.CROLARD, 1902	Liste chronologique des principales crues du Lac
Cotes extrêmes du Lac	-	1651-2006	Graphique des crues du Lac Pas de références	Données papiers numérisées pour l'étude
Débordement du Lac	-	1651 - 1928	[1] H.ONDE 1944	Liste des crues de plus de 1m30
Marnage moyen du Lac	-	Avant 1931	[1] H.ONDE 19244	Valeurs ponctuelles ou moyennes

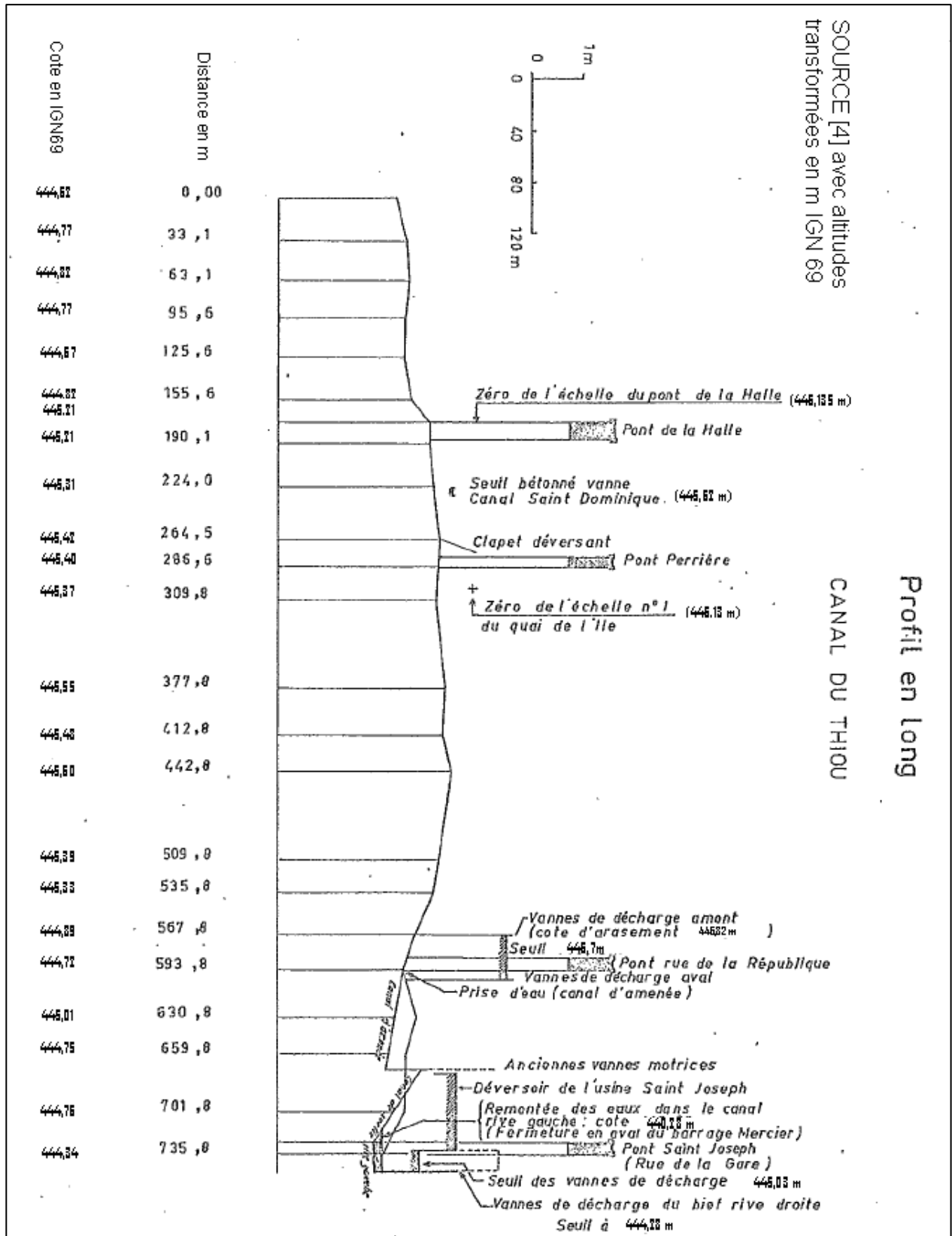
Annexe 6 Répartition saisonnière des volumes entrant en jeu dans le bilan hydrique du Lac d'Annecy



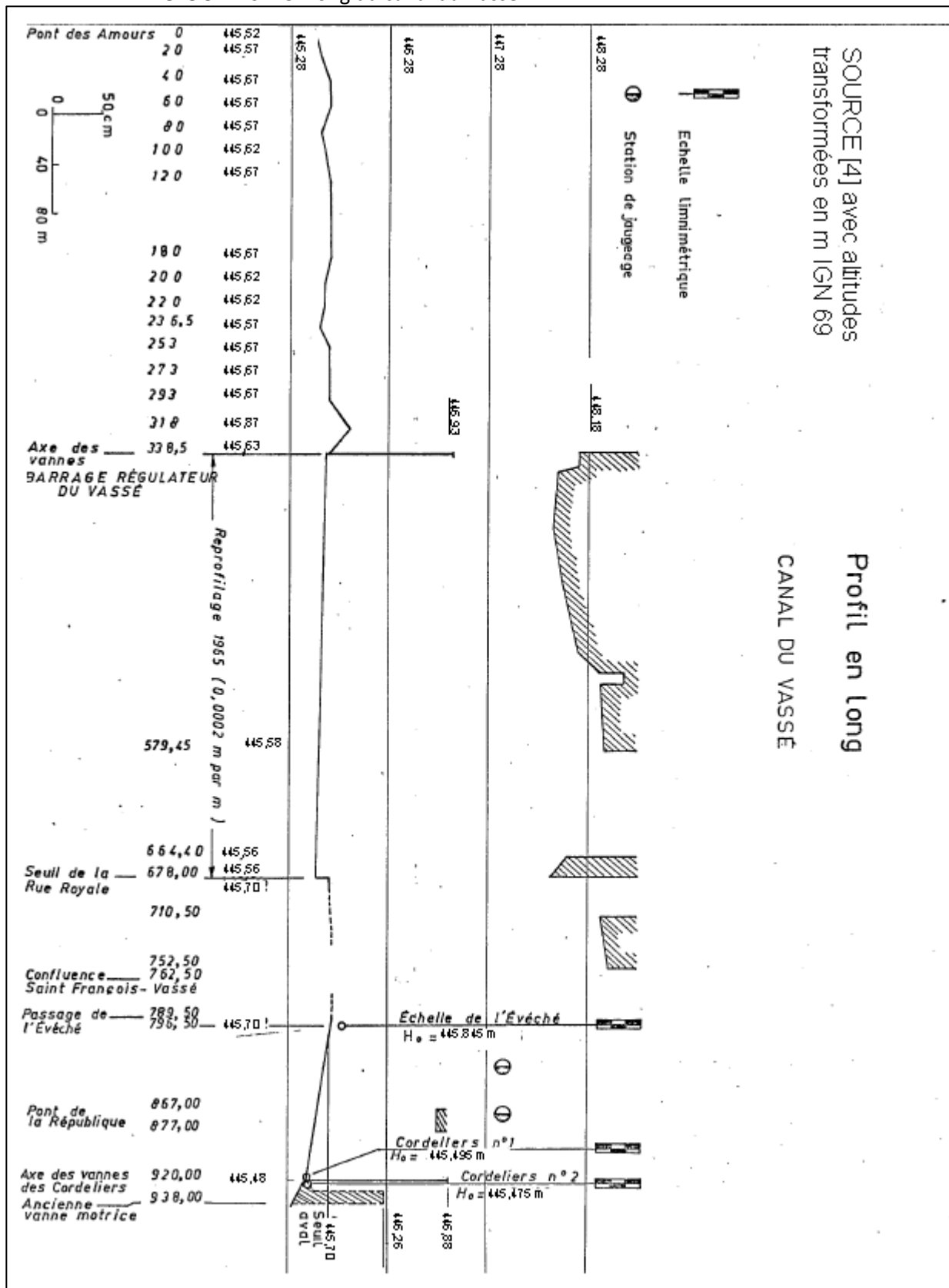
Annexe 7 Evolution des niveaux mensuels extrêmes du Lac par saison et par période historique

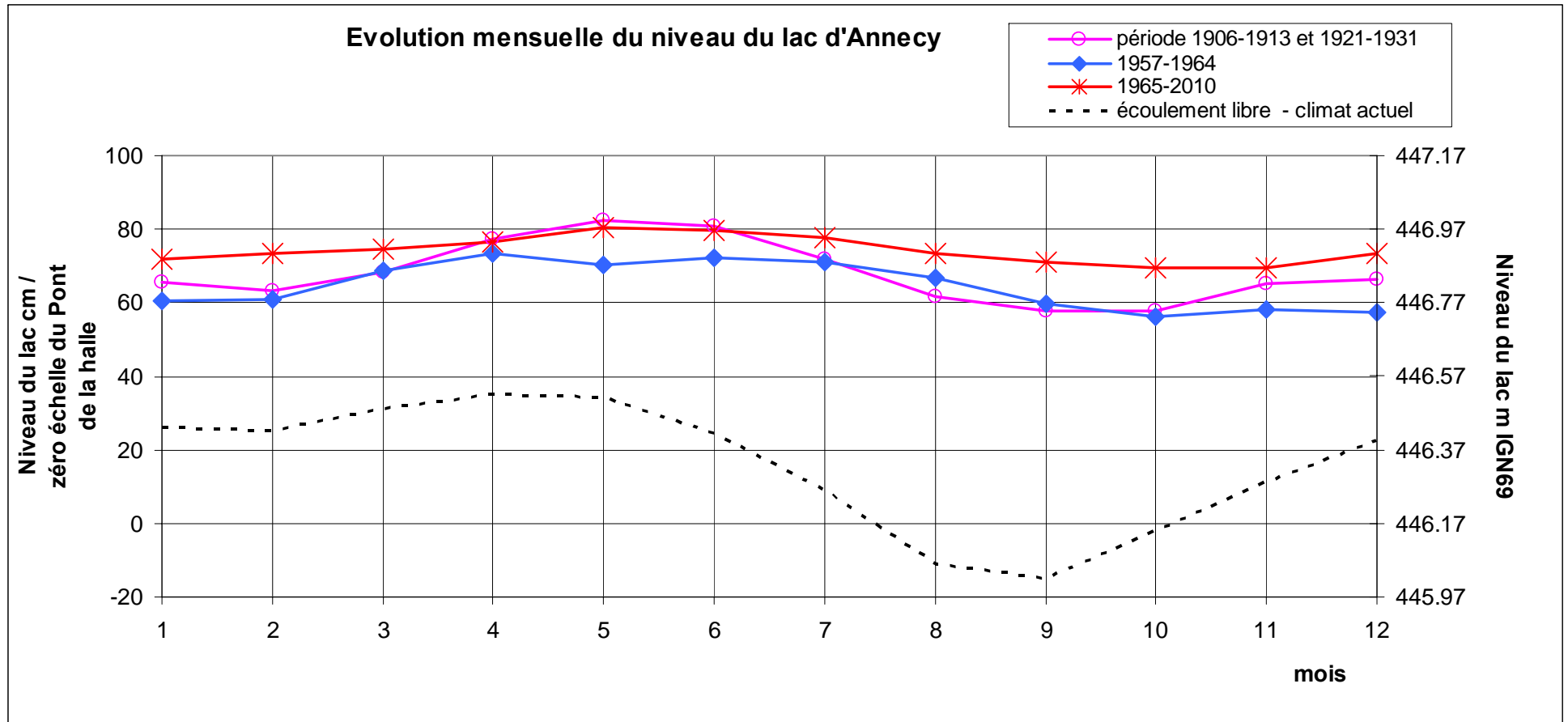


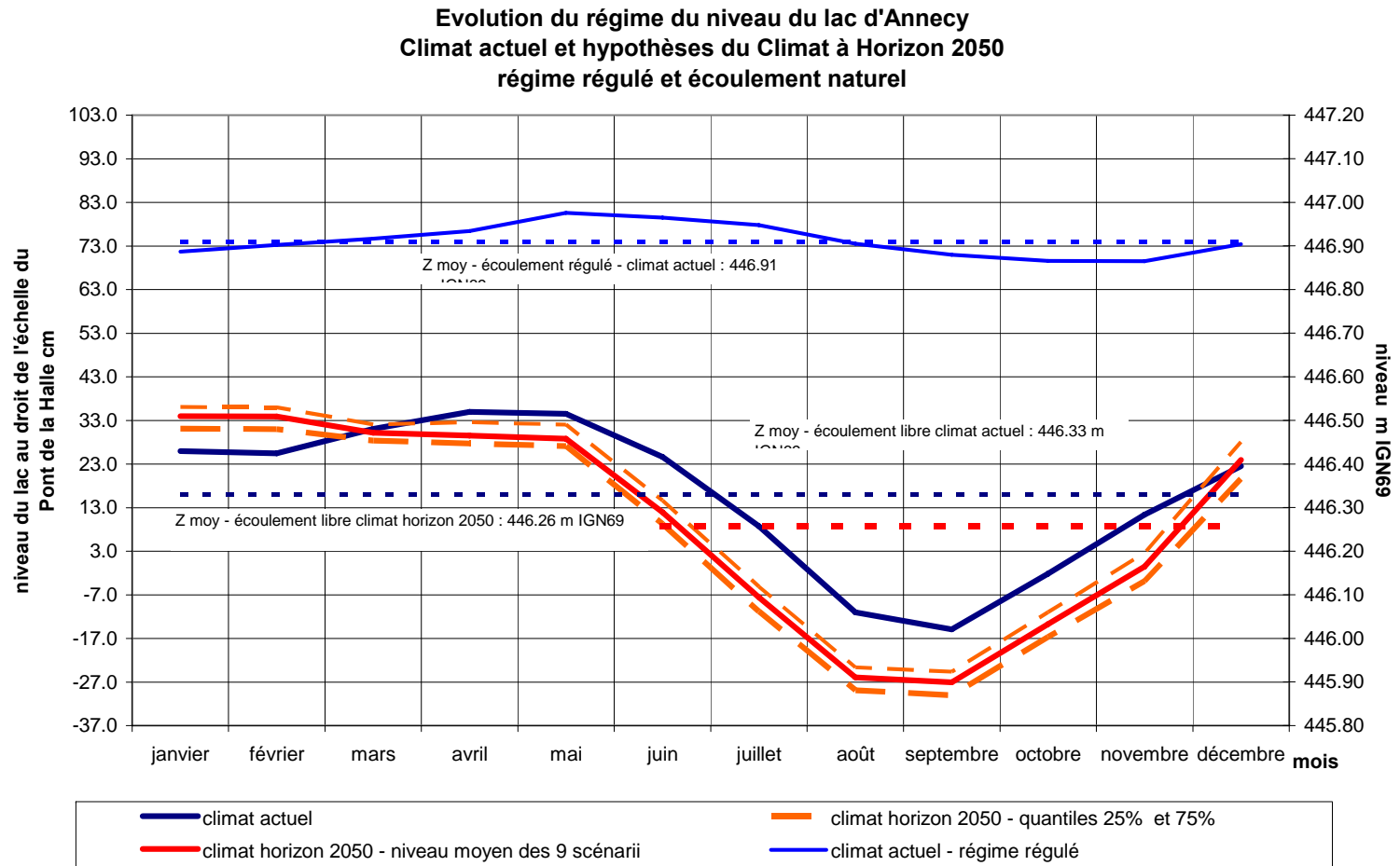
Annexe 8 Profil en long du canal du Thiou



Annexe 9 Profil en long du canal du Vassé







Annexe 12 Synthèse bibliographique – Evolution de la climatologie du Lac
d'Annecy à l'horizon 2050

Sommaire

1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS	4
2. RAPPORT 2007 DU GIEC.....	5
3. THEMATIQUES DES ETUDES ACTUELLES	7
4. BILAN DES OBSERVATIONS RECENTES.....	8
4.1 Climatologie	8
4.1.1 Température	8
4.1.2 Pluviométrie	9
4.1.3 Enneigement.....	10
4.2 Hydrologie.....	10
4.2.1 Ecoulements	10
4.2.2 Elévations de la température des eaux	11
4.3 Complexité du système.....	11
5. SCENARII DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET CONSEQUENCES	12
5.1 Rappel des scenarii du GIEC.....	12
5.2 Les tendances globales	13
5.3 Les Alpes en 2050	14
5.3.1 Températures et pluies à l’horizon 2050 :.....	14
5.3.2 Isotherme 0°C	16
5.3.3 Couverture neigeuse	16
5.3.4 Recul des glaciers.....	17
5.3.5 Evénements extrêmes	17
5.4 Synthèse des impacts du changement climatique dans les Alpes.....	18
5.5 Incertitudes des résultats	21
6. IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE CYCLE DE L’EAU	22
6.1 Le cycle de l’eau	22
6.2 Impacts du changement climatique sur le cycle de l’eau	23
6.3 Impacts du changement climatique sur la végétation.....	24
6.4 Gestion de la ressource en eau et usages.....	26
7. SCENARII POSSIBLES ET IMPACTS POUR LE LAC D’ANNECY	26
7.1 Augmentation de la population du bassin du Lac d’Anncy.....	27
7.2 Méthodologie développée dans le cadre du projet CLIMASILAC II et données utilisées.....	27
8. CONCLUSIONS	29
8.1 Rappel des impacts du changement climatique	29
8.2 Méthodologie d’élaboration des scenarii de changements climatiques pour le bassin du Lac d’Anncy	31
8.3 Définition des scenarii de changements climatiques pour le bassin du Lac d’Anncy.....	34
Bibliographie	36

Liste des figures

Figure 1 : Augmentation des températures moyennes annuelles à Annecy au cours du XX ^{ème} siècle (CG 73, 2010 ; données Météo France).....	9
Figure 2 : Concentration en CO ₂ dans les scénarii du GIEC (d'après Météo France, 2011)	13
Figure 3 : Augmentation des températures saisonnières (Frei <i>et al.</i> , 2006-b)	14
Figure 4 : Evolutions des précipitations saisonnières (Frei <i>et al.</i> , 2006-b).....	15
Figure 5 : Réduction de la couverture neigeuse dans les alpes françaises (résultats issus d'une étude du CEN de Météo France citée par l'ONERC et le CG 73).....	17
Figure 6 : Changements climatiques modélisés en Rhône-Alpes au cours du XXI ^{ème} siècle (Météo France, 2011).....	19
Figure 7 : Cycle de l'eau (d'après AE-RMC)	22
Figure 8 : Impact du changement climatique sur les débits saisonniers du Rhône proche de sa source pour la période de référence 1961-1990 et pour un climat futur 2071-2100 (Beniston, 2007)	24
Figure 9 : Exemple d'occupation actuelle des sols sur le bassin de l'Ire, affluent du Lac d'Annecy (Cottet-Puinel, 2008).....	26
Figure 10 : Scénarii de changements climatiques utilisés dans le cadre du projet CLIMASILAC II (Cottet-Puinel <i>et al.</i> , 2011).....	29
Figure 11 : Impacts des changements climatiques observés sur le bassin de l'Ire à Doussard dans le cadre du projet CLIMASILAC II (Cottet-Puinel <i>et al.</i> , 2011).....	29
Figure 12 : Impacts des changements climatiques pour les températures moyennes annuelles en région Rhône-Alpes à l'horizon 2050 (Météo France, 2011)	32
Figure 13 : Impacts des changements climatiques pour la pluviométrie moyenne annuelle en région Rhône-Alpes à l'horizon 2050 (Météo France, 2011).....	33
Figure 14 : Rappel des scénarii de changements climatiques utilisés dans le cadre du projet CLIMASILAC II (Cottet-Puinel <i>et al.</i> , 2011).....	35

Liste des tableaux

Tableau 1 : Scénarii du GIEC (d'après Langevin <i>et al.</i> , 2008)	12
Tableau 2 : Synthèse des changements climatiques dans les Alpes du nord à l'horizon 2050 (Météo France, 2011).....	20
Tableau 3 : Impacts combinés des changements des températures et des précipitations (Cottet-Puinel <i>et al.</i> , 2011).....	29
Tableau 4 : Scénarii d'impacts du changement climatique sur la base des données des études de la littérature	34
Tableau 5 : Rappel des impacts sur les débits calculés dans le cadre du projet CLIMASILAC II.....	35

Notations

AEE : Agence Européenne de l'Environnement

AEP : Alimentation en eau potable

AE-RMC : Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse

CEN : Centre d'Etude de la Neige

CG : Conseil Général

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement

FEDER : Fonds Européen de Développement Régional

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

IPSL : Institut Pierre Simon Laplace

MF : Météo France

ONERC : Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique

SRES: Special Report on Emission Scenarios

1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Le présent document vise à synthétiser les informations récentes disponibles concernant le changement climatique et ses conséquences hydrométéorologiques pour le bassin du Lac d'Annecy.

Ce rapport n'a pas pour ambition d'être exhaustif sur le sujet des changements climatiques. L'objectif est plutôt de répondre aux questions suivantes :

- Quel pourrait être le climat futur du bassin du Lac d'Annecy ?
- Quelles seraient les conséquences de ce climat futur pour le cycle hydrologique ?

Les questions sous-jacentes qui guident la recherche bibliographique concernent :

- Les horizons de temps. Ici l'horizon 2050 servira de cible et de référence.
- Les questions d'échelle spatiale. Même si des études hydrologiques existantes peuvent concerner le bassin du Lac d'Annecy, en termes d'évolutions du climat et de simulations de ces évolutions, les études sont réalisées à l'échelle régionale (massif alpin ou région Rhône-Alpes). Les résultats obtenus à cette échelle sont issus de simulations réalisées à l'échelle du globe dont les résultats sont adaptés à l'échelle du massif montagneux ou de la région administrative.
- Les incertitudes autour des évolutions possibles du climat. Selon les scénarii du GIEC retenus, les conséquences climatologiques ne sont pas les mêmes.

Il ne nous est pas possible d'exploiter un modèle climatologique spécifiquement développé pour le bassin du Lac d'Annecy. Par conséquent, pour comprendre le contexte climatologique du Lac d'Annecy, son évolution probable et s'y adapter, il faut rechercher des informations générales sur le thème du changement climatique dans les Alpes. Ces informations sont ensuite croisées entre elles pour bien comprendre le contexte des études réalisées, les limites d'application des outils et méthodes employées et ainsi identifier les grandes tendances d'évolution (qualitatives et quantitatives) ayant un impact soit dans le massif des Alpes soit dans une région englobant le Lac d'Annecy.

La synthèse bibliographique est organisée autour des thématiques suivantes :

- Les informations récentes du GIEC (4^{ème} rapport en 2007) ;
- Les sujets d'étude actuels : présentation générale des sujets traités dans les études techniques et scientifiques et des préoccupations politiques et publiques abordées dans le cadre des études institutionnelles ;
- Ce que l'on sait du climat passé : bilans des observations faites au cours du XX^{ème} siècle et les premières tendances identifiées depuis la création du GIEC en 1988 (1^{er} rapport d'évaluation en 1990, 5^{ème} rapport prévu pour 2013 et 2014) ;
- Ce que l'on sait du changement climatique dans les Alpes non seulement en termes de tendances d'évolution pour chaque variable hydrométéorologique d'intérêt mais aussi en termes d'impact sur le cycle de l'eau ;

- Les scénarii possibles pour le bassin du Lac d'Annecy compte tenu de sa climatologie locale actuelle et son évolution démographique possible.

2. RAPPORT 2007 DU GIEC

Nous listons et commentons ci-dessous plusieurs citations extraites du rapport du GIEC de 2007. Plutôt que de plagier ce document, il nous a semblé plus opportun et plus riche d'enseignement de reprendre les mots utilisés par le GIEC en 2007.

- « Le réchauffement du système climatique est sans équivoque, car il est maintenant évident dans les observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, la fonte généralisée de la neige et de la glace, et l'élévation du niveau moyen mondial de la mer »
 - Du côté du GIEC, il n'y a pas de remise en cause du réchauffement climatique. De nombreuses observations récentes confirment les tendances d'évolution non seulement des températures mais également d'autres facteurs tels que la neige et la glace.
 - Beniston (2007) rappelle que d'autres évolutions du climat ont été observées dans le passé. Il souligne cependant que ces évolutions se produisaient sur des siècles ou des millénaires. Cette fois, il s'agit d'évolutions très rapides de l'ordre de quelques dizaines d'années.
- « Les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) dues aux activités humaines ont augmenté depuis la période préindustrielle, avec une hausse de 70 % entre 1970 et 2004 »
- « La plus grande part de l'accroissement observé dans les températures moyennes mondiales depuis la moitié du XX^{ème} siècle est très probablement dû à l'accroissement observé de la concentration des GES anthropiques. Il est probable qu'il y a eu un réchauffement anthropique significatif au cours des 50 dernières années en moyenne sur chaque continent (sauf en Antarctique) »
 - Ces 2 citations mettent en évidence que le réchauffement climatique est essentiellement lié aux émissions de GES. Ces GES sont d'origines anthropiques. Il est intéressant de noter dans la 2^{ème} citation que le GIEC n'hésite pas à passer d'un réchauffement climatique à un réchauffement anthropique.
- « Avec les politiques actuelles d'atténuation du changement climatique et les pratiques associées de développement durable, les émissions mondiales de GES vont continuer de croître dans les toutes prochaines décennies »
- « Le réchauffement et la montée du niveau de la mer anthropiques se poursuivraient pendant des siècles à cause des constantes de temps associées aux processus climatiques et aux rétroactions, même si les concentrations de GES devaient être stabilisées »
- « Une poursuite des émissions de GES à un niveau égal ou supérieur au niveau actuel causerait un réchauffement supplémentaire et, au cours du XXI^{ème} siècle, induirait dans le système climatique global de nombreux changements qui seraient très vraisemblablement plus importants que ceux qui ont été observés au cours du XX^{ème} siècle »

- Le GIEC sous-entend dans ces citations que le réchauffement du climat des prochaines années (disons à l'horizon 2030 pour fixer les idées) est déjà joué. Même en limitant les émissions de GES dès maintenant, le climat va continuer à se réchauffer. Si les concentrations de GES continuent à augmenter, le réchauffement s'amplifiera au cours de la 2^{ème} moitié du XXI^{ème} siècle. Les estimations de réchauffement faites actuellement pour cette 2^{ème} moitié du XXI^{ème} siècle si les concentrations de GES continuent à augmenter seraient même plutôt optimistes.
 - L'échelle de temps de l'action politique et celle du climat ne sont pas les mêmes, d'où l'importance des études actuelles permettant d'anticiper des horizons temporels de l'ordre de 2050, comme dans le cadre de la présente étude.
- « Une plus grande confiance que lors du 3^{ème} rapport d'évaluation est maintenant accordée aux résultats des modélisations relatives à la répartition géographique du réchauffement et aux autres phénomènes régionaux, parmi lesquels les changements de la répartition des vents, des précipitations, et de certains aspects des événements extrêmes et de la glace de mer »
- Le GIEC insiste sur le degré de confiance accordé aux résultats concernant d'autres paramètres climatologiques que la température et à la répartition spatiale de ces résultats. Cette remarque du GIEC est importante en ce qui concerne l'adaptation des résultats des modèles de circulation globale à l'échelle du massif des Alpes ou de la région Rhône-Alpes et la qualité de ces résultats. Elle est également importante dans la mesure où les précipitations jouent évidemment un rôle essentiel dans le cycle de l'eau d'un bassin versant. La qualité des résultats de la présente étude dépend bien entendu de la qualité des résultats des scénarii de changement climatique.
- « Le réchauffement anthropique pourrait mener à certains impacts brusques ou irréversibles, selon le rythme et l'amplitude du changement climatique »
- Ici encore le réchauffement est qualifié d'anthropique.
 - En lien avec cette citation, on peut penser à la vulnérabilité des territoires de montagne, avec notamment la fonte des glaciers alpins, d'une grande partie du pergélisol ou bien encore, des risques accrus d'érosion et de crues.
 - On peut penser également aux conséquences du réchauffement climatique sur la végétation avec la migration vers le nord ou en altitude de certaines espèces sensibles aux conditions climatiques. Ces migrations, notamment vers le haut ou si des espèces moins sensibles aux caractéristiques du milieu colonisent les territoires d'espèces plus sensibles, pourraient entraîner une perte de biodiversité. L'évolution de la végétation aura également un impact sur l'évapotranspiration, autre terme important du bilan hydrologique, en particulier en été.

Toutes ces citations illustrent parfaitement les connaissances actuelles, les tendances d'évolutions futures attendues et les conséquences du réchauffement climatique. Elles sont approfondies et précisées dans la suite du document. Elles sont également détaillées chaque fois que cela est possible dans le cas des Alpes en général et du bassin du Lac d'Annecy en particulier.

3. THEMATIQUES DES ETUDES ACTUELLES

Les grandes thématiques des études actuelles sont :

- Les études techniques et scientifiques pour améliorer les connaissances et estimer les conséquences du changement climatique. Les problématiques régionales et locales ressortent de plus en plus dans la littérature ;
- Les études sur les conséquences multiples du réchauffement climatique. Au-delà des conséquences en termes d'amplitude de variations des variables climatologiques, il s'agit ici aussi d'évaluer les conséquences du changement climatique sur un territoire en termes de biodiversité, d'activités humaines (industrie, tourisme, économie...), de santé...
- Les études institutionnelles sur les stratégies de remédiation ou d'adaptation au changement climatique. Dans ce cas, ces études sont commandées par des administrations régionales, nationales ou internationales qui souhaitent identifier des pistes d'amélioration des pratiques ou de changements socio-économiques. Il s'agit aussi souvent d'analyser les expériences éventuelles développées dans certaines régions ou villes, européennes en particulier.

D'une manière générale, on note donc une évolution dans les publications concernant les études du changement climatique et ses impacts. En effet, de publications très techniques et scientifiques au début des années 2000, il semble que les décideurs publiques s'approprient progressivement le sujet et souhaitent lancer des études concernant les stratégies d'adaptation aux changements climatiques et les impacts de ces changements en ce qui concerne les évolutions socio-économiques des territoires.

Il ressort de ces études que la prise de conscience de cette problématique évolue, en particulier dans les Alpes. En effet, les massifs montagneux en général et les Alpes en particulier sont très sensibles aux changements climatiques. Des actions locales ou départementales sont ainsi mises en œuvre pour limiter les émissions de GES (développement des transports en commun, plan énergie-climat... voir le Livre Blanc du Climat en Savoie – CG 73, 2010).

En revanche, Langevin *et al.* (2008) notent que peu de mesures d'adaptation sont lancées. Les auteurs soulignent une volonté réelle d'atténuer les impacts du changement climatique mais sans remise en cause des modèles de développement. Le FEDER préconiserait par exemple la valorisation de la filière bois-énergie et la reconversion des stations de moyenne montagne. Ces stations sont directement concernées par le recul de l'enneigement compte tenu des températures plus douces attendues en hiver. Néanmoins, elles continuent pour la plupart à envisager encore leur développement via le tourisme hivernal et le ski (construction de nouvelles remontées mécaniques, installation de canons à neige et de retenues collinaires...).

Le rapport RCT-Explicis (2010) mentionne également une mutation possible du tourisme avec des touristes plutôt attirés par les stations de haute altitude en hiver et une fréquentation globalement accrue en été, les touristes recherchant la fraîcheur comparativement aux autres régions (littoral méditerranéen notamment). Le rapport insiste également sur les modifications à attendre concernant la régulation de la ressource en eau et ses conséquences sur l'activité économique (production hydroélectrique, industrie, pics de consommation liés au tourisme...). Ce point est d'autant plus crucial que si la ressource se raréfie en été et que la fréquentation augmente, les enjeux autour des usages de l'eau pourraient devenir de plus en plus importants.

4. BILAN DES OBSERVATIONS RECENTES

Pour mémoire, nous rappellerons en introduction de ce chapitre que d'après les experts du GIEC (2007), « le réchauffement du système climatique est sans équivoque ». Les premiers signes de ce réchauffement sont en effet déjà décelables, en particulier dans les Alpes. L'objectif de cette partie est donc de faire le point sur ce qui est déjà observé dans les Alpes par la communauté scientifique en termes d'évolutions climatiques.

4.1 CLIMATOLOGIE

4.1.1 *Température*

Toutes les références bibliographiques s'accordent sur les points suivants :

- le réchauffement est confirmé sous nos latitudes, et en particulier dans les Alpes ;
- le réchauffement s'accélère (Rapport ONERC, 2008) ;
- le réchauffement dans les Alpes est 2 fois plus élevé que le réchauffement moyen dans l'hémisphère nord (Rapport AEE, 2009 ; CG 73, 2010) ;
- l'augmentation des températures est plus importante en été qu'en hiver sur les 25 dernières années (Convention Alpine, 2011).
- Le collectif d'auteurs du rapport de l'ONERC (2008) fournit de nombreux éléments chiffrés permettant de quantifier l'intensité du réchauffement constaté au cours du XX^{ème} siècle.

Parmi tous les indicateurs, pour la période 1901-2000, nous retiendrons les valeurs suivantes :

- la température moyenne dans les Alpes a augmenté de 0.9°C,
- la température minimum journalière a augmenté d'environ 0.9°C également,
- les températures maximales journalières ont augmenté de 0.9°C à 1.1°C. L'augmentation des températures maximales journalières est plus rapide que celles des températures moyennes.

Quelques études par massif et sur des périodes plus courtes mettent en évidence des résultats complémentaires. Par exemple dans les massifs des Ecrins et du Dévoluy, les augmentations de températures moyennes sont de l'ordre de 0.9°C en été, 0.6°C en automne et 0.7°C en hiver entre les périodes 1960-1980 et 1980-2000. Entre ces mêmes périodes, le nombre de jours de gel moyen annuel a baissé de 12% à 14%.

Le réchauffement est donc légèrement plus marqué en été qu'en hiver. Ce réchauffement s'accompagne logiquement d'une baisse du nombre de jours de gel en hiver et au printemps. Le gradient du réchauffement est de l'ordre de +0.3°C à +0.4°C par décennie en fonction de la saison entre les périodes 1960-1980 et 1980-2000.

Pour l'Oisans et le Briançonnais, l'ONERC (2008) annonce des gradients d'augmentation compris entre +0.2°C et +0.4°C par décennie. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que les précédentes mais mettent en évidence la variabilité du réchauffement entre les massifs.

Pour les Savoies, les études disponibles relèvent que les variations des températures en montagne sont de l'ordre de -0.1°C en novembre et décembre, 0.7°C en janvier et février et 1.8°C en mars et avril depuis les années 80 (CG 73, 2010). Le réchauffement est donc plus marqué en fin de saison hivernale.

A Annecy, depuis 1876, les dix années les plus chaudes ont été enregistrées lors des deux dernières décennies, dont huit depuis l'an 2000 (CG 73, 2010). L'augmentation des températures moyennes annuelles constatée sur la chronique d'Annecy au cours du XX^{ème} siècle est de 1°C. Elle atteint même 1.47°C en intégrant les données des années 2000 à 2009.

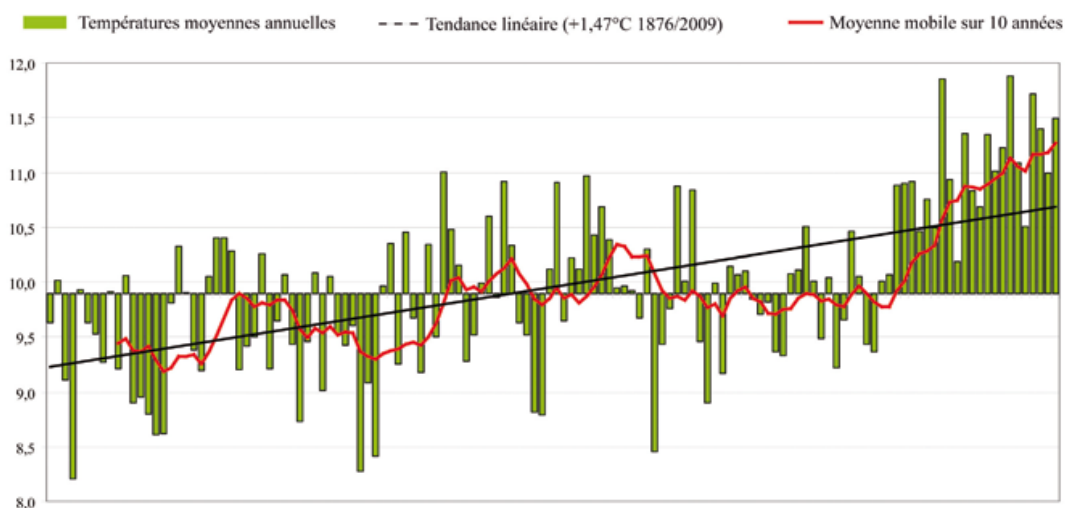


Figure 1 : Augmentation des températures moyennes annuelles à Annecy au cours du XX^{ème} siècle (CG 73, 2010 ; données Météo France)

4.1.2 Pluviométrie

L'identification de tendances d'évolution des précipitations au cours du XX^{ème} siècle est plus complexe que pour les températures et beaucoup plus difficile à quantifier de manière globale. L'ONERC (2008) souligne d'ailleurs qu'aucune tendance moyenne globale d'évolution des précipitations n'est décelable au cours du XX^{ème} siècle. Ceci est lié à la variable climatique et à sa mesure. En effet, les appareils ont évolué au cours du XX^{ème} siècle (installation de pluviomètres, remplacement et déplacement des appareils...). Le réseau de pluviomètres est moins dense que le réseau de thermomètres. Les corrélations spatiales sont plus complexes (effet de foehn, exposition des versants, localisation des orages...). La pluie entre le Nord et le Sud des Alpes est également influencée par des régimes de circulation des masses d'air à grande échelle (CG 73, 2010). Or, le réchauffement global pourrait entraîner des modifications de ces régimes de circulation à grande échelle ce qui aurait comme conséquence de modifier de manière différente les massifs des Alpes, du Nord au Sud et d'Est en Ouest.

Si sur la base des données observées, aucune tendance moyenne globale n'est décelable, sur la base des sorties de modèles météorologiques, les pluies hivernales auraient tendance à augmenter et les pluies estivales à diminuer. La baisse de la pluviométrie estivale est surtout liée à la baisse du nombre de jours pluvieux. En conséquence, les pluies estivales seraient toujours aussi intenses qu'actuellement mais en moins grand nombre et les périodes de sécheresse augmenteraient.

En parallèle, les auteurs du rapport soulignent que localement des changements sont constatés. Ainsi, en Savoie, sur la période 1958-2001, les pluies hivernales ont tendance à devenir plus intense. Dans les Ecrins, les pluies estivales dont le cumul journalier dépasse 30 mm augmentent de manière

significative. Les moyennes annuelles restent en revanche inchangées pour les Ecrins et le Dévoluy. Dans les Alpes Maritimes, des études ont mis en évidence une diminution significative des pluies au printemps et en été. Aucune tendance n'a été mise en évidence en hiver. En automne, les pluies auraient plutôt tendance à augmenter.

Sans rentrer plus dans le détail des résultats massif par massif, malgré un réchauffement global confirmé, aucune tendance moyenne globale d'évolution des précipitations n'est mise en évidence dans les Alpes. En revanche, localement, des changements significatifs sont constatés. Les résultats, même s'ils ne concernent pas spécifiquement le bassin du Lac d'Annecy, mettent en évidence la forte variabilité régionale des changements de la pluviométrie. Ce résultat permet de rappeler la difficulté de travailler à une échelle très locale (celle du BV du Lac d'Annecy) sur la base d'informations fournies à une échelle plus globale (celle des modèles climatiques).

4.1.3 Enneigement

Les observations de l'enneigement de février réalisées par le Centre d'Etude de la Neige de Météo France au Col de Porte entre 1960 et 2000 mettent en évidence :

- une forte variabilité interannuelle de l'enneigement,
- une tendance moyenne à la baisse de l'enneigement,
- une diminution de la durée d'enneigement.

En Savoie, les mesures mettent en évidence une diminution des cumuls de neige fraîche et du nombre de jours de présence du manteau neigeux entre 1959 et 2007. Le rôle des effets de sites et des différences climatiques entre les massifs fait que des nuances apparaissent au sein de chaque territoire (CG 73, 2010) .

Parallèlement, l'ONERC (2008) rappelle que les plus fortes chutes de neige journalières ont été observées pour Chamonix dans les années 90. Cette décennie correspond aussi à la décennie avec le plus faible enneigement moyen. Par conséquent, l'enneigement diminue globalement mais les chutes de neige auraient tendance à être plus intenses, au moins dans la région de Chamonix.

Enfin, Frei *et al.* (2006-b) notent que l'altitude de l'isotherme 0°C a augmenté de 300 m en moyenne dans les Alpes suisses entre 1958 et 2003. Cette élévation de l'isotherme est bien entendu liée à l'augmentation des températures hivernales.

4.2 HYDROLOGIE

4.2.1 Ecoulements

Aucune tendance globale claire n'est mise en évidence en ce qui concerne les débits à l'échelle de la France. D'après Lang & Renard (2007), les tendances observées ont des explications autres que climatiques (déplacement de stations, anthropisation du bassin...). Sauquet & Haond (2003) obtenaient déjà des résultats n'indiquant pas d'évolution sensible liée à des changements climatiques des débits moyens annuels, du Rhône notamment.

Comme pour la pluviométrie, si aucune tendance globale n'est mise en évidence, pour les Alpes, Lang & Renard identifient tout de même certains changements qu'ils jugent significatifs. Il s'agit :

- des étiages qui seraient moins sévères,

- de la précocité accrue des écoulements liés à la fonte,
- de l'augmentation du volume lié à la fonte pour les régimes glaciaires.

Parallèlement, certaines études mettent en évidence une diminution des débits moyens annuels au cours des 15 dernières années (CG 73, 2010). Cette diminution est néanmoins identifiée sur des chroniques de durées assez courtes.

Braun *et al.* (2011) ont analysé les observations des apports moyens mensuels sur un petit bassin de 11.4 km² au régime nivo-glaciaire situé dans les Alpes de l'Ötztal. De 1974 à 2009, par pas de 10 ans environ, ils constatent une augmentation des apports moyens mensuels et, depuis les années 2000, une avance des apports dans l'année. Ces observations sur un bassin nivo-glaciaire vont dans le sens des tendances identifiées par Lang & Renard (2007) sur les Alpes.

Ces tendances sont tout à fait cohérentes avec l'augmentation moyenne globale des températures. Elles confirment également la sensibilité des Alpes au réchauffement climatique. Néanmoins, l'augmentation des apports liée directement à la fonte glaciaire durera tant que des glaciers existeront. Sur les bassins où les glaciers viendraient à disparaître, il n'y aura plus d'apports supplémentaires par rapport à aujourd'hui dès lors que les stocks de glace auront totalement fondu.

4.2.2 Elévations de la température des eaux

Au cours des dernières décennies, la température de l'eau des rivières a augmenté parallèlement à l'augmentation des températures de l'air. Les lacs ont suivi la même tendance (CG 73, 2010).

Comme le réchauffement de l'eau est plus important en surface qu'en profondeur, il accentue aussi la stratification des eaux dans les lacs. Associé à la baisse des débits d'apport, les eaux des lacs alpins ont tendance à moins bien se renouveler. Le réchauffement des eaux a donc un impact sur la qualité de l'eau en général.

4.3 COMPLEXITE DU SYSTEME

Comme le rappelle Beniston (2007), les Alpes ne sont pas un élément passif de notre environnement qui subirait les aléas du climat et de son évolution. Les Alpes sont aussi acteurs des évolutions locales du climat. En tant que barrière physique, les massifs montagneux en général, et les Alpes en particulier, modifient la circulation des courants atmosphériques, capables de générer des perturbations actives accompagnées de fortes précipitations. La complexité du relief contribue aussi à la diversité des climats régionaux. Les interactions entre l'orientation, la pente, l'altitude, la latitude, la répartition de l'énergie solaire et les précipitations sont à l'origine de microclimats souvent très différents d'une vallée à l'autre.

Nous avons vu que certains paramètres montraient des évolutions récentes imputables au changement climatique. Nous avons vu aussi que pour d'autres paramètres, les tendances sont moins nettes et/ou plus locales.

Les tendances d'évolution du climat au cours du XXI^{ème} siècle font l'objet d'études souvent réalisées sur la base de modèle de circulation globale de l'atmosphère. Dans ces conditions, on voit bien la difficulté d'obtenir des résultats spécifiquement adaptés à une région donnée, d'autant plus si cette région se situe en zone de relief. Par conséquent, des problèmes de descente d'échelle des résultats vont se poser pour décrire le climat futur du bassin du Lac d'Annecy sur la base de résultats moyens globaux.

Dans la suite de cette synthèse, nous rappelons rapidement les scénarii d'évolutions du climat retenus par le GIEC (2007). Ensuite, nous avons ciblé les études spécifiquement adaptées aux Alpes. Dans ces études, nous avons conservé chaque fois que c'était possible, les incertitudes données autour des résultats. Il est en effet très important de retenir que si les études s'accordent sur les tendances moyennes et globales d'évolution du climat, les valeurs annoncées dans la littérature concernant l'évolution des paramètres climatologiques doivent être prises en compte avec leurs intervalles d'incertitude. C'est d'autant plus important que nous cherchons à étudier l'impact du changement climatique dans une petite région bien identifiée (le Lac d'Annecy) sur la base de résultats moyens et globaux.

5. SCENARII DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET CONSEQUENCES

5.1 RAPPEL DES SCENARII DU GIEC

Différents scénarii d'émission de gaz à effet de serre sont définis dans le rapport spécial sur les scénarii d'émission (SRES). Quatre canevas (A1, A2, B1, B2) décrivent les relations entre les forces motrices des émissions et leur évolution. Chaque canevas représente une évolution différente au plan démographique, social, économique, technologique et environnemental qui donnera une évolution du climat différente. Ces 4 canevas sont rappelés brièvement ci-dessous.

Tableau 1 : Scénarii du GIEC (d'après Langevin et al., 2008)

		CRITERES CLES			
		Développement social	Croissance économique	Population mondiale	Evolution technologiques du système énergétique
S C E N A R I O S	A1 A1FI + 2,4-6,4 °C A1T + 1,4-3,8 °C A1B + 1,7-3,4 °C	Convergence entre régions (interactions culturelles et sociales accrues, réduction des divergences régionales dans le revenu par habitant...)	Très rapide (notamment dans les PED)	Maximum atteint vers 2050, diminution ultérieure	A1FI : forte intensité de combustibles fossiles A1T : sources d'énergie autre que fossiles A1B : équilibre entre les sources
	A2 + 2,0-5,4 °C	Monde très hétérogène (autosuffisance et préservation des identités locales)	Plus fragmentée et plus lente que dans les autres scénarios	Accroissement continu (schémas de fécondité convergent très lentement entre les régions)	Plus fragmentée et plus lente que dans les autres scénarios
	B1 + 1,1-2,9 °C	Convergence entre régions Accent sur des solutions mondiales orientées vers la viabilité économique, sociale et environnementale	Vers une économie de services et d'information	Maximum atteint au vers 2050, diminution ultérieure	Réductions dans l'intensité des matériaux et introduction de technologies propres (utilisant les ressources de manière efficiente)
	B2 + 1,4-3,8 °C	Accent sur des solutions locales orientées vers la viabilité économique, sociale et environnementale	Niveaux intermédiaires de développement économique	Croissance continue (mais rythme plus faible que A2)	Moins rapide et plus diverse que dans les autres scénarios



Figure 2 : Concentration en CO₂ dans les scénarii du GIEC (d'après Météo France, 2011)

5.2 LES TENDANCES GLOBALES

Le réchauffement climatique se confirme jusqu'à l'horizon 2050. Il devrait même s'accélérer si rien n'est fait pour limiter efficacement les émissions de GES. Pour mémoire, des mesures même radicales de réduction des émissions de GES n'auront pas d'effet très marqué dans les 20 à 30 prochaines années (Convention Alpine, 2011).

En France à l'horizon 2050, les principales tendances attendues sont les suivantes (Langevin *et al.*, 2008) :

- Réchauffement en toute saison. Le réchauffement sera plus marqué l'été que l'hiver (sur la base des scénarii A2 et B2 du GIEC). Selon le scénario B2, la température moyenne augmenterait de 2 à 2,5°C ; selon le scénario A2, le réchauffement serait de l'ordre de 3 à 3,5°C ;
- Précipitations :
 - Augmentation des précipitations intenses en hiver (surtout sur la façade Atlantique) entre 2% et 13%, respectivement selon l'IPSL et Météo France ;
 - Diminution de la pluviométrie en été (de 10 à 20%) et risque accru de sécheresse sur les régions méditerranéennes ;
 - Réduction des précipitations du printemps à l'automne en Auvergne et en Rhône Alpes, en automne et en hiver pour les régions PACA et Corse ;
- Vent : le vent intervient dans les bilans hydrologiques via l'évapotranspiration. Les évolutions futures du vent sont très incertaines.

Les grandes tendances peuvent être estimées et toutes ces évolutions auront un impact sur le cycle de l'eau. En revanche, les effets régionaux ou locaux sont plus difficiles à prévoir. Par ailleurs, les simulations relatives aux précipitations restent très incertaines. Il en est de même pour le vent.

5.3 LES ALPES EN 2050

5.3.1 Températures et pluies à l'horizon 2050 :

Dans le cadre du projet PRUDENCE (Frei *et al.*, 2006-a et 2006-b), les impacts du changement climatique ont été analysés sur les versants nord et sud des Alpes en Suisse. Les figures suivantes synthétisent les résultats obtenus. Elles donnent par saison et par variable (température et précipitation) les évolutions par rapport à l'état actuel pour les horizons 2030, 2050 et 2070. Les évolutions sont indiquées sur la base d'une valeur médiane et d'un intervalle de confiance à 95%.

Ces 2 figures mettent en évidence que peu de variations sont attendues entre le nord et le sud des Alpes en Suisse à l'horizon 2050 pour les températures. Les résultats obtenus pour la température sont donc assez robustes quel que soit le secteur considéré dans les Alpes suisses. En revanche, les intervalles de confiance sont très larges. Si une augmentation de la température moyenne de l'ordre de 2 à 2.5°C paraît réaliste à l'horizon 2050, les variations autour de cette valeur moyenne sont très fortes. Les variations sont plus fortes en été que pour les autres saisons.

En termes de pluviométrie, les résultats de Frei *et al.* indiquent une légère augmentation des pluies en hiver et une tendance globale à la baisse pour les 3 autres saisons. La tendance est mitigée au printemps avec une médiane à la baisse mais des possibilités d'augmentation ou de diminution. La tendance à la baisse est un peu plus marquée sur le versant sud en été. Comme pour les températures, les incertitudes sont plus fortes en été. Ces résultats vont dans le sens d'une diminution du volume moyen annuel de précipitations.

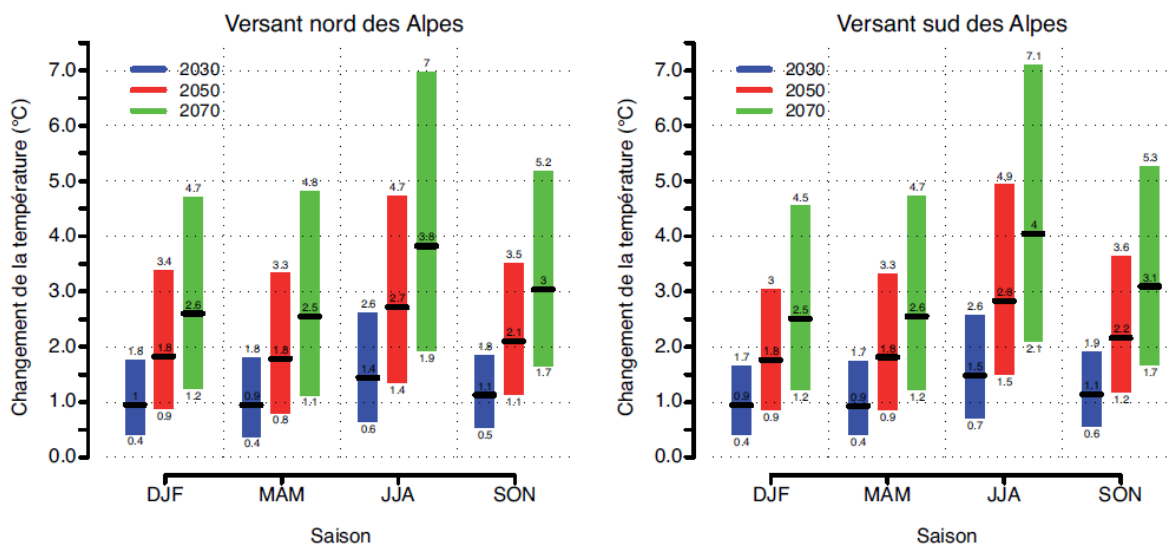


Figure 3 : Augmentation des températures saisonnières (Frei *et al.*, 2006-b)

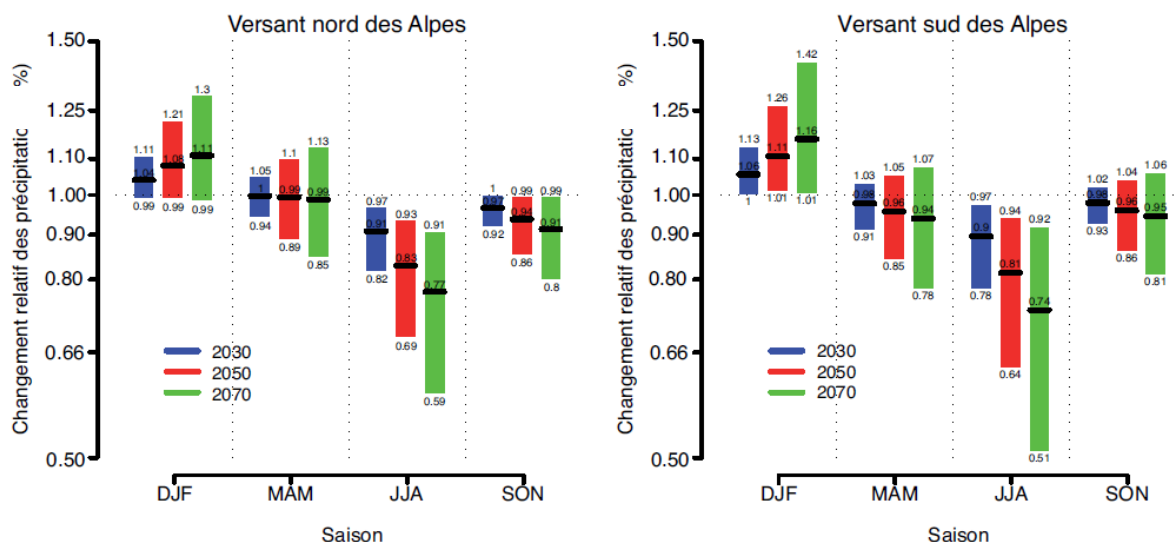


Figure 4 : Evolutions des précipitations saisonnières (Frei et al., 2006-b)

Pour mettre en évidence la variabilité des résultats, nous listons ici plusieurs tendances d'évolution du climat mentionnées dans le rapport 2011 de la Convention Alpine pour la fin du XXI^{ème} siècle :

- simulations de l'institut IMK-IFU de Garmisch-Partenkirchen pour le scénario B2 (très optimiste) :
 - +2 à +4°C par rapport à la période 1960-89 d'ici la fin du XXI^{ème} siècle, avec un pic maximal en juillet et août (environ 4 °C) et un minimum en octobre (2°C) ;
 - +10% environ pour les pluies en hiver, -20% à -30% en été. Les journées avec de fortes précipitations seront en général plus nombreuses ;
 - Domaine de validité : région nord des Alpes orientales ;
- résultats du modèle local COSMO pour le scénario A1B :
 - augmentation de la température de 3.9 °C pour la région alpine d'ici la fin du siècle (en Europe 3.3 °C globalement). Le réchauffement sera plus net au-dessus de 1500 m d'altitude, où l'on s'attend en moyenne à 4,2°C de plus. Une augmentation maximale de 6°C sera relevée sur les sommets durant l'été ;
 - peu de variations notables des précipitations en automne et en hiver. Une augmentation d'environ 20 % au printemps et une réduction d'environ 20 à 30 % pendant l'été seraient possibles ;

- Domaine de validité : Alpes du nord ;
- modèle régional REMO du MPI de Hambourg pour le scenario A1B :
 - +4 à +5°C autant en hiver qu'en été ;
 - variations de 0 à 15% pour les précipitations en hiver et de 0 à 40%¹ l'été ;
 - Domaine de validité : Alpes du nord.

Les ordres de grandeur sont relativement voisins pour les températures d'une approche à l'autre et d'une région des Alpes à l'autre, y compris en intégrant les résultats du projet PRUDENCE dans la liste ci-dessus des tendances prévues. En ce qui concerne la pluviométrie, les résultats sont très différents d'un modèle à l'autre. D'après les auteurs du rapport de la Convention Alpine (2011), les incertitudes sur les résultats ne sont pas expliquées seulement par les échelles spatiales et le choix des modèles mais surtout par les incertitudes autour des émissions de GES.

5.3.2 Isotherme 0°C

L'augmentation des températures en hiver a un impact sur l'altitude de l'isotherme 0°C. Actuellement, l'isotherme 0°C est en moyenne autour de 840 m dans les Alpes suisses (Frei *et al.*, 2006-b). L'augmentation de 300 m constatée entre 1958 et 2003 pourrait se poursuivre et atteindre +180 m à +680 m en fonction des scénarii de changement climatique.

Cette élévation de l'isotherme 0°C a évidemment un impact sur la nature des précipitations, avec des précipitations sous forme de neige plus faible en altitude.

5.3.3 Couverture neigeuse

Compte tenu de l'augmentation des températures, la durée d'enneigement et la hauteur de neige devraient diminuer au cours du XXI^{ème} siècle. Ces résultats sont néanmoins variables en fonction de l'altitude concernée. D'après l'ONERC (2008) qui s'appuie sur les résultats d'une simulation issue d'un couplage entre les modèles Météo France ARPEGE, SAFRAN et CROCUS, le changement climatique devrait n'avoir que peu ou pas d'impacts au-dessus de 2500 m d'altitude. Autour de 1500 m d'altitude, la réduction de la durée d'enneigement devrait être de l'ordre de plus d'un mois. Les hauteurs de neige moyennes devraient passer de 1 m à 0.6 m pour les Alpes du Nord (0.4 m à 0.2 m pour les Alpes du Sud).

¹ Les hausses ou baisses ne sont pas précisées dans le document.

Dans l'hypothèse d'un réchauffement de 1.8°C, la réduction de la durée d'enneigement pour le secteur du Lac d'Annecy serait de l'ordre d'un mois d'enneigement perdu d'ici la fin du XXI^{ème} siècle.

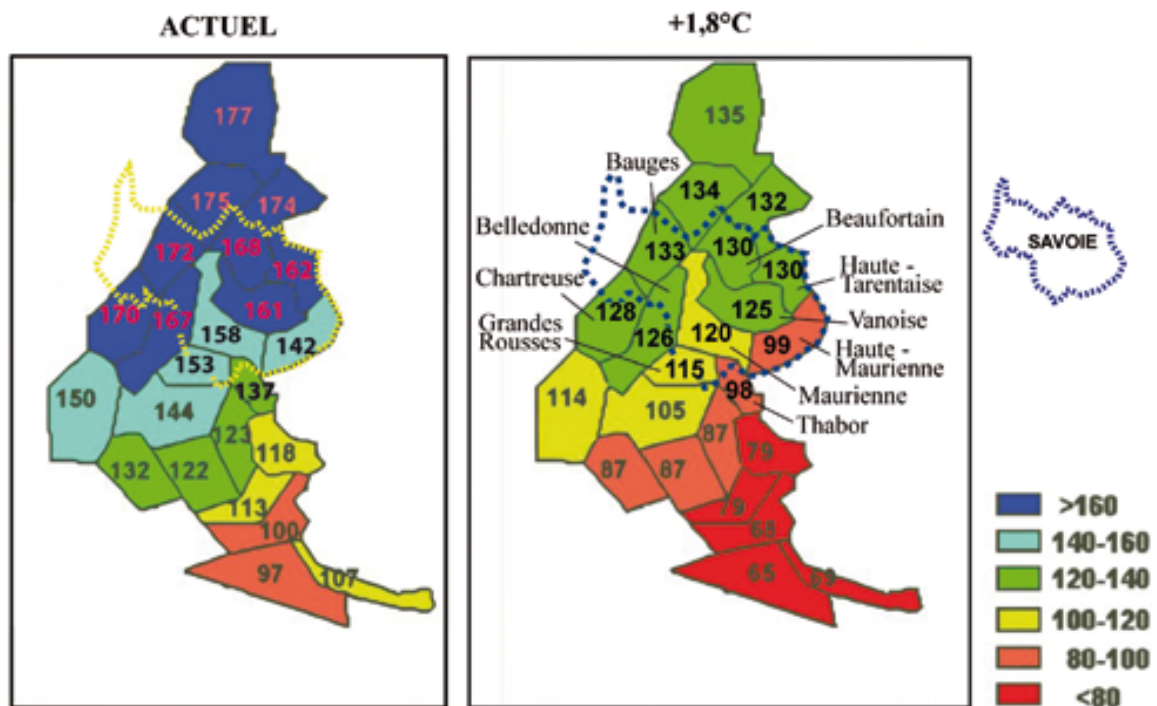


Figure 5 : Réduction de la couverture neigeuse dans les Alpes françaises (résultats issus d'une étude du CEN de Météo France citée par l'ONERC et le CG 73)

5.3.4 Recul des glaciers

Le bassin du Lac d'Annecy n'est pas concerné par le recul des glaciers. Cependant, la réduction de la superficie des glaciers alpins est en moyenne de 75%, avec des variations possibles allant de -50% à -90% en fonction des scénarii de changement climatique (ONERC, 2008).

5.3.5 Événements extrêmes

Ces événements sont extrêmes en termes d'intensité et de fréquence. Par définition, ils sont rares donc peu d'occurrences de ces événements sont disponibles dans les bases de données observées. Il est difficile de faire des statistiques sur ces événements à partir des données observées. Il est donc encore plus difficile de prévoir leurs évolutions futures.

L'échelle d'étude de l'impact du changement climatique pose aussi problème pour l'étude des événements extrêmes. L'impact du changement climatique est analysé à grande échelle tandis que les événements extrêmes concernent plutôt des petites échelles.

L'ONERC (2008) prévoit tout de même les évolutions suivantes pour les Alpes françaises :

- Extrêmes de température : les tendances seraient à l'augmentation des températures maximales en été et des minimales en hiver. Les études de Frei *et al.* suggèrent que la fréquence des été chauds et donc le risque de canicule devrait augmenter ;

- Extrêmes de pluie : les tendances seraient à l'augmentation des pluies extrêmes en hiver. Même si les tendances en été sont moins marquées et malgré une diminution des cumuls, les pluies extrêmes estivales pourraient augmenter également ;
- Tempêtes : elles pourraient être moins fréquentes mais plus intenses ;
- Sécheresse : la diminution des pluies estivales et l'augmentation de l'évapotranspiration pourraient conduire à une diminution de la teneur en eau des sols. Comme en parallèle il devrait y avoir moins de neige en hiver, donc moins d'apports par fusion nivale, le risque d'assèchement des cours d'eau en été sera plus élevé.

Il est difficile de préciser ici les horizons temporels et les zones concernées. Néanmoins, les tendances identifiées dans la littérature sont cohérentes avec les évolutions prévues pour les variables climatologiques.

5.4 SYNTHÈSE DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES ALPES

En 2011, Météo France a publié une étude sur l'impact du changement climatique en Rhône-Alpes pour le compte de la DREAL. C'est sans doute l'étude la plus complète en termes de variables climatologiques analysées et la mieux adaptée au contexte du Lac d'Annecy. Elle est fondée sur une analyse comparative de la climatologie actuelle (climatologie estimée sur la base des observations spatialisées par la méthode AURELHY développée par Météo France) et de la climatologie future issue des sorties du modèle ARPEGE-CLIMAT de Météo France dont les résultats sont adaptés à l'échelle de la région Rhône-Alpes.

La période de référence considérée pour la climatologie actuelle s'étend de 1971 à 2000. Les horizons de prévision concernent 2030, 2050 et 2080. Nous nous intéressons en particulier à l'horizon 2050. Trois scénarii sont étudiés par Météo France : A1B, A2 et B1.

Les résultats sont présentés schématiquement à la figure 6 pour toute la région Rhône-Alpes. Ils sont synthétisés pour le nord des Alpes à l'horizon 2050 dans le tableau 2.

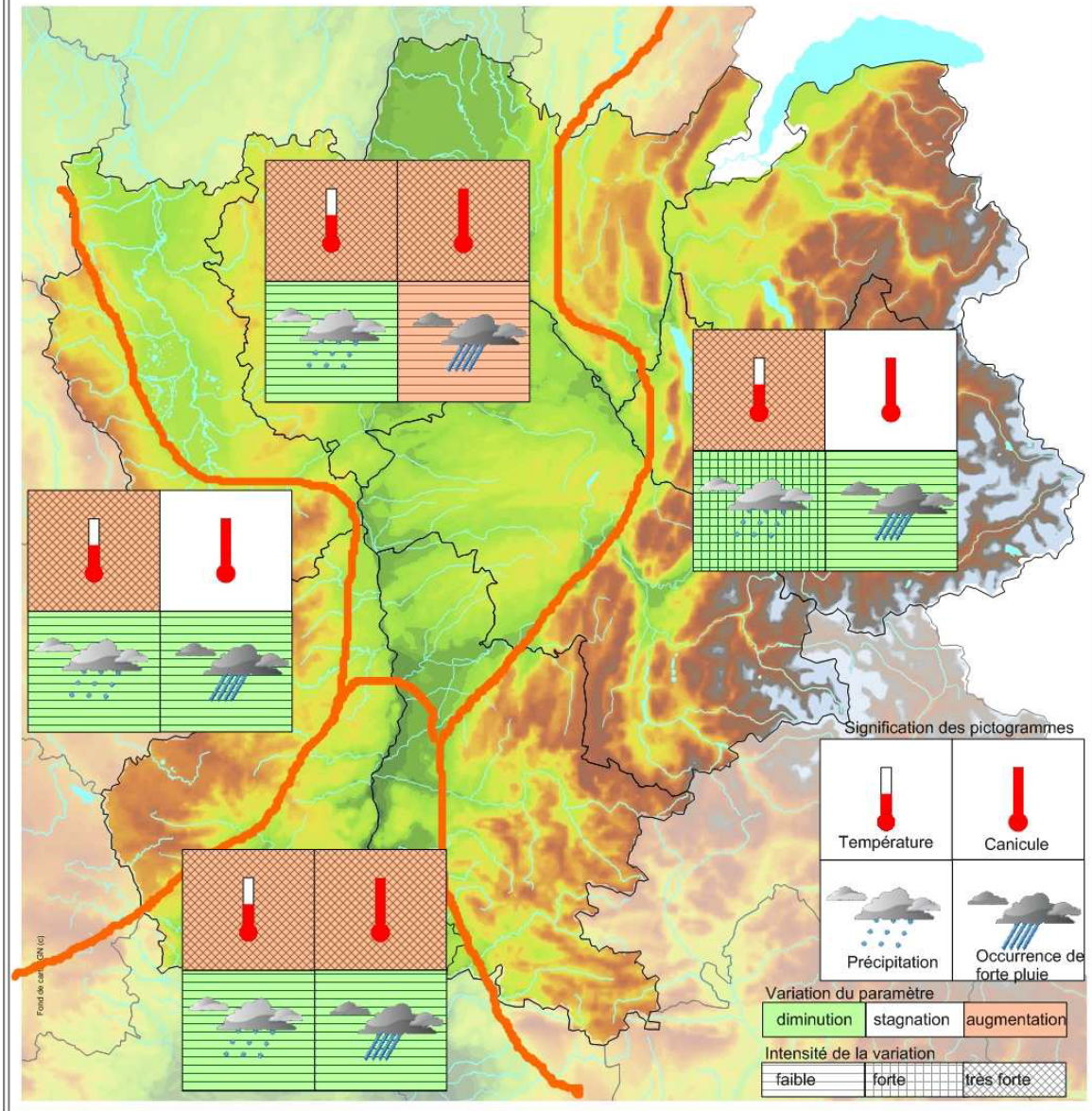


Figure 6 : Changements climatiques modélisés en Rhône-Alpes au cours du XXI^{ème} siècle (Météo France, 2011)

Tableau 2 : Synthèse des changements climatiques dans les Alpes du nord à l'horizon 2050 (Météo France, 2011)²

Variable climatologique		Tendance	Unité	Remarques
Température	Moyenne annuelle	1.5 à 2.5	°C	2 scenarii sur 3
	Minimale printanière	1.5 à 3	°C	
	Minimale estivale	2 à 3.5	°C	
	Minimale automnale	1 à 2	°C	
	Minimale hivernale	1 à 2	°C	
	Maximale printanière	1.5 à 3	°C	
	Maximale estivale	2 à 2.5	°C	pour B1. 3.5 à 4.5 pour A1B
	Maximale automnale	1.5 à 3	°C	
	Maximale hivernale	1 à 1.5	°C	pour B1. 2 à 3 pour A1B et A2
Fortes chaleurs		2 à 5	nb de jours	température maximale dépasse 35°C
Pluviométrie	Moyenne annuelle	0 à -15	%	stagnation ou baisse baisse davantage marquée en plaine qu'en altitude
	Printanière	5 à 10	%	
	Estivale	-15 à -25	%	
	Automnale	-5 à 0	%	Pas de tendance nette
	Hivernale	-5 à +5	%	Pas de tendance nette
Fortes précipitations annuelles		0	nb de jours	cumul quotidien des pluies ≥ 20 mm pas de changement
Nombre de jours de gel		-10 à -15	%	
Nombre de jours de gel printaniers		-30 à -50	%	
Sécheresse		0	nb de jours	pas de changement dans le nombre de jours secs consécutifs
Canicule		+1 à +2	nb de jours	évolution peu significative à l'horizon 2050

Parmi les évolutions identifiées, nous retiendrons par exemple :

- la forte hausse des températures minimales l'été, modélisée dans sa fourchette haute jusqu'à +6.5°C en moyenne pour la fin du siècle ;
- la baisse conséquente du nombre de jours de gel printanier qui pourrait conduire à ne voir apparaître ce phénomène en moyenne qu'une année sur deux dans les plaines drômoises à l'horizon 2080 ;
- l'augmentation des températures maximales, de 4 à 8°C sur le siècle pour le sud de la Drôme et de l'Ardèche ;
- l'explosion des situations caniculaires dans la seconde moitié du XXI^{ème} siècle compte tenu de la hausse des températures ;

² Météo France (2011) : La canicule est définie par le dépassement de seuils, fixés pour chaque département, de la température minimale et maximale pendant 3 jours consécutifs. On compte alors 1 jour de canicule. Si ces seuils sont dépassés 5 jours consécutifs, on compte 3 jours de canicule.

- la tendance à la baisse du cumul de précipitation annuel qui cache néanmoins quelques disparités saisonnières comme la très forte diminution des pluies estivales en plaine à l'horizon 2080 avec une diminution envisagée du cumul de 25 à 40% mais une légère hausse dans le sud des Alpes à l'horizon 2030 ;
- le nombre de jours consécutifs de sécheresse augmenterait de façon généralisée en fin de siècle. D'ici là, il se stabiliserait ou diminuerait légèrement au nord de la région mais augmenterait au sud.

5.5 INCERTITUDES DES RESULTATS

Même si la tendance au réchauffement climatique est désormais évidente, de fortes incertitudes autant en termes de changement que d'intensité des changements subsistent autour des résultats présentés. Les incertitudes les plus fortes concernent l'évolution de la pluviométrie saisonnière.

Ces incertitudes posent problème notamment lorsqu'il s'agit de tenir compte des impacts du changement climatique dans les études d'ingénierie ou dans la définition des stratégies de développement des territoires. Des décisions fermes doivent être prises sur la base de tendances variables d'un paramètre climatologique à l'autre et dans des gammes de variation plus ou moins larges.

Pour mémoire, les principales incertitudes concernent :

- les scénarii d'émission de GES : ces scénarii ont un impact très important sur les résultats obtenus ;
- les zones de transition : les modèles de circulation globale du GIEC donnent les mêmes tendances mais les zones de transition varient énormément d'un modèle à l'autre. Par exemple, la tendance globale dans l'hémisphère nord est une augmentation des pluies au nord et une diminution au sud. La localisation de la zone de transition et son extension nord-sud sont peu claires ;
- l'intensité et la variabilité du réchauffement : ces 2 paramètres sont très liés à la définition des scénarii d'émission de GES ;
- la variabilité interne du système liée à l'initialisation des modèles : cette variabilité est liée au temps nécessaire pour stabiliser les calculs des modèles de circulation globale. Elle diminue lorsque l'échéance de temps augmente. Nous avons vu que les premières décennies étaient d'ores et déjà jouées en termes d'évolution du climat compte tenu du temps de réaction de l'atmosphère. Compte tenu du temps d'initialisation des modèles, mieux vaut s'intéresser aux impacts du changement climatique à partir de 2050 ;
- les méthodes de « descente d'échelle » : ces méthodes induisent des incertitudes mais sans elles il n'y aurait pas de résultats locaux ou régionaux. Ce sont pourtant ces résultats qui intéressent le plus la population et les décideurs. Chacun doit simplement garder en tête les limites d'utilisation et d'extrapolation des sorties des modèles météorologiques de circulation globale.

Dans la suite, nous tiendrons compte de ces incertitudes au moyen des intervalles d'incertitude autour des évolutions des paramètres climatologiques fournis par les différentes études.

6. IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE CYCLE DE L'EAU

Le changement climatique aura un impact sur le cycle de l'eau en général et donc sur le bilan hydrologique des bassins versants en particulier. Les principales tendances pour les bassins versants de montagne devraient concerner la baisse des débits estivaux et la modification des régimes d'écoulement.

Néanmoins, le cycle de l'eau étant complexe et très lié aux caractéristiques des bassins versants étudiés, il est important d'avoir une vision globale du cycle de l'eau pour comprendre toutes les composantes de ce cycle susceptibles d'être influencées par le changement climatique.

6.1 LE CYCLE DE L'EAU

La figure 7 présente de manière schématique le cycle de l'eau.

La quantité globale d'eau disponible sur terre ne changeant pas, le cycle de l'eau fonctionne en circuit fermé. Il ne peut y avoir apparition ou disparition d'eau due au changement climatique. En revanche, il peut y avoir une modification de la répartition de l'eau au sein des différentes composantes du cycle de l'eau. De plus, une atmosphère plus chaude peut contenir et transporter plus d'humidité (Haubner, 2002). Cette caractéristique de l'atmosphère peut entraîner éventuellement un déplacement des zones de pluie, voire un stockage de l'eau sous forme de vapeur d'eau dans l'atmosphère au détriment des précipitations.

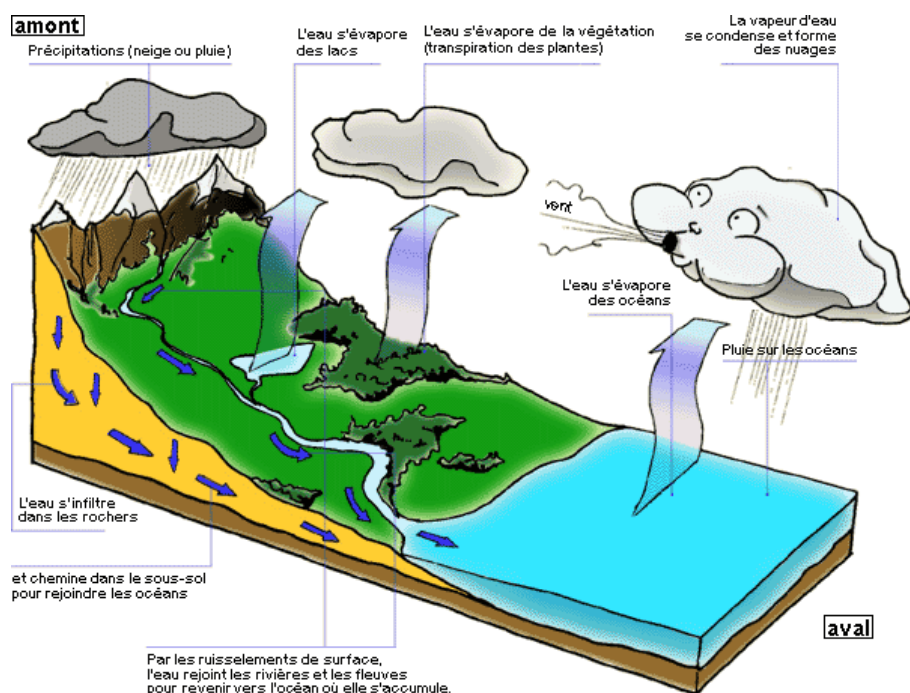


Figure 7 : Cycle de l'eau (d'après AE-RMC)

6.2 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE CYCLE DE L'EAU

Au-delà des conséquences en termes d'évolution des précipitations, le principal impact du changement climatique est le réchauffement global de l'atmosphère. Ce réchauffement global a plusieurs conséquences, directes et indirectes :

- Conséquences directes :
 - la remontée de l'isotherme 0°C et donc de la limite pluie-neige. D'après Beniston (2007), la limite pluie-neige remonterait de 150 m pour chaque degré en plus ;
 - la fonte de la neige précoce au printemps surtout à moyenne altitude et la fonte des glaciers (dont l'impact est faible pour le bassin du Lac d'Annecy) ;
 - l'augmentation de l'évapotranspiration directement liée à l'augmentation de la température ;
- Conséquences indirectes :
 - la baisse des précipitations, en moyenne sur l'année et en particulier en été malgré une tendance à la hausse en hiver ou au printemps en fonction des études ;
 - la modification des régimes hydrologiques des cours d'eau avec un décalage dans le temps et une diminution du pic d'apports printaniers ;
 - la difficulté de recharge des aquifères ;
 - la modification de la végétation en fonction de l'altitude et de la latitude. Cette modification associée à l'assèchement des sols en été aura un impact sur l'évapotranspiration qui pourrait ainsi être limitée dans l'espace et dans le temps.

A la figure suivante, Beniston (2007) indique ce que pourrait devenir le régime hydrologique du Rhône en amont du Lac Léman à l'horizon 2070-2100. Ces échéances sont supérieures à l'horizon 2050 qui nous intéresse ici mais illustrent bien les tendances attendues pour le régime hydrologique des cours d'eau de montagne. Cette figure est obtenue par comparaison des périodes 1961-1990 et 2071-2100. Les hypothèses de changement des précipitations à cet horizon sont :

- +20% sur les pluies en hiver,
- +3 au printemps,
- Presque -30% en été,
- Environ -8% en automne.

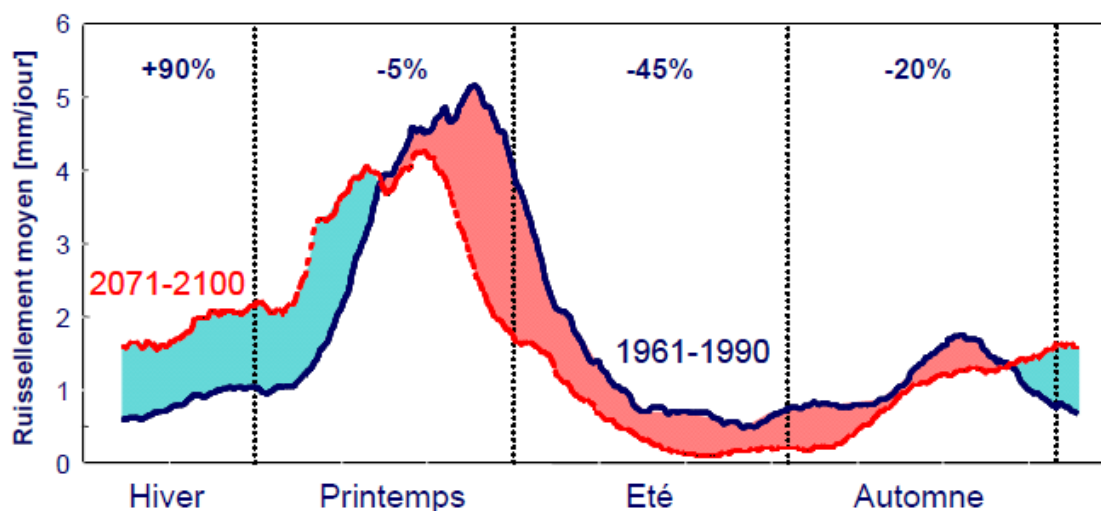


Figure 8 : Impact du changement climatique sur les débits saisonniers du Rhône proche de sa source pour la période de référence 1961-1990 et pour un climat futur 2071-2100 (Beniston, 2007)

Nous retiendrons de la figure 8 :

- le décalage dans le temps du pic de crue printanier,
- l'atténuation du pic de crue printanier,
- l'abaissement des débits estivaux,
- les grandes différences entre les changements des précipitations et ceux subis par les débits, avec par exemple :
- en été : -30% sur les pluies et -45% sur les débits,
- en hiver : +20% sur les pluies et +90% sur les débits.

6.3 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA VEGETATION

Nous mentionnons ces impacts dans un paragraphe spécifique car ils interviennent directement sur l'évapotranspiration³. Or, l'évapotranspiration est un des termes du bilan hydrologique d'un bassin versant. C'est même en été l'un des termes les plus importants. En outre, l'évaporation de l'eau du Lac d'Annecy pourrait augmenter en même temps que les températures.

³ L'évapotranspiration regroupe l'évaporation de l'eau contenue dans les masses d'eau superficielles ou dans le sol et la transpiration des végétaux.

Langevin *et al.* (2008) rappellent qu'il est difficile de quantifier les impacts du changement climatique sur l'évapotranspiration. Néanmoins, il faut s'attendre à des modifications et les grandes tendances des modifications sont en partie anticipées.

Ainsi, toutes les études s'accordent pour envisager des déplacements en altitude et vers le nord des espèces avec des modifications des cycles biologiques (floraison plus tôt dans l'année, allongement des cycles dans certains secteurs...).

La migration en altitude des espèces végétales pourrait être de l'ordre de 150 m par degré en plus (ONERC, 2008). Les déplacements en altitude sont contraints par le sommet des montagnes d'une part et par les limites de tolérance de chaque espèce en termes d'altitude. D'après la CIPRA (2002), il est possible qu'il y ait de la concurrence entre les espèces et que cette concurrence soit défavorable aux espèces endémiques. Ces espèces ont en effet des capacités d'adaptation plus limitées.

L'une des conséquences de la migration des espèces végétales en altitude pourrait être le remplacement des conifères par les feuillus, en particulier aux altitudes moyennes. Du point de vue du bilan hydrologique, les feuillus transpirent davantage que les conifères. Du point de vue des risques naturels, les feuillus sont plus efficaces que les conifères pour lutter contre les chutes de blocs mais moins bons pour stabiliser le manteau neigeux (ONERC, 2008). Donc le risque d'augmentation des avalanches du fait d'un changement de végétation est possible.

Par ailleurs, l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre, en particulier du CO₂, est favorable a priori à la croissance des plantes. A l'avenir, le facteur limitant la croissance des plantes sera plus la disponibilité de la ressource en eau que le CO₂. Ajouter du CO₂ n'améliorera pas la croissance des végétaux⁴. Il est possible que durant les premières décennies des forêts jeunes se développent et prélèvent une part importante de la ressource en eau pour assurer leur croissance.

⁴ Pour information, il existe une différence majeure entre les forêts jeunes et vieilles. Une forêt jeune fixe plus de carbone. Mais comme les arbres sont petits, le sol est mieux touché par la pluie et le soleil. Dans ces conditions, la vie s'y développe mieux. Il y a donc plus de respiration des organismes vivant et globalement la jeune forêt ne stocke pas de carbone. Une forêt ancienne stocke mieux le carbone. Néanmoins, le stockage est limité à long terme par les substances nutritives et l'eau.



Zone de plaine
proche de l'exutoire



Partie médiane du bassin



Partie amont du bassin

Figure 9 : Exemple d'occupation actuelle des sols sur le bassin de l'Ire, affluent du Lac d'Annecy (Cottet-Puinel, 2008)

6.4 GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU ET USAGES

Encore une fois, les montagnes en général jouent un rôle majeur dans la ressource en eau. Les Alpes en particulier sont le château d'eau de nombreux pays européens (Beniston, 2007). Par conséquent, si la ressource en eau change, il faut s'attendre à des impacts en termes d'accès à la ressource en eau et d'usages.

Les usages de l'eau en montagne sont très nombreux et très différents : industrie, irrigation, hydroélectricité, tourisme (avec le ski en hiver et la production de neige de culture, le nautisme et la baignade en été, la pêche...), AEP... il faut inclure à cette liste des usages non marchands comme la consommation en eau d'une forêt. Tous ces usages subiront les conséquences d'une baisse de la disponibilité de la ressource en eau consécutive à des changements climatiques.

De par sa topographie, la structure des vallées alpines et notamment de la région du Lac d'Annecy fait que le climat est très variable en fonction de l'altitude et d'une vallée à l'autre. La disponibilité en eau est très variable également en fonction des capacités locales de stockage superficiel et souterrain, des activités humaines au fil de l'année et des prélèvements. L'approvisionnement des populations locales pourrait devenir de plus en plus limité compte tenu de l'augmentation des communautés et des flux temporaires de touristes. La réduction de l'approvisionnement combinée au changement climatique viendrait donc exacerber les problèmes de demande en eau (AEE, 2009).

D'après Langevin *et al.* (2008), la question qui se pose actuellement est moins celle d'une diminution de la ressource que de l'accroissement des prélèvements à des périodes où cette ressource est plus rare. Les risques de compétition intersectorielle autour de l'accès à la ressource en eau ne sont pas négligeables. Des règles de priorité pour l'accès à l'eau pourraient devoir être définies, non seulement pour les études prospectives actuelles mais également pour la gestion de la ressource proprement dite en 2050.

7. SCENARIIS POSSIBLES ET IMPACTS POUR LE LAC D'ANNECY

A ce stade de la synthèse bibliographique, nous disposons d'un état des lieux complet des changements climatiques attendus et de leurs impacts possibles pour la région du nord des Alpes en général. Nous avons volontairement traité de nombreuses références bibliographiques dans des domaines très variés. Il s'agit en effet d'avoir un maximum d'informations sur le changement climatique compte tenu de la variabilité des résultats obtenus et de tous les impacts directs ou indirects qui découlent de ces changements.

Dans cette partie, nous chercherons à définir les scénarii de changement climatique les mieux adaptés au bassin du Lac d'Annecy et à prendre en compte les évolutions prévisibles du bassin. Les évolutions concernent essentiellement les prélèvements en eau pour les besoins de l'AEP. Nous ne tiendrons pas compte des prélèvements liés aux industries locales ou à l'irrigation.

Nous nous concentrerons sur l'horizon 2050, si possible selon un pas de temps mensuel, sinon selon un pas de temps saisonnier.

7.1 AUGMENTATION DE LA POPULATION DU BASSIN DU LAC D'ANNECY

Les besoins pour l'AEP sont liés principalement à l'augmentation de la population. Nous considérerons que les besoins en eau futurs sont proportionnels à la population.

Aucune amélioration des réseaux de distribution de l'eau n'est prise en compte. Proportionnellement à la population du bassin du Lac d'Annecy, les fuites dans les réseaux resteront inchangées à l'horizon 2050. Nous n'irons pas non plus jusqu'à considérer l'impact du développement du réseau de distribution lié à l'augmentation de la population d'une part et aux types d'habitats d'autre part, l'habitat collectif permettant de limiter le développement du réseau et donc le risque de fuite par rapport à un habitat résidentiel plus mité dans le paysage.

Les informations utilisées pour estimer la population du bassin du Lac d'Annecy à l'horizon 2050 sont fournies par l'INSEE (Robert-Bobée, 2007). Nous devrions être 70 M d'habitants en France vers 2050 d'après une projection moyenne de l'INSEE. Actuellement, la France compte 63 M d'habitants.

En 2004, le bassin du Lac d'Annecy comptait environ 250 000 habitants (chiffre le plus récent trouvé sur internet). Cette même année 2004, la France comptait environ 60 M. Le taux de croissance entre 2004 et 2050 serait donc de l'ordre de 16.7%. Si nous considérons que ce taux français est valable aussi pour le bassin du Lac d'Annecy, cela conduirait à une estimation de la population à 291 667 habitants en 2050, soit environ 300 000 habitants.

Les consommations en eau dans le bassin du Lac d'Annecy seront estimées sur la base de cette estimation.

7.2 METHODOLOGIE DEVELOPPEE DANS LE CADRE DU PROJET CLIMASILAC II ET DONNEES UTILISEES

L'objectif du projet CLIMASILAC II est d'identifier l'impact du changement climatique sur le régime hydrologique des affluents du Lac d'Annecy. Comme les chroniques de données hydrologiques ne permettent pas encore d'identifier des tendances d'évolution nettes, Cottet-Puinel *et al.* (2011) ont choisi de modéliser les écoulements du bassin dans son état actuel, puis de modifier les variables d'entrée du modèle en fonction de scénarii de changements climatiques afin d'identifier l'impact des modifications envisagées sur les apports au Lac modélisé dans son état actuel. Comparer des sorties de modèle avec et sans changement climatique plutôt que comparer des sorties de modèle intégrant des changements climatiques avec des données observées sur le bassin de l'Ire permet d'éviter d'intégrer les biais du modèle dans l'analyse des écarts. Cottet-Puinel *et al.* travaillent sur le bassin de l'Ire à Doussard. Ce bassin est considéré comme caractéristique des apports au Lac d'Annecy. Les résultats obtenus dans le cadre de CLIMASILAC II sont donc considérés comme représentatifs de ce qui pourrait se produire à l'horizon 2050 pour les apports au Lac.

Le modèle utilisé est un modèle pluie-débit à bases physiques (Mike She) de façon à pouvoir prendre en compte les différents processus physiques susceptibles d'avoir un impact sur les écoulements dans le bassin en fonction des changements climatiques. Le modèle Mike She permet d'effectuer un

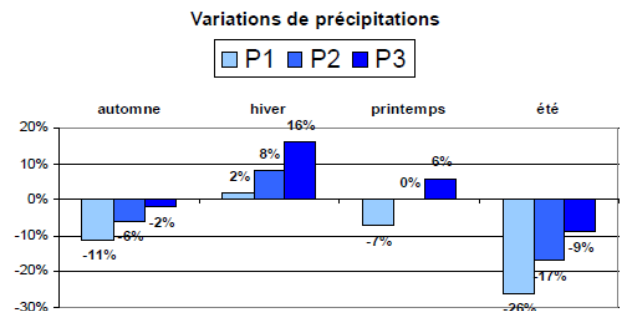
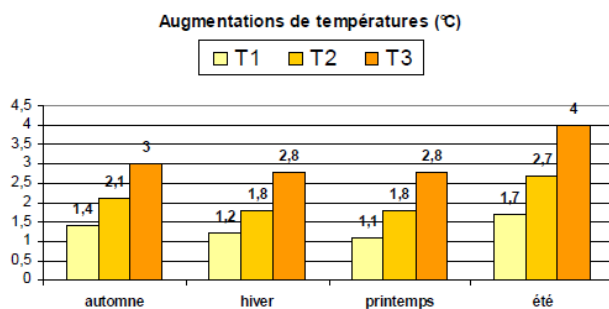
bilan hydrologique sur le bassin de l'Ire à Doussard. Les changements climatiques concernent essentiellement la température et la pluviométrie.

Cottet-Puinel *et al.* se projettent en 2050. Les données climatiques d'entrée sont issues de l'étude suisse de Frei *et al.* (2006-b). Le modèle est calé sur les données observées. A l'état futur, les seules modifications prévues sur le bassin sont d'ordre climatique. Aucune modification des usages de l'eau et aucun aménagement particulier ne sont pris en compte sur le bassin de l'Ire. L'identification des changements possibles sur les débits est réalisée en comparant les écoulements à l'état futur simulés par le modèle et aux écoulements calculés sur la base des données observées actuellement.

La méthode et les résultats obtenus par Cottet-Puinel *et al.* sont rappelés ici car d'une part l'étude concerne le bassin du Lac d'Annecy et, d'autre part, l'étude menée par CNR pour le compte du SILA repose sur une méthodologie similaire. Seul change le modèle utilisé pour analyser l'impact du changement climatique. Si Cottet-Puinel *et al.* s'appuyaient sur un modèle pluie-débit assez sophistiqué, le bilan hydrologique utilisé par CNR est plus rudimentaire mais sans doute plus robuste et mieux adapté à la zone d'étude (l'ensemble du bassin du Lac d'Annecy et non un sous bassin seulement). En outre, l'étude de Cottet-Puinel *et al.* présente l'avantage de distinguer les impacts liés seulement au réchauffement, seulement aux modifications des précipitations, puis les impacts liés simultanément au réchauffement et aux modifications des précipitations.

Les valeurs chiffrées obtenues dans le cadre du projet et rappelées ci-dessous doivent être considérées comme des tendances plus ou moins fortes mais ne doivent pas être prises au pied de la lettre compte tenu des incertitudes sur l'intensité des changements climatiques et sur la modélisation pluie-débit elle-même.

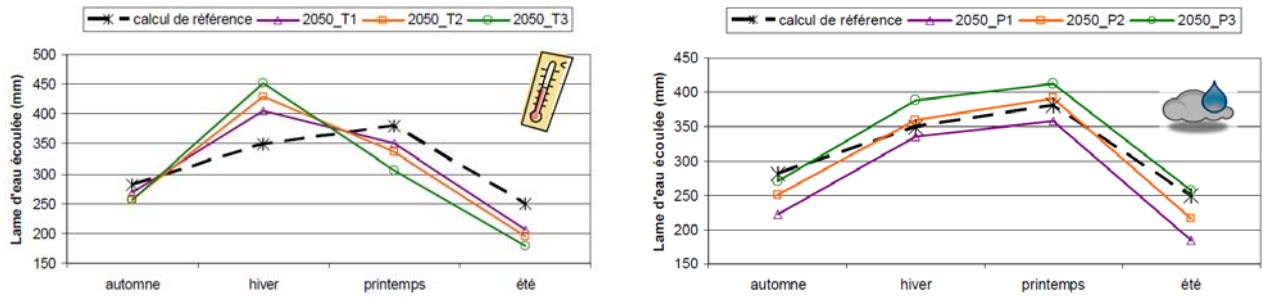
Les résultats obtenus par Cottet-Puinel *et al.* (2011) mettent en évidence une nette augmentation des apports en hiver et des diminutions pour toutes les autres saisons. La tendance est à la baisse des écoulements annuels.



Réchauffement climatique

Modification des précipitations

Figure 10 : Scenarii de changements climatiques utilisés dans le cadre du projet CLIMASILAC II (Cottet-Puinel *et al.*, 2011)



Réchauffement climatique seuil

Modification des précipitations seule

Figure 11 : Impacts des changements climatiques observés sur le bassin de l'Ire à Doussard dans le cadre du projet CLIMASILAC II (Cottet-Puinel *et al.*, 2011)

Tableau 3 : Impacts combinés des changements des températures et des précipitations (Cottet-Puinel *et al.*, 2011)

	autumn	winter	spring	summer	annual
sim_T1_P1	- 25%	+ 14%	- 12%	- 41%	- 13%
sim_T1_P2	- 17%	+ 18%	-5%	- 32%	- 6.50%
sim_T1_P3	- 10%	+ 33%	+ 0.3%	- 20.50%	+ 3%
sim_T2_P1	- 27%	+ 16%	- 16%	- 43%	- 15%
sim_T2_P2	- 16%	+ 25%	- 11%	- 37%	- 7%
sim_T2_P3	- 9%	+ 38%	- 4%	- 30%	+ 1%
sim_T3_P1	- 30%	+ 24%	- 27%	- 47%	- 17%
sim_T3_P2	- 24%	+ 35%	- 21%	- 44%	- 11%
sim_T3_P3	- 14%	+ 46%	- 12%	- 31%	- 0.2%

8. CONCLUSIONS

8.1 RAPPEL DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les conclusions rappelées ci-dessous sont issues du rapport de l'ONERC (2008). Elles concernent les principaux résultats à retenir en lien avec le changement climatique et ses impacts :

- Climatologie :
 - Augmentation de 0.9°C au cours du XX^{ème} siècle ;
 - Augmentation maximum de 3 à 6°C d'ici 2100 ;

- Pour les pluies, les modèles climatologiques ont du mal à représenter les précipitations en zone de montagne. Les tendances proposées sont : plus de pluie en hiver, moins de pluie en été.
- Milieux :
- Diminution de la durée et de la hauteur d'enneigement ;
 - Recul des glaciers et disparition de certains d'entre eux ;
 - Dégradation du permafrost ;
 - Diminution de la ressource en eau (après une augmentation temporaire liée à la fonte des stocks de glace) ;
 - Effets sur les espèces : mélange d'effets positifs et de nouvelles compétitions avec la migration en altitude de certaines espèces (dans la limite des sommets) et la migration vers le nord de certains parasites ou des zones touchées par les sécheresses.
- Impact sur les aléas naturels :
- Les crues liées à la fonte devraient être moins intenses et survenir plus tôt ;
 - Les débits devraient augmenter en hiver : augmentation du risque de crue ;
 - Les débits devraient diminuer en été : augmentation du risque de sécheresse ;
 - Moins d'avalanches devraient se produire à basse et moyenne altitudes. Les avalanches de neige humide devraient être les avalanches les plus fréquentes ;
 - Plus de chutes de bloc en altitude, moins à moyenne altitude du fait de la diminution de l'alternance des cycles de gel et de dégel ;
 - L'augmentation des précipitations hivernales pourraient entraîner une augmentation des glissements de terrain à moyenne altitude ;
 - Diminution de la stabilité des glaciers suspendus et augmentation de la taille et du nombre de lacs proglaciaires ;
 - Augmentation du risque de feux de forêt du fait de l'augmentation des sécheresses. Les feux de forêt pourraient toucher également des régions qui actuellement ne sont pas du tout concernées par ce risque.

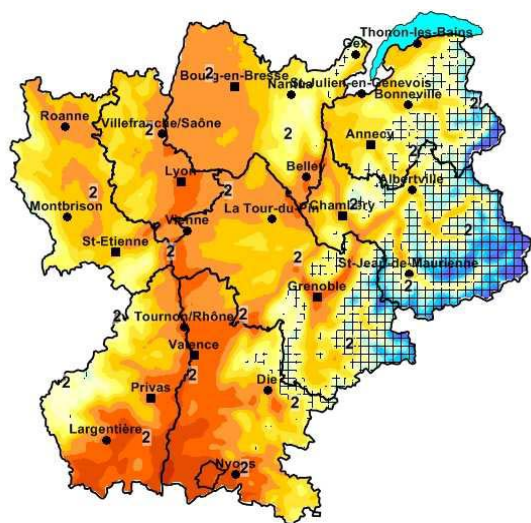
Même si nous nous sommes focalisés sur les Alpes à l'horizon 2050, chaque étude de la littérature a un objectif précis qui ne correspond pas forcément à celui de notre étude, dans le secteur de notre étude, pour l'horizon de temps de notre étude. Pour toutes ces raisons, il est difficile de faire la synthèse du changement climatique et de ses impacts pour le bassin du Lac d'Annecy. Nous avons donc été obligés d'étendre au maximum cette synthèse bibliographique à tous les types de modèles, tous les types de scénarii, toutes les thématiques en lien avec le changement climatique et ses impacts et tous les horizons.

L'idéal serait de travailler à l'échelle du Lac d'Annecy avec un modèle de circulation locale forcée aux limites par un modèle de circulation globale. Ça n'est évidemment pas possible dans le cadre de la présente étude. Néanmoins, les résultats identifiés dans la littérature technique, scientifique ou institutionnelle permettent de proposer des scénarii d'évolution du climat pour le bassin du Lac d'Annecy. Ces propositions intègrent les intervalles de confiance autour des tendances d'évolution des paramètres climatologiques.

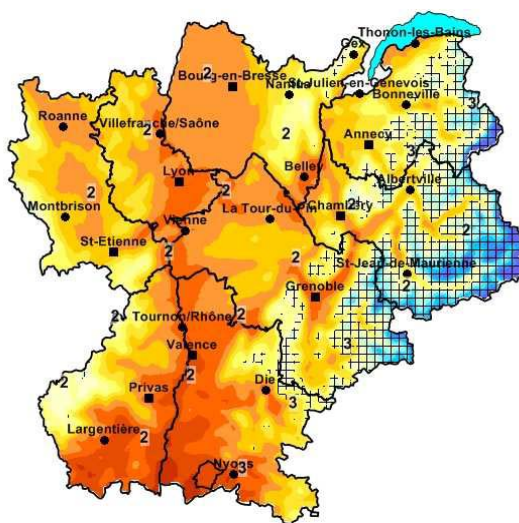
8.2 METHODOLOGIE D'ELABORATION DES SCENARII DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LE BASSIN DU LAC D'ANNECY

Aucun modèle climatologique ne traite spécifiquement du bassin du Lac d'Annecy. Nous avons vu d'ailleurs que l'adaptation à des échelles très locales des sorties des modèles climatologiques posait problème.

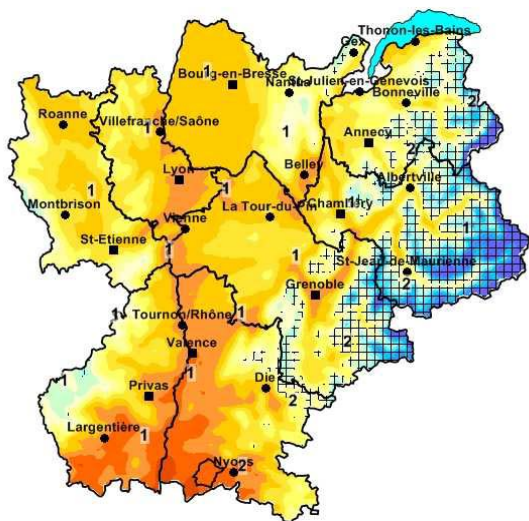
Dans le cadre de son étude réalisée pour le compte de la DREAL Rhône-Alpes, Météo France a réalisé des cartographies complètes de l'évolution de tous les paramètres listés dans le tableau 2 à l'échelle de la région Rhône-Alpes. Si ces cartographies étaient disponibles, nous pourrions envisager d'analyser les résultats de l'étude Météo France spécifiquement sur le bassin du Lac d'Annecy. Ce n'est pas le cas actuellement. Nous donnons néanmoins un exemple de carte fournie par Météo France aux figures ci-dessous.



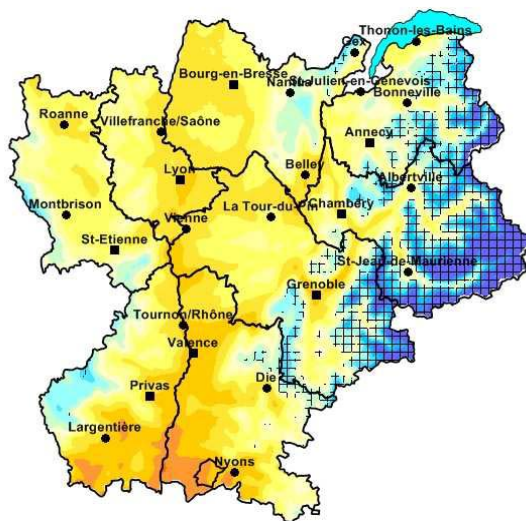
Scenarrio A2



Scenarrio A1B

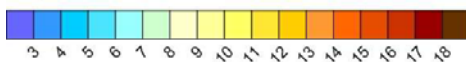


Scenario B1



Climatologie AURELHY 1971-2000

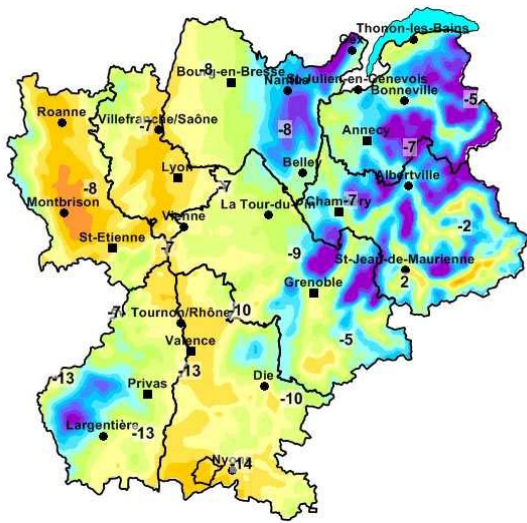
Moyenne annuelle de la température moyenne en °C



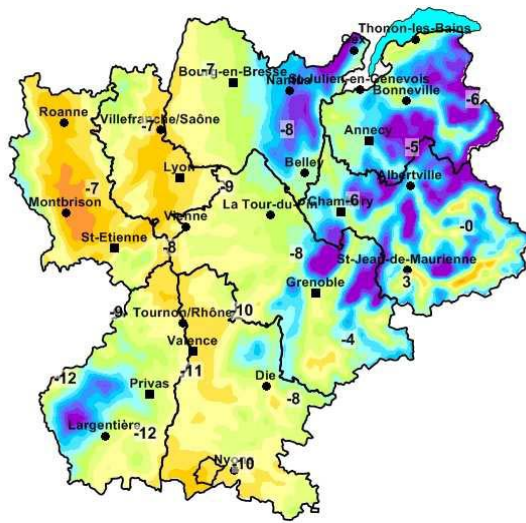
(valeurs sur les cartes :
écarts en °C)

Figure 12 : Impacts des changements climatiques pour les températures⁵ moyennes annuelles en région Rhône-Alpes à l'horizon 2050 (Météo France, 2011)

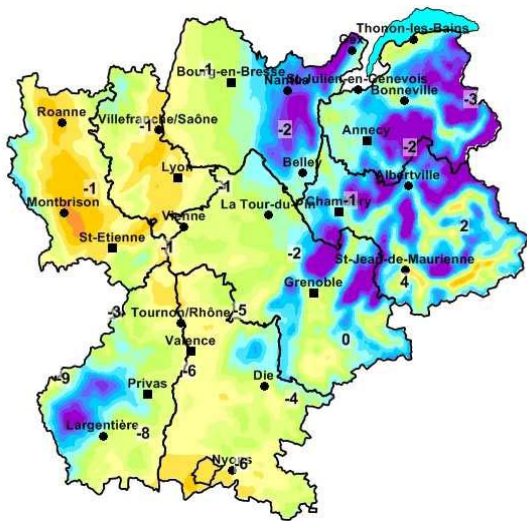
⁵ Compte tenu du peu de données disponibles en altitude, les résultats au-dessus de 1500 m ont été quadrillés de façon à indiquer les incertitudes supplémentaires des résultats obtenus liées aux observations disponibles.



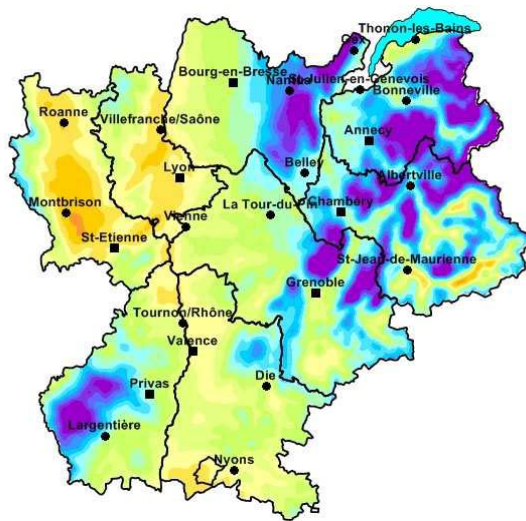
Scenario A2



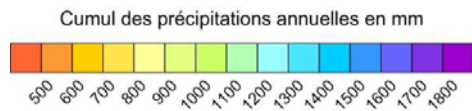
Scenario A1B



Scenario B1



Climatologie AURELHY 1971-2000



(valeurs sur les cartes :
écarts en %)

Figure 13 : Impacts des changements climatiques pour la pluviométrie moyenne annuelle en région Rhône-Alpes à l'horizon 2050 (Météo France, 2011)

La méthode retenue par CNR repose sur une analyse du bilan hydrologique du bassin du Lac d'Annecy. L'état actuel est connu. Pour simuler l'état 2050, des informations sont nécessaires sur les températures et sur les pluies. En effet, l'évapotranspiration sera conditionnée par les températures. Les prélèvements seront proportionnels à l'augmentation du nombre d'habitants dans le bassin du Lac d'Annecy. Les apports au Lac seront estimés sur la base des résultats obtenus par Cottet-Puinel *et al.* (2011). Ensuite, sur la base du fonctionnement naturel du Lac d'Annecy, il sera possible de reconstituer les variations des cotes du Lac.

Les sorties de modèle sont au pas de temps saisonnier. Pour passer au pas de temps mensuel, nous considérerons que les résultats sont constants pour chaque mois de la saison.

Compte tenu des études disponibles, nous proposons de nous appuyer sur les sorties de modèle de Météo France (2001) et sur les résultats du projet PRUDENCE obtenus pour le nord des Alpes suisses (Frei *et al.*, 2006-a et 2006-b, repris par Cottet-Puinel *et al.*, 2011). Cela se traduit concrètement par l'utilisation des résultats indiqués à la figure 10 et au tableau 2. L'ensemble de ces résultats est synthétisé au tableau 4.

Tableau 4 : Scenarii d'impacts du changement climatique sur la base des données des études de la littérature

Saison	Température (°C)	Pluviométrie (%)				
		Cottet-Puinel et al. (2011)			Météo France (2011)	
Printemps	1.1	-7%	0%	6%	5%	10%
	1.8	-7%	0%	6%	5%	10%
	2.8	-7%	0%	6%	5%	10%
Eté	1.7	-26%	-17%	-9%	-15%	-25%
	2.7	-26%	-17%	-9%	-15%	-25%
	4	-26%	-17%	-9%	-15%	-25%
Automne	1.4	-11%	-6%	-2%	-5%	0%
	2.1	-11%	-6%	-2%	-5%	0%
	3	-11%	-6%	-2%	-5%	0%
Hiver	1.2	2%	8%	16%	-5%	5%
	1.8	2%	8%	16%	-5%	5%
	2.8	2%	8%	16%	-5%	5%

La comparaison de ces résultats met en évidence que les évolutions prévues pour les températures sont du même ordre de grandeur. En revanche, les tendances prévues pour les pluies sont très différentes.

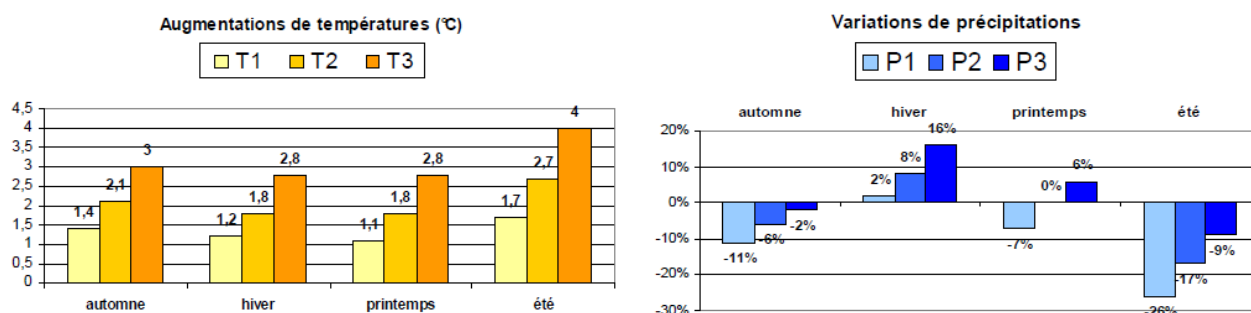
Par ailleurs, pour tenir compte des impacts du changement climatique sur les apports au Lac d'Annecy, la seule étude disponible est celle réalisée dans le cadre du projet CLIMASILAC II (Cottet-Puinel, 2008 et Cottet-Puinel *et al.*, 2011).

8.3 DEFINITION DES SCENARII DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LE BASSIN DU LAC D'ANNECY

Nous proposons de conserver les scenarii de température et de pluviométrie proposés par Frei *et al.* (2006-a et 2006-b). De cette façon, au-delà de la problématique liée à la définition des scenarii, nous serons en mesure de fournir plusieurs tendances d'évolutions du bilan hydrologique du bassin du Lac d'Annecy. Comme ces données sont reprises par les études de Cottet-Puinel, cela nous permet de tenir compte de l'impact du changement climatique sur les débits. Le nombre de cas à analyser est ainsi limité aux 9 scenarii dont les résultats sur les débits sont présentés tableau 3. Sur la base de toutes ces tendances, il sera alors possible d'estimer des tendances moyennes et des intervalles d'incertitude autour de ces tendances.

Pour mémoire, les 9 scenarii retenus sont les mêmes que ceux présentés au paragraphe 7.2. A chacun de ces scenarii est associé un impact saisonnier en termes de débit (tableau 3) et un impact saisonnier en termes d'évaporation de l'eau du Lac d'Annecy en considérant que l'évaporation est surtout fonction de la température.

Afin de désagréger les informations saisonnières selon un pas de temps mensuel, nous suggérons de ne pas modifier les évolutions saisonnières des températures et des précipitations mais d'avancer d'une quinzaine de jours les impacts sur les débits.



Réchauffement climatique

Modification des précipitations

Figure 14 : Rappel des scénarii de changements climatiques utilisés dans le cadre du projet CLIMASILAC II (Cottet-Puinel et al., 2011)

Tableau 5 : Rappel des impacts sur les débits calculés dans le cadre du projet CLIMASILAC II

Simulation	Automne	Hiver	Printemps	Été
T1xP1	-25%	14%	-12%	-41%
T1xP2	-17%	18%	-5%	-32%
T1xP3	-10%	33%	0%	-20%
T2xP1	-27%	16%	-16%	-43%
T2xP2	-16%	25%	-11%	-37%
T2xP3	-9%	38%	-4%	-30%
T3xP1	-30%	24%	-27%	-47%
T3xP2	-24%	35%	-21%	-44%
T3xP3	-14%	46%	-12%	-31%

Bibliographie

1. Agence Européenne pour l'Environnement (2009) : Changement climatique regional et adaptation : Les Alpes face au changement des ressources en eau – Résumé du rapport de l'AEE n°9/2009, 18 p.
2. BENISTON M. (2007) : Changements climatiques et impacts sur l'hydrologie : le cas des Alpes – Colloque SHF « Variations climatiques et hydrologie », Lyon (France), 27-28 mars 2007
3. BRAUN L., WEBER M., MAUSER W. et PRASH M. (2011) : Understanding water in Alpine basins through observations and modelling – Colloque SHF « Eaux en montagne », Lyon (France), 16-17 mars 2011
4. Conseil Général de Savoie (2010) : Livre blanc du climat en Savoie – Mai 2010, 140 p.
5. Convention Alpine (2011) : SIGNAUX ALPINS 6 : vers la décarbonisation des Alpes, Politiques et stratégies nationales, initiatives régionales et actions locales – Rapport de la convention alpine, 2011, 98 p.
6. COTTET-PUINEL M. (2008) : Approche intégrée des impacts des changements climatiques sur le fonctionnement du cycle hydrologique de l'Ire (Climasilac II) – Rapport de Master Professionnel, Université de Provence, 56 p.
7. COTTET-PUINEL M., FREISSINET C. & GRAFF B. (2011): Impact of climate change on the management of water resources in mountainous regions – case of the Lake Annecy basin in the French Alps – A paraître dans le cadre de la 79^{ème} réunion annuelle de la CIGB, Lucerne (Suisse), 29 mai - 3 juin 2011
8. FREI C. et al., (2006-a) : Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models – J. Geophys. Res., 111, D06105, doi:10.1029/2005JD005965
9. FREI C. et al., (2006-b) : Les changements climatiques et la Suisse en 2050 – Rapport sur les données fondamentales dans le cadre du projet PRUDENCE, 14 p.
10. GIEC (2007) : Contribution au 4^{ème} rapport d'évaluation du GIEC sur l'évolution du climat – Résumé à l'intention des décideurs sur le bilan 2007 des changements climatiques, Novembre 2007, 37 p.
11. HAUBNER E. (2002) : Le changement climatique et les Alpes – Rapport de synthèse pour le compte de la CIPRA, 12 p.
12. LANG M. & RENARD B. (2007) : Analyse régionale d'évoutions sur le régime des extrêmes hydrométriques (crues et étiages) en France – Colloque SHF « Variations climatiques et hydrologie », Lyon (France), 27-28 mars 2007

13. LANGEVIN P., MUGNIER R. & MARCELPOIL E. (2008) : Changement climatique dans le massif alpin français : Etat des lieux et propositions – Rapport établi pour le commissariat à l'aménagement au développement et à la protection du massif alpin, mai 2008, 85 p.
14. Météo France DIRCE (2011) : Etude du changement climatique pour le Schéma Régional Climat Air Energie Rhône-Alpes (SRCAE) – Etude pour le compte de la DREAL Rhône-Alpes, Janvier 2011, 73 p.
15. ONERC (2008) : Changement climatiques dans les Alpes : Impacts et risques naturels – Rapport Technique N°1 de l'ONERC, Octobre 2008, Projet ClimChAlp (Interreg III B Alpine Space), 100 p.
16. SAUQUET E. & HAOND M. (2003) : Examen de la stationnarité des écoulements du Rhône en lien avec la variabilité climatique et les actions humaines – Barrages et développement durable en France, Colloque technique organisé par le Comité Français des Grands Barrages et le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Paris (France), 18 novembre 2003, pp. 261-270
17. RCT & EXPLICIS (2010) : Etude prospective des effets du CC dans le grand sud-est (phase 2) – Mission d'étude et de développement des coopérations interrégionales et européennes, rapport d'étude pour le compte de la DATAR, Aout 2010, 103 p.
18. ROBERT-BOBEE I. (2007) : Projections de population 2005-2050 : Vieillesse de la population en France métropolitaine – INSEE, Revue Économie et Statistique, n° 408-409, pp. 995-112

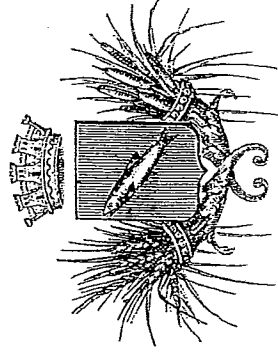
Annexe 13 Règlement de 1877

MAIRIE DE LA VILLE D'ANNECY
(Haute-Savoie)

LAC D'ANNECY

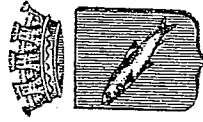
BARRAGES
RÉGULATEURS

RÈGLEMENT



ANNECY
IMPRIMERIE J. DÉPOLLIER & C^e

1877



LAC D'ANNECY

BARRAGES RÉGULATEURS

RÈGLEMENT

ARTICLE 1^{er}.

Exposé. — Le présent règlement s'applique aux trois barrages construits sur les canaux émissaires du lac d'Annecy, en vertu du décret du 8 août 1873.

Le barrage le plus important, celui du Thiou, comprend dix vannes mobiles en tôle, de 1 mètre 900 d'ouverture linéaire.

Le canal du Vassé est composé de cinq vannes de même largeur.

Enfin celui de Saint-François ne comporte que quatre vannes aussi de même largeur.

La manœuvre des vannes doit être faite de façon à régulariser, autant que possible, l'écoulement des eaux du lac, à procurer une alimentation à peu près constante aux usines situées à l'aval des barrages; enfin, à assurer, en tout temps, dans le lac et dans les canaux qui traversent la ville d'Annecy, une couche d'eau suffisante pour rendre la navigation facile et pour empêcher toute exhalaison nuisible à la salubrité publique.

ART. 2.

NIVEAU LÉGAL DE LA RETENUE. — Le niveau légal de la retenue est fixé pour les trois barrages à la cote (447 mètres 075) en contre-haut du niveau de la basse mer du nivellement général de la France. Il est à 1 mètre 886 en contre-bas de la plaque Bourdaloue placé sur le dé amont, rive droite du pont de la Halle sur le Thiou, point pris pour repère, et à 1 mètre 422 en contre-bas du seuil de la porte centrale de l'Hôtel-de-Ville d'Annecy, point pris pour contre-repère. Le zéro des échelles hydrométriques est à 2 mètres 686 en contre-bas du repère et à 2 mètres 222 en contre-bas du contre-repère.

ART. 3.

RÉPARTITION DES EAUX. — La répartition normale des eaux moyennes entre les trois canaux est fixée ainsi qu'il suit :

Canal du Thiou, 6 mètres cubes par seconde.
Canal du Vassé, 1 id.
Canal de Saint-François, 0 m. 50 id.

ART. 4.

MANŒUVRE DES VANNES. — La manœuvre des vannes sera faite sous le contrôle de l'Administration des Ponts et Chaussées par les soins et aux frais de l'Administration municipale de la ville d'Annecy et par des agents placés sous ses ordres et sous sa responsabilité en se conformant aux prescriptions qui suivent.

ART. 5.

HAUTES EAUX. — Lorsque les eaux dépasseront le niveau légal de la retenue et avant même qu'elles l'aient atteint, quand les indications pluviométriques ou atmosphériques annonceront une crue du lac, les vannes seront levées successivement sur les trois canaux de telle sorte qu'elles ne présentent aucun obstacle au libre écoulement des eaux pendant la crue.

Les propriétaires d'artifices situés sur les canaux seront tenus d'ouvrir graduellement leurs vannes de décharge au fur et à mesure de l'augmentation des eaux, suivant les ordres qui leur seront donnés par la Municipalité d'Annecy. A cet effet, ils seront tenus de remettre à celle-ci une clef de leurs vannes et de livrer passage aux agents chargés de la surveillance et de la police des canaux.

L'Administration aura de plus le droit d'ordonner l'ouverture de toutes les vannes motrices et de décharge dans tous les cas où le service public l'exigerait, et les usiniers seront tenus d'obtempérer, à cet égard, à toutes les injonctions qui leur seront données par le Maire sans pouvoir prétendre à aucune indemnité.

ART. 6.

EAUX MOYENNES. — Lorsque les eaux baissent et que les pluies n'annoncent pas une crue nouvelle, on fermera successivement les vannes jusqu'à ce que les eaux soient descendues au niveau de la retenue; quand elles auront atteint ce niveau, et pendant qu'il se maintiendra, les portes des vannes seront levées de façon à donner aux trois canaux des débits proportionnels aux chiffres exprimés à l'article 3.

ART. 7.

EAUX BASSES. — Pendant la baisse des eaux au-dessous du niveau de la retenue, les vannes seront manœuvrées de façon à assurer un débit de 6 mètres par seconde au canal du Thiou et un débit de 1 mètre 50 à celui du Vassé.

Le tableau ci-après donne le nombre de vannes à ouvrir et leur élévation suivant la hauteur des eaux observées à l'échelle hydrométrique.

HAUTEUR DES EAUX au-dessus de l'étiage mesuré sur l'échelle hydrométrique du pont de la Halle	CANAL DU THIOU		CANAL DU VASSÉ		CANAL DE SAINT-FRANÇOIS	
	Nombre de vannes à lever	Hauteur de levée de chaque vanne	Nombre de vannes à lever	Hauteur de levée de chaque vanne	Nombre de vannes à lever	Hauteur de levée de chaque vanne
0.80	4	38	1	38	2	0.06
0.75	4	40	1	40	2	0.07
0.70	4	42	1	42	2	0.07
0.65	4	45	1	45	2	0.08
0.60	4	49	1	49	2	0.08
0.55	6	36	3	18	2	0.09
0.50	6	39	3	20	2	0.10
0.45	6	46	3	23	2	0.12
0.40	8	42	3	28	2	0.14
0.39	8	44	3	29	2	0.15
0.38	8	47	3	31	2	0.16
0.37	8	50	3	33	2	0.17
0.36	8	54	3	36	2	0.18
0.35	10	48	3	40	2	0.20
0.34	10	53	3	44	2	0.22
0.33	10	61	5	31	2	0.26
0.32	10	75	5	38	4	0.46
0.31	10	106	5	53	4	0.22

ART. 8.

ETIAGE. — Lorsque le niveau des eaux du lac, par suite d'une sécheresse prolongée, aura atteint 0 mètre 550 en contre-bas du niveau de la retenue, soit 0 mètre 250 au-dessus du zéro de l'échelle

hydrométrique, les vannes des divers canaux seront manœuvrées de telle sorte que ce niveau soit maintenu dans le double intérêt de la navigation et de la salubrité.

ART. 9.

ENTRETIEN DES OUVRAGES. — Les menues dépenses d'entretien, telles que celles nécessaires pour la manœuvre des vannes, le graissage des vis, engrenages et tourillons, la conservation des peintures, le remplacement des planches, des poutrelles, etc., seront payées par la ville d'Annecy. Les dépenses d'entretien et de reconstruction relatives aux maçonneries des barrages, aux vannes, clapets, vis et engrenages, seront payées par l'Etat.

ART. 10.

PRESCRIPTIONS DIVERSES. — Les Ingénieurs de la navigation s'entendront avec M. le Maire d'Annecy pour l'ouverture et la fermeture des vannes de chaque barrage, lorsqu'ils le jugeront utile pour les travaux de dragage, de curage des canaux, ou tous autres ouvrages.

Les Ingénieurs chargés du service de la pêche seront prévenus vingt-quatre heures au moins à l'avance, de la fermeture des vannes des barrages afin d'assurer l'exécution des prescriptions de l'arti-

cle 17 du décret du 10 août 1875 sur la pêche fluviale (1).

ART. 11.

L'Ingénieur en chef des ponts et chaussées et le Maire d'Annecy sont chargés, chacun en ce qui le concerne, d'assurer l'exécution du présent règlement.

Annecy, le 1^{er} juin 1876.

Signé : COURTOIS.

Vu par l'Ingénieur en chef soussigné, et proposé à l'approbation préfectorale.

Annecy, le 6 décembre 1876.

Signé : A. COLLET-MEYGRET

(1) Art. 17 du décret du 17 août 1875. — Il est interdit de pêcher dans les parties des rivières, canaux ou cours d'eau dont le niveau serait accidentellement abaissé, soit pour y opérer des ouvrages ou travaux quelconques, soit par suite du chômage des usines ou de la navigation.

AUTORISATION

ACCORDÉE PAR LETTRE ADRESSÉE A M. LE PRÉFET
DE LA HAUTE-SAVOIE, SOUS DATE DU 4 DÉCEMBRE
1876, PAR M. LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

Monsieur le Préfet, vous m'avez transmis le 21 octobre dernier, les pièces relatives à un projet de règlement pour la manœuvre des vannes des barrages régulateurs établis sur le lac d'Annecy, en vertu du décret du 8 août 1873.

L'article 3 de ce décret porte qu'il est pris acte des engagements par lesquels le Conseil municipal d'Annecy déclare que la manœuvre de toutes les vannes et des divers barrages sera faite par les soins de l'Administration municipale et par les agents sous ses ordres, sous le contrôle de l'Administration des ponts et chaussées, et en se conformant au Règlement qui devra être dressé et approuvé par l'Administration supérieure.

En exécution de ces prescriptions, MM. les Ingénieurs, après avoir procédé à des expériences sur les manœuvres quotidiennes des vannes pendant l'année 1875, ont rédigé le projet de règlement dont il s'agit.

Ce projet a été soumis à une enquête de vingt jours dans la commune d'Annecy. Cinq oppositions ont été formulées par divers riverains du lac, mais elles ont toutes trait au niveau réglementaire des

eaux tel qu'il a été déterminé par le décret du 8 août 1873 et elles ne s'appliquent nullement au projet de règlement des manœuvres des vannes. D'autre part, la Compagnie générale de navigation, M. le Maire d'Annecy, ainsi que les propriétaires des usines situées sur les canaux émissaires du lac, ont donné leur plein assentiment aux propositions de MM. les Ingénieurs.

J'ai l'honneur de vous informer, Monsieur le Préfet, que, sur votre proposition et l'avis du Conseil général des ponts et chaussées, j'approuve le projet de règlement dressé par MM. les Ingénieurs les 1-6 juin 1876, et je vous prie d'en assurer l'exécution.

Ci-joint les pièces communiquées.

Recevez, etc.

LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS,

POUR LE MINISTRE ET PAR AUTORISATION :

LE DIRECTEUR DES ROUTES ET DE LA NAVIGATION,

Signé : A. ROUSSEAU