

BAISSE EXCEPTIONNELLE DU NIVEAU DU LAC DU BOURGET ETUDE HYDRAULIQUE DU CANAL DE SAVIERES ET ETABLISSEMENT D'UN PLAN D'ENTRETIEN DE LA VEGETATION LIGNEUSE RIVERAINE .

NOTE TECHNIQUE- doc. n°15.084-EH-01

Note relative à l'étude hydraulique et au plan de gestion de la végétation rivulaire



Bureau technique et d'études en génie de l'environnement

92, Quai Pierre Scize

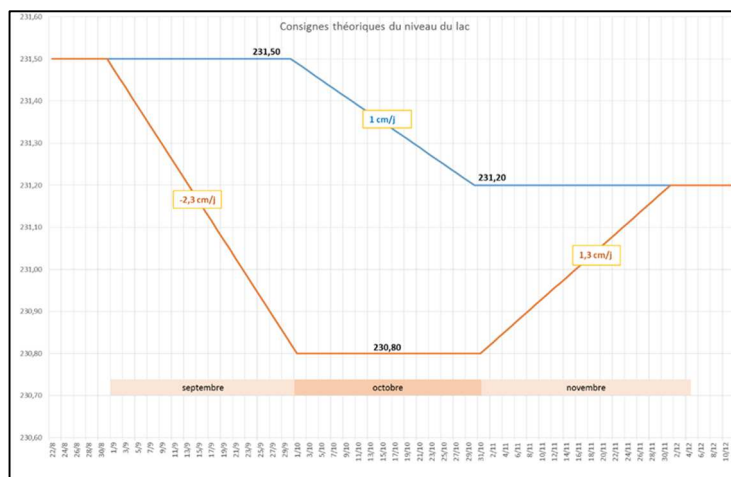
69005 Lyon

Tel : 04.78.14.06.06 Fax : 04.78.14.06.07

► Rappel du contexte et des objectifs

Le CISALB, représenté par son directeur, M. Renaud Jalinoux, et, à travers lui, les acteurs de la gestion du lac du Bourget, souhaitent opérer une baisse automnale exceptionnelle des niveaux du lac du Bourget afin de contribuer à l'oxygénation d'une partie des fonds et à un meilleur renouvellement des roselières en place. Pour mémoire le lac bénéficie actuellement d'une régulation de ses niveaux grâce au barrage de Savières. Ainsi un niveau estival à 231.50 est imposé tandis qu'il est baissé à 231.20 le reste de l'année.

L'abaissement supplémentaire envisagé, de l'ordre de 40 cm à la fin septembre et selon un cycle de 4 ans, est décrit par la figure suivante.



aussi, évoluer en défaveur de la stabilité de ces dernières. C'est pourquoi le maître d'ouvrage a souhaité que soit élaboré un modèle hydraulique afin de caractériser les conditions d'écoulement, d'évaluer les effets de l'abaissement envisagé puis de proposer des zones de curages et des conditions de baisses qui permettent le maintien de l'activité économique des trois bateliers utilisateurs du canal et la non altération des berges. Le modèle doit par ailleurs démontrer les « fuseaux de niveaux » à l'extérieur desquels l'opération de baisse exceptionnelle devra être abandonnée.

En outre, la baisse du niveau du barrage suggère un impact sur la végétation riveraine du canal (par ailleurs déjà fortement affectée par les activités de navigation, l'entretien déjà conduit et la pression humaine en berges), dont le cycle biologique persiste de plus en plus longuement ces dernières années (poursuite de la croissance jusqu'en octobre).

L'opportunité d'un abaissement exceptionnel du niveau d'eau est dès lors conditionnée par la prise en compte de ces différents enjeux qui passera notamment par la conduite de travaux forestiers susceptibles :

- de limiter l'impact sur la navigation (risque de rupture des sujets ligneux) ;
- de limiter la pression en berge (risque de déchaussement accru) ;
- d'assurer un rajeunissement d'une végétation souvent vieillissante ;

Etablis sur la base d'une journée de reconnaissance et de marquage des travaux forestiers réalisés par bateau en date du 10 novembre 2015, en présence de MM. Sébastien CACHERA et Clément PONCET (représentant le CISALB) et M. Ghislain HUYGHE (Biotec biologie appliquée), une note d'expertise et le plan de situation afférent visant à désigner, justifier et planifier les travaux forestiers à conduire, sont venus compléter l'étude hydraulique initialement envisagée.

A) Fonctionnement hydraulique du canal de Savières, impacts de l'abaissement sur la navigation et consignes d'abaissement

► Modélisation hydraulique du canal de Savières

Construction et calage du modèle, hypothèses de modélisation

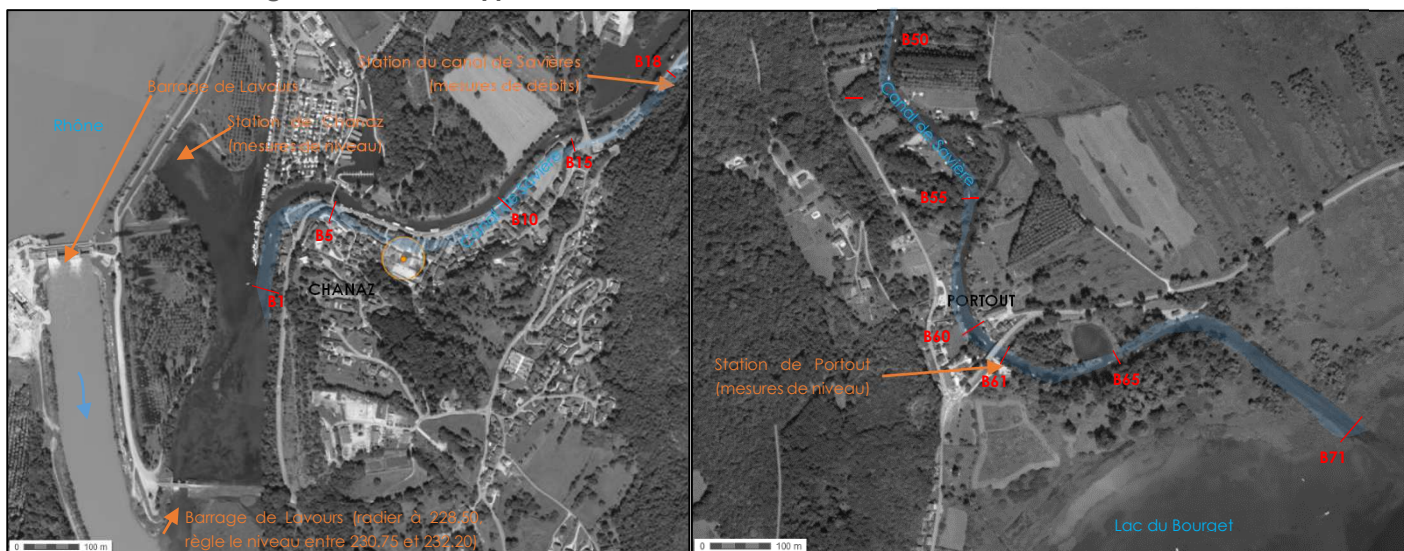


Figure 2. Implantation des points de mesures (en orange) et de quelques profils en travers (en rouge), supports du modèle hydraulique (l'intégralité des profils en travers est proposée dans le carnet de plans joint à la présente note)

Le modèle hydraulique a été construit grâce au logiciel monodimensionnel HECRAS, utilisé ici uniquement en régime permanent.

Il est constitué de 71 profils en travers dont la répartition est proposée dans le carnet de plans joint, soit un profil tous les 65 m en moyenne. La fréquence des profils augmente en fonction de la présence d'infrastructures ou de zones de dépôts ayant éventuellement une incidence sur l'hydraulicité et sur les conditions de navigation.

Le modèle a été calé, d'une part, sur le débit et la ligne d'eau du 19 mars 2002 (date des levés topographiques supports du modèle), d'autre part sur les mesures réalisées en continu à Chanaz et Portout (2 mesures de niveaux et une mesure de débits, voir implantation dans la figure 2 suivante). Les résultats sont respectivement proposés en annexe 1 et 2. Le coefficient de Strickler retenu est de 35 et offre une erreur de 3 cm max entre les lignes d'eau observées et modélisées.

A partir du modèle précédemment décrit, les conditions d'écoulement dans le canal de Savières sont simulées selon les hypothèses suivantes :

- le canal n'est considéré que dans le sens d'écoulement « Lac/Rhône » ;
- au delà des niveaux bathymétriques levés, les berges des profils en travers sont considérées comme verticales ;
- la condition limite aval est appliquée à Chanaz, au profil B1 (voir figure 2), soit à la confluence entre le canal de Savières et le bras usinier du Rhône. On considérera ici que les niveaux d'eau sur ce profil B1 et au droit du barrage sont les mêmes ;
- plusieurs cotes aval ont été testées dans la gamme [230.75 ; 231.50 m NGF0]
- la condition limite amont est appliquée au profil B71 sous la forme d'un débit constant ;
- il est considéré que le niveau du lac (profil B71) et celui du point de mesures de Portout sont proches (voir paragraphe dédié en page 8) ;
- les débits appliqués en condition limite amont correspondent à des différences de niveau entre l'amont et l'aval ou à un accroissement de niveau du lac consécutif à une crue de ce dernier. Ils ont été calculés grâce aux graphiques de l'annexe 3 (voir aussi les justifications dans le chapitre suivant) ;
- la gamme de débit modélisés est [0.25 ; 60 m³/s].

Détermination d'une loi $Q(Z_{chanaz}, Z_{portout})$

En modélisant la gamme de débit selon la gamme de condition limite aval, toutes deux précédemment décrites, un ensemble de courbes reliant le débit au niveau du lac ($Z_{Portout}$) à celui au droit du barrage (Z_{Chanaz}), a été établi. Il est proposé en annexe 3.

Une approximation polynomiale (ordre 6) a alors été réalisée et a permis de proposer la formule suivante, pour **chaque niveau** d'eau appliqué à Chanaz.

$$Q_{Savieres} = \sum_{i=0}^6 a_i \times Z_{Portout}^i$$

Ces lois seront utilisées dans la modélisation des différents scénarii de vidange du lac.

► Confrontation des scénarii d'abaissement du barrage aux conditions de navigabilité (annexe 4)

Conditions d'écoulement garantissant la navigabilité

Les deux paramètres de référence sont, pour mémoire, la vitesse et la hauteur d'eau.

Pour cette dernière, une valeur minimale de 1.5 m a été convenue avec les bateliers (1.1 de tirant d'eau et 0.4 m correspondant à une marge de sécurité-notamment lors des accélérations).

En ce qui concerne la vitesse, il est difficile de définir une valeur seuil car l'acceptabilité d'une vitesse contraire pour un bateau dépend complètement du tirant d'eau (enfouissement à l'accélération) et,

dans un moindre mesure, de la largeur disponible. Ainsi 0.5 m/s pourra être acceptable dans des zones avec une forte épaisseur d'eau mais ne plus l'être dans les hauts fonds.

Il a par conséquent été fait le choix de définir un état de référence correspondant aux conditions de navigation les plus souvent observées sur le canal en août, septembre et octobre.

Grâce à la figure 3 en page suivante, les débits mesurés dans le canal ont fait l'objet d'un classement fréquentiel pour les mois d'août, septembre et octobre.

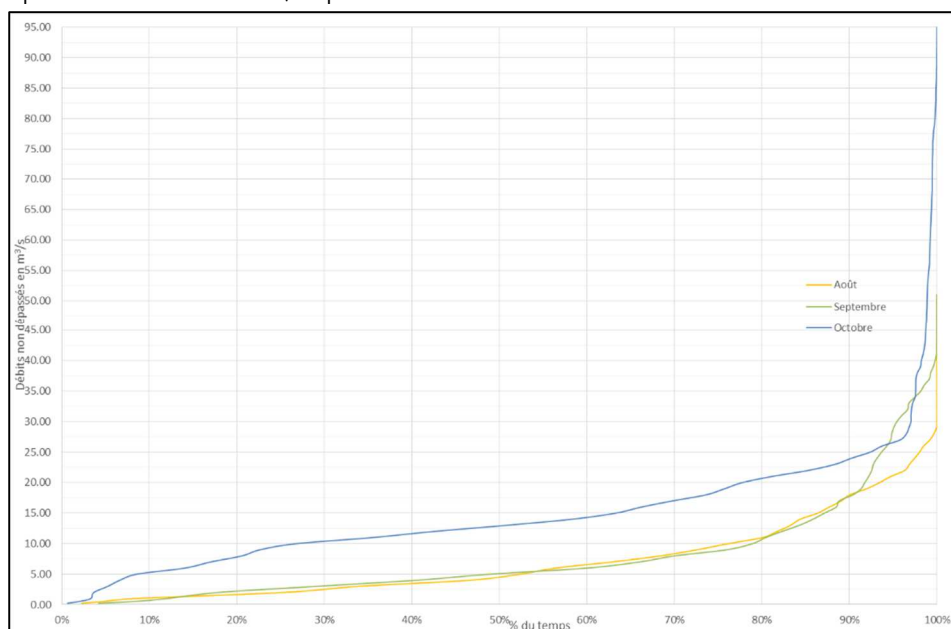


Figure 3. Courbes des débits classés dans le canal de Savières pour les mois d'août, septembre et octobre, réalisées à partir des mesures CNR (période 2002-2014)

Ainsi les $Q_{80\%}$ (80 % du temps) ont les valeurs suivantes :

- $Q_{80\%}$ (Août) = 11 m³/s
- $Q_{80\%}$ (Septembre) = 11 m³/s
- $Q_{80\%}$ (Octobre) = 21 m³/s

Par ailleurs, comme le montre la figure 6, le barrage de Savières est généralement concerné par les calages altimétriques suivants :

- Z_{Chanaz} (Août) = 231.50 mNGF0
- Z_{Chanaz} (Septembre) = 231.50 mNGF0
- Z_{Chanaz} (Octobre) = 231.20 mNGF0

Une modélisation a été réalisée pour chacun des trois couples mensuels précédemment décrits, et celui induisant les vitesses les plus élevées a été retenu comme référence : il s'agit du mois d'Octobre qui, pour mémoire, est un mois où la navigation est effective.

Sur tous les graphiques proposés en annexe 4, cette **vitesse de référence (non dépassée pendant 80 % du mois d'Octobre)** est proposée en pointillé noir. Il s'agira donc de vérifier que les scénarii de baisse exceptionnelle n'induisent pas son dépassement.

Modélisation des scénarii d'abaissement exceptionnel

L'annexe 4 propose des lignes d'eau selon différentes conditions limites :

- Z_{Chanaz} = 230.75, 231.00 et 231.25 mNGF0
- $Z_{Portout}$ = 230.80, 230.90, 231.00, 231.05, 231.10, 231.25, 231.30 et 231.50 mNGF0
- $Q_{Savières}$ en fonction de Z_{Chanaz} et $Z_{Portout}$ (voir annexe 3 et formule en page 3)

Les résultats des modélisations sont proposés dans le tableau suivant.

Scénario modélisé			Profils où la vitesse de référence est dépassée	Profils où la hauteur d'eau moyenne ¹ est inférieure à un tirant d'eau de (2 m) ²
ZChanaz (m NGF0)	ZPortout (m NGF0)	Q _{Savières} (m ³ /s)		
230.75	230.80	6	aucun	B71, B69, B62, B60 , B59, B58, B38, B37 , B35 , B23, B11 , B10, B9, B6, B3
230.75	230.90	11	aucun	B69, B60 , B59, B37 , B11 , B10, B6, B3
230.75	231.00	14.5	B60, B9	B60 , B59, B37 , B11 , B10, B6, B3
230.75	231.20	20.5	tous	B37 , B6 B3
230.75	231.50	29.5	tous	B37 , B6 B3
231.00	231.05	7	aucun	B37
231.00	231.10	10	aucun	B37
231.00	231.25	17	aucun	aucun
231.00	231.50	26	Tous	aucun
231.25	231.30	8	aucun	aucun
231.25	231.50	20	aucun	aucun

Figure 4. Synthèse des résultats de la modélisation de plusieurs scénarios hydraulique, décrivant des étapes de l'abaissement du niveau envisagé ou des accroissements de niveau du lac induits par des crues.

La totalité des profils en travers modélisés présentent un tirant d'eau supérieur à 1.5 m, soit compatible avec la navigation. Cela dit, considérant l'incertitude de navigabilité en dessous de la cote de 231.20 m NGFO, les difficultés actuelles dans certains secteurs et la nécessité d'efficacité des opérations de curage, il a été proposé dans le tableau précédent (figure 4) de fixer la hauteur d'eau moyenne de référence à 2 m.

Ainsi, on retiendra que :

- Lorsque le barrage de Savières sera en **phase d'abaissement** (Z_{Chanaz} passe de 231.50 à 230.75 m NGF0 pendant le mois de septembre) les vitesses deviennent défavorables à la navigation (supérieures à ce qu'on observe 80 % du temps en octobre) à partir d'une **différence de niveau entre les stations de Portout et Chanaz de l'ordre de 40 cm** (il faudra donc envisager une baisse progressive) ;
- lorsque le barrage de Savières sera à sa **cote basse (230.75)**, tout **accroissement de niveau du lac (crue) de plus de 40 cm sera pénalisant** pour les conditions de navigation. Les crues maximales rencontrées entre août et octobre n'excédant pas 30 cm (voir figure 9), on peut imaginer que cette hypothèse d'accroissement est donc peu probable ;
- lorsque le barrage de Savières sera à sa **cote basse (230.75) et que le lac sera stabilisé au niveau des cotes objectifs [230.80 ; 230.90 m NGF0]** plusieurs profils en travers seront concernés par des hauteurs d'eau inférieures au minimum de tirant d'eau nécessaire à la navigation (voir tableau ci-dessus et carnet de plans) : ces secteurs mériteront donc un curage préalable.

Mesures de réduction des effets sur la navigation

A partir des résultats du chapitre précédent (dernier point), d'échanges avec les bateliers et d'investigations de terrain réalisées le 20 août 2015, des zones de curages, permettant de réduire l'impact de l'abaissement, ont été identifiées. Elles sont reportées sur les plans fournis dans le carnet de plans joint. Le linéaire cumulé des zones à curer est d'environ **1150 m** (rappelons toutefois que la bathymétrie date de 2002 et mériterait d'être actualisée).

Afin de maintenir l'activité économique des bateliers pendant l'opération de baisse, il est proposé d'interdire la navigation de toutes les autres embarcations (septembre et octobre). Au-delà de la navigabilité, cette mesure est justifiée par la préservation des berges du batillage.

¹ Le paramètre de référence recueilli dans le modèle est la hauteur moyenne dans le chenal principal (8 à 15 m de largeur).

² En gras les profils où la largeur de navigation est inférieure à 12 m.

► A propos de la stabilité des berges

Lors de l'étude réalisée en 2009 (2009, Biotec, *Restauration écologique du canal de Savières*, dossier Biotec n° : 08-069) une typologie des berges avait été établie :

- Berges de configuration naturelle, non protégées et généralement colonisées par la végétation (36 % du linéaire) :
 - Berges caractérisées par l'absence de végétation ligneuse
 - Berges colonisées par des roselières
 - Cordons boisés linéaires
 - Berges boisées par une végétation type ripisylve
- Berges stabilisées au moyen d'ouvrages de type génie civil et colonisées par la végétation ligneuse (44 % du linéaire) ;
- Berges stabilisées et artificialisées (20 % du linéaire), non colonisées par la végétation ligneuse, au moyen de :
 - Palplanches
 - Murs droits et perrés maçonnés
 - Empierrements
 - Protections rustiques
 - Ouvrages mixtes (empierrement et palplanches)

Du point de vue de **l'érosion dynamique liée aux écoulements**, le scénario le plus défavorable est celui qui présente la plus grande différence de niveaux entre le lac et le Rhône ($Z_{Portout}=231.50$ donc $Z_{Lac}=231.55$ mNGF 0 ; $Z_{Chanaz}=230.75$; 5eme scénario présenté dans l'annexe 4). Il correspond à une crue **très** significative, survenant sur le lac pendant la période de stabilisation du barrage à sa cote basse (soit le mois « d'Octobre objectif »). On constate, grâce à la modélisation hydraulique que **les forces tractrices³ dans la globalité du lit mineur et en pied de berge restent inférieures à 10 N/m²** soit des valeurs qui permettent la mobilisation des sables et graviers fins mais ne permettent pas de prédire des érosions de berges végétalisées (gazon, roselières ou ligneux) ou, évidemment, bénéficiant de protection.

A des fins sécuritaires, il est tout de même proposé d'assurer les baisses du niveau du barrage selon une vitesse (en cm/j) qui garantirait :

- **une différence de niveau entre le lac et le barrage inférieure à 40 cm** tant que Z_{chanaz} est supérieure à 231.20 m NGF0 (consigne et cote minimale actuellement connues et pratiquées en hiver) ;
- **une différence de niveau entre le lac et le barrage inférieure à 25 cm** quand Z_{chanaz} est comprise entre 230.75 et 231.20 m NGF0 (soit à des altimétries non exondées jusqu'alors).

Dans l'état actuel, le facteur d'érosion de berges le plus important est sans aucun doute le batillage lié à la navigation des bateaux de particulier (en effet les bateliers semblent davantage respecter la vitesse limite de 6 km/h et circulent selon une fréquence moins importante). Pour mémoire, lors du passage d'un bateau, il se produit schématiquement deux effets :

- un abaissement brusque du niveau d'eau au droit de la proue du bateau, qui a tendance à "sucer" les matériaux constitutifs de la berge ;
- une vague de retour à l'arrière du bateau (vague de poupe), qui a tendance à "arracher" les matériaux constitutifs de la berge.

³ $\tau = \rho \cdot R_h^{-1/3} \cdot K^{-2} \cdot V^2$ (K est le coefficient de Strickler (rugosité), V est la vitesse moyenne, R_h est le rayon hydraulique et ρ la masse volumique).



Figure 5. Effets caractéristiques du phénomène de batillage en bordure d'un cours d'eau navigué (la Lys, image de droite). Illustration du processus de sapement de berge, en rive gauche du canal de Savières le long de la RD 18 (image de gauche). Biotec – 2008.28.01.

Il ne fait aucun doute que, une fois le barrage abaissé à la cote de 230.75, le batillage s'exercera sur des pans de berges non sollicités jusqu'alors. Des départs de matériaux, des destabilisations d'empierrement, ou des affouillements sont alors envisageables. Afin de **réduire** ce risque induit directement par la navigation **il a été convenu avec le maître d'ouvrage de n'autoriser la navigation qu'aux bateliers et de l'interdire à tout autre embarcation⁴ pendant toute la durée de l'opération.**

Sans considérer le batillage, la baisse exceptionnelle des niveaux mettra bel et bien à jour des portions de berges toujours en eau jusqu'à présent. Plusieurs typologies de berges seraient alors concernées par des départs d'éléments fins, première étape de processus d'affouillement ou d'effondrement localisés :

- les berges avec un empierrement et sans palplanche, et soumises à l'affouillement de la dernière rangée de blocs ;
- les berges végétalisées mais dont le système racinaire serait implanté au dessus de la cote de 230.80 environ;
- les berges nues et subverticales.

Afin de **réduire** ces risques, le maître d'ouvrage propose **des baisses de niveau de 4 cm/j maxi**. Ainsi la différence de niveau entre le lac et le Rhône sera minimisée, et il en sera donc de même pour les vitesses et forces tractrices. Ce choix limite par ailleurs la teneur en eau dans les sols des portions de berge mises à nues et évite ainsi également un différentiel d'hydromorphie néfaste à la stabilité des berges. Il est par ailleurs cohérent avec le maintien de bonnes conditions de navigation.

Sans batillage et même sans abaissement du niveau, certaines portions de berge présentent déjà des instabilités marquées (voir plans et note de l'étude réalisée en 2009, dossier BIOTEC n°08-064) que la baisse des niveaux peut accentuer.

Toutes les portions de berge éventuellement soumises à un risque de départ de matériaux ou d'accentuation d'instabilité actuelle ou des effets du batillage ont fait l'objet d'un report dans le carnet de plans joints. Ces secteurs mériteront une attention particulière pendant et après les phases d'abaissement (le constat d'huissier devra présenter un carnet de photographies et des levés topographiques) et feront l'objet de travaux de restauration conformes aux préconisations de 2009 si nécessaire.

La ripisylve, du fait de ses caractéristiques propres (taille, état sanitaire, position sur la berge) et/ou de l'impact du batillage et de l'abaissement des niveaux d'eau, peut être destabilisée et entraîner dans sa chute des parties de berges. Les mesures de prévention liées à ce risque sont proposées dans la partie B de cette note, à partir de la page 12.

⁴ Au-delà des problèmes d'encombrement qu'ils génèrent, il a été vérifié qu'ils dépassaient parfois la vitesse limite de 6 km/h. Or il est admis que des vitesses de circulation inférieures à cette valeur limitent les effets du batillage.

► Lois de vidange imposées au lac et évolutions induites du niveau d'eau

Avant de simuler des vidanges du lac et les évolutions de son niveau en fonction de la consigne imposée au barrage et des conditions hydrologiques, il convient de définir un certain nombre d'hypothèses de modélisation : conditions initiales du lac, intensité des baisses et hausses imposées au barrage, apports permanents et crues potentielles du lac.

A propos de l'écart entre les niveaux mesurés au lac et à Portout

La modélisation développée ci-après s'appuie sur une relation (polynomiale) entre le niveau à Chanaz (profil B1) et celui à Portout (profil B61). Or, la problématique d'abaissement du lac concerne évidemment les niveaux de ce dernier. Les écarts habituellement rencontrés entre le lac et la station de Portout sont traduits dans la figure suivante.

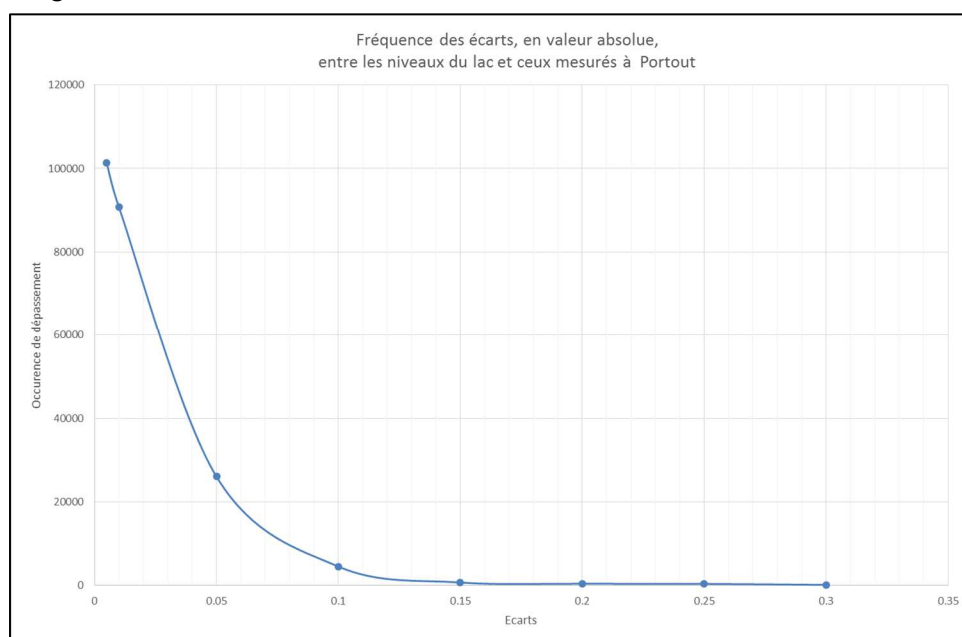


Figure 6. Occurrences de différents écarts entre le lac et la station de Portout, mesures horaires sur une période de 13 ans (source : CNR).

A la lumière de la figure 6, on peut considérer qu'un écart, entre le lac et la station de Portout, inférieur à 5 cm est courant. On retiendra donc la formule suivante :

$$Z_{Lac} = Z_{Portout} + 5 \text{ cm}$$

A propos des conditions initiales du lac et du canal de Savières

En premier lieu, deux options ont été étudiées :

- La première place le niveau à Portout à son maximum au mois d'août, observé ces 13 dernières années. Après exploitation des données CNR, les paramètres suivants ont été extraits :
 - $(Z_{Portout})_{maxi}=231.77 \text{ m NGF0}$;
 - $(Z_{Lac})_{maxi}=231.80 \text{ m NGF0}$;
 - Date : 01/08/14 ;
 - $Q_{savières}(01/08/14)=27.86 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - $Z_{Chanaz}(01/08/14)=231.32 \text{ m NGF0}$.
- La seconde correspond :
 - à un calage du barrage de Savières à 231.50 (en cohérence avec le CCTP de l'étude et avec la figure 6),
 - à un niveau à Portout à 231.55 (niveau moyen du mois d'août, cf figure 6 ci-dessous) ; à une cote du lac à 231.60 m NGF0

- à un débit déduit des cotes précédentes et calculé selon le graphique de l'annexe 3 (10 m³/s).

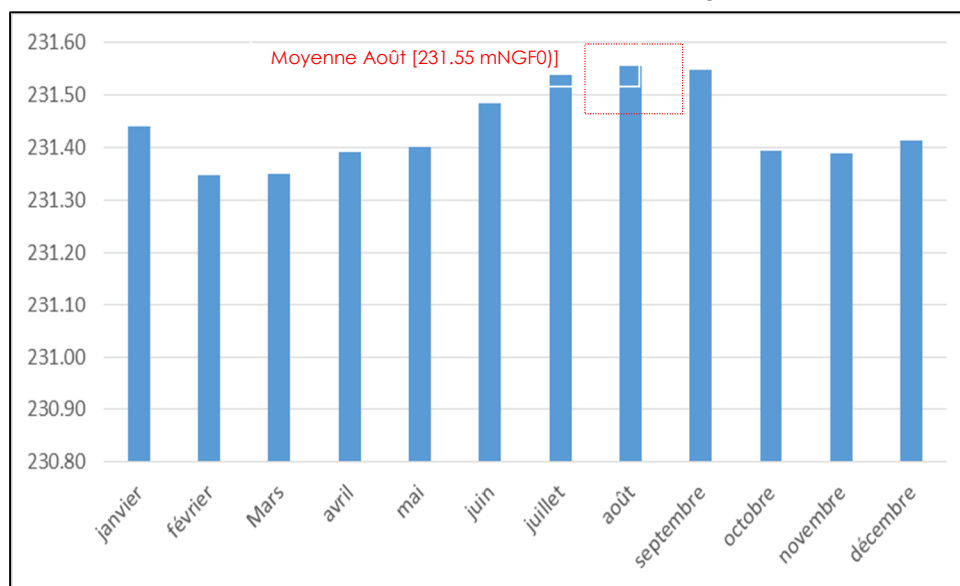


Figure 7. Cotes moyennes mensuelles mesurées à Portout (données issues de l'exploitation des 13 dernières années de mesures effectuées par la CNR, pas de temps horaire).

Dans un second temps, seront testées différentes cotes initiales à Portout afin de déterminer les niveaux interdisant le démarrage de l'opération.

A propos de la baisse imposée au barrage de Savières

Pour mémoire, afin de permettre la baisse du lac jusqu'à la cote de 230.80, il est prévu, entre la fin du mois d'août et le début du mois d'octobre, de passer le barrage de :

- sa cote estivale, soit 231.50 m NGF0, si on s'appuie sur la cote moyenne imposée sur les 13 derniers mois de septembre (voir figure 7 ci-après) ;
- à une cote de 230.75 m NGF0 qui correspond au minimum du barrage de Savières.

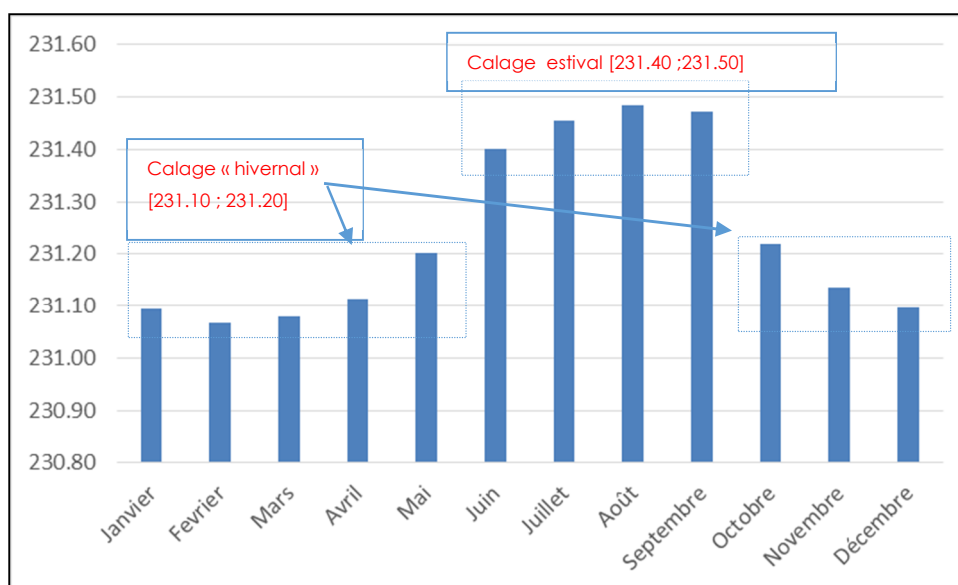


Figure 8. Cotes moyennes mensuelles imposées au barrage de Savières (données issues de l'exploitation des 13 dernières années de mesures effectuées par la CNR, pas de temps horaire).

Dans la perspective d'élaboration d'une loi de vidange la plus proche possible de consignes déjà imposées au barrage, les scénarios de baisses réalisés ses 13 dernières années, sur le mois d'octobre, ont été étudiés. Le tableau suivant en fait la synthèse.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Baisse moyenne sur le mois (en cm/j)	1.8	1.5	1.4	2.2	1.5	1.2	0.7	1.3	1.5	1.1	0.9	1.5	0.0
Baisse moyenne sur une journée (en cm/j)	13.0	5.5	8.1	4.9	5.4	5.0	3.0	3.7	5.6	4.0	5.7	11.8	1.6
Baisse maximum sur une journée (en cm/j)	107.8	35.8	131.2	26.2	24.2	17.6	18.9	15.2	19.9	19.6	23.6	67.3	11.3

Figure 9. Baisses imposées au barrage, en octobre, lors des 13 dernières années (sources : mesures CNR ; les mesures de 2002 et 2014 ne sont pas à considérer car elles sont incomplètes)

Le projet implique une transition entre les calages estivaux et hivernaux du barrage lors du mois de septembre et selon une amplitude maximale de 0.75 m. Une baisse du barrage comprise entre 2.5 cm/j et 4 cm/j sera donc à la fois compatible avec cet objectif et cohérente avec les consignes pratiquées ces 13 dernières années (supérieure à la baisse moyenne mensuelle et inférieure ou très proche des baisses moyennes journalières).

Dans les simulations à venir, les baisses imposées au barrage de Savières n'excéderont pas 4 cm/j.

A propos de la hausse imposée au barrage de Savières

Le retour à la cote hivernale ($z=231.20$ m NGF0) est envisagé au cours du mois de novembre. Deux options sont envisageables :

- calage immédiat (sur une journée) du barrage à la cote de 231.20 m NGF0 ;
- retour en un mois à la cote de 231.20 m NGF0 (soit 1.5 cm/j).

A propos des apports liés au Sierroz et à la Leyse

Cet apport volumétrique au lac, influençant son niveau, est envisagé selon 3 hypothèses : QMM, 0.5 QMM et 2QMM, QMM étant la somme des débits moyens mensuels des deux principaux affluents du lac (Leyse et Sierroz) dont les valeurs sont rappelées dans la figure 8 ci-après.

	Leyse	Sierroz
QMM janvier	8.49 m ³ /s	3.78 m ³ /s
QMM février	8.31 m ³ /s	3.81 m ³ /s
QMM septembre	2.96 m ³ /s	0.99 m ³ /s
QMM octobre	4.71 m ³ /s	2.10 m ³ /s
QMM novembre	7.00 m ³ /s	2.80 m ³ /s
QMM décembre	8.80 m ³ /s	3.60 m ³ /s

Figure 10. Débits moyen de la Leyse et du Sierroz (source : CISALB)

A propos des crues du lac

Alimenté principalement par la Leyse et le Sierroz, le lac peut, évidemment faire l'objet de crues. Les mesures réalisées par la CNR permettent de caractériser les accroissements de niveau sur le lac, induits par ces crues. Le tableau suivant en propose une synthèse et croise les résultats avec les débits caractéristiques des deux cours d'eau.

	Δz	Débits journaliers de la Leysse et du Sierroz correspondants ⁵
Δz max horaire (sur l'année)	18 cm	/
Δz max journalier (sur l'année)	49 cm	252 m ³ /s (>QJ50 ans)
Δz max journalier (août)	20 cm	103 m ³ /s (QJ5 ans)
Δz max journalier (septembre)	12 cm	62 m ³ /s (QJ1 à QJ2 ans)
Δz max journalier (octobre)	30 cm	154 m ³ /s (>QJ20 ans)

Figure 11. Hausses de niveau observées sur le lac et débits caractéristiques correspondant de la Leysse et du Sierroz (source : mesures CNR)

Nota : Le calcul fait dans la troisième colonne reste une forte approximation car il néglige plusieurs autres apports au lac : le Tillet et autres ruisseaux, le bassin versant direct, l'impluvium constitué par le lac et les potentiels apports du Rhône et de la plaine de Chautagne.

Dans les simulations à venir, 5 crues du lac seront testées : +10 cm, + 20 cm, + 30 cm, +40 cm et +50cm, à 3 dates différentes.

A propos du débit dans le canal de Savières

Pour mémoire le débit dans le canal de la Savières est calculé grâce à la formule polynomiale proposée en page 3 (voir aussi annexe 3) et donc est fonction des niveaux dans le lac et au droit du barrage.

Simulations d'abaissement et principaux résultats (voir annexe 5)

Le scénario 1a met en évidence un point qui sera systématiquement vérifié : si la somme des apports de la Leysse et du Sierroz sont de l'ordre de deux fois la somme de leurs débits moyens mensuels, les objectifs d'abaissement ne peuvent pas être atteints (de façon plus précise, c'est en deçà d'un apport de 1.2 QMM qu'un palier inférieur à 230.90 peut être atteint). **Des mois de septembre et/ou d'août pluvieux, induisant cette situation hydrologique (surtout en seconde quinzaine de septembre) doivent conduire à l'abandon de l'opération.**

Ce scénario permet par ailleurs de vérifier, que la baisse à 4 cm/j du barrage de Savières, puis 2.6 cm/j lorsque le barrage a atteint la cote de 231.20, est à la fois efficace au regard des objectifs d'atteinte de la cote de 230.90 m NGF0 (z_{lac}) et compatible avec les conditions de navigabilité car la différence de niveau entre Portout et Chanaz est toujours inférieure à 40 cm (25 cm à partir de 231.20, voir page 3). En revanche, à partir d'une baisse de 6 cm/j ces valeurs limites sont dépassées.

Les scénarios 1a et 1b permettent de comparer les scénarii de retour au niveau hivernal du barrage (et donc du lac-231.20 m NGF0) : le premier prévoit un retour progressif (1.5 cm/jour pendant tout novembre) tandis que le second considère un relèvement du barrage sur une journée, début novembre. Les gains permis par le second scénario sont de 10 jours pour des apports à 2QMM et de 9 jours pour QMM. L'impact sur les conditions de navigation n'a pas été étudié (le mois de novembre n'est en principe pas navigué) : on retiendra cependant que, sans crue ou apports hauts (2QMM), le débit dans le canal de Savières sera faible (< à 5 m³/s).

Le scénario 2 permet de modifier la condition initiale (**au 25 Août**) du lac. En effet, on se place ici à la cote maximale du lac observée au mois d'août (01/08/14), et aux cotes à Chanaz et débits dans le canal mesurés ce jour là⁶. On pourra vérifier en annexe 5, que l'objectif d'atteinte de la gamme de cotes [230.80 ;230.90] est respecté. **Cependant, dans ce cas, la baisse progressive du niveau du lac**

⁵ $Q = \frac{\Delta z \times 44.5 \cdot 10^6}{100 \times 24 \times 3600}$

⁶ Pour mémoire le scénario 1 plaçait le lac à sa cote moyenne du mois d'août, à la cote de 231.50 à Chanaz (conformément au CCTP) et au débit correspondant (annexe 3).

(même à 2 ou 3 cm /jour) induit des conditions de navigation plus difficiles (Δz entre Portout et Chanaz supérieur à 40 cm -puis à 25 cm à partir de $z_{Chanaz}=231.20$ m NGF0).

Dans un scénario 2b, ont été testés plusieurs associations des variables suivantes : $(z_{lac})_{initial}$, $(z_{Chanaz})_{initial}$, vitesses de baisse du barrage. Il a alors été vérifié que le palier inférieur ou égal à 230.90 m NGF0 (z_{lac}) était bien atteint début octobre et que le Δz entre Portout et Chanaz de 40 cm, -puis de 25 cm à partir de $z_{Chanaz}=231.20$ m NGF0, était respecté pendant toute la durée de l'opération. Les résultats de cette démarche sont proposés dans le tableau suivant :

Cote initiale (au 25/08) à Chanaz (en m NGF0)	Cote initiale (au 25/08) du lac au dessus de laquelle, l'opération n'est pas tenable
231.30	231.70
231.40	231.85
231.50	231.95

Figure 12. Cotes du lac, en fonction de celle du barrage, à partir desquelles la baisse ne peut pas se faire sans une perturbation top importante des conditions de navigation et de sollicitation des berges

Le scénario 3 permet de tester des crues du lac pendant le palier objectif ou avant de l'atteindre :

- Si la crue survient au début du mois de septembre, l'objectif peut être tenable ; cela dit :
 - il conviendra de surveiller avec soin les débits journaliers de la Leysse et du Sierroz (pour mémoire, au-delà de 1.2 QMM, le palier de 230.90 m NGFO au lac est difficile à atteindre) ;
 - la différence de niveau seuil entre Portout et Chanaz (40 cm) est dépassée pendant 5 jours pour une crue de 30 cm, pendant 10 jours pour 40 cm et pendant 50 cm pour 12.5 jours.
- Si la crue survient le 10 septembre, seules des intensités inférieures à +20 cm permettent d'atteindre l'objectif ;
- Si la crue survient après le 20 septembre, l'objectif est tenable mais significativement réduit pour des intensités inférieures à 20 cm, inatteignable pour des crues plus importantes ;

En conclusion on retiendra que :

- Si les mois d'août et septembre sont humides, (apports >1.2xQMM) les objectifs de baisse du niveau du lac sont difficilement tenables, **l'opération doit être abandonnée**;
- Si la cote initiale du lac est haute (août humide), les objectifs sont tenables mais sont susceptibles de générer des perturbations de la navigation : le tableau de la figure 12 définit les couples de cotes (Lac et Chanaz) **pour lesquelles l'opération ne doit pas être engagée** ;
- Les crues du lac inférieures à 20 cm sont sans effet sur l'opération sauf en cas d'apport > à 1.2 QMM : dans cette hypothèse la dégradation des conditions de navigabilité (vitesses élevée) pourront conduire à un abandon de l'opération ;
- A partir du 10 septembre, toute crue supérieure à 20 cm **peut entraîner l'abandon de l'opération** ;
- La remontée du lac en novembre n'est pas problématique dans des conditions hydrologiques habituelles (QMM)
- En cas de déficit hydrique important, la remontée du lac peut se faire :
 - Soit par une remontée rapide du barrage à la cote 231.20, en annulant ainsi la contribution du canal au soutien d'étiage du Vieux Rhône (la durée sera fonction des apports du bassin versant mais sera compris entre 2 jours et 10 jours) ;
 - Soit par une remontée progressive du barrage de Savières permettant de maintenir une contribution du canal au soutien d'étiage du Vieux Rhône (de fait, la durée de remontée du lac sera plus longue).

B) Plan de gestion de la végétation rivulaire du canal

► Méthodologie d'évaluation des sujets ligneux à entretenir ou gérer

Pour mémoire, ces mesures sont destinées à compléter les travaux forestiers actuellement conduits par VNF et démarreront vraisemblablement durant l'hiver 2016/2017. L'abaissement du lac devrait se tenir dans la foulée.

Pour mémoire, un arbre réagit aux différentes contraintes que son environnement et l'état de sa propre structure lui imposent. L'évaluation de la nature des travaux à mener a été réalisée sur la base d'une **observation visuelle** permettant l'appréciation :

- **De dommages physiologiques et préjudices sanitaires** : vitalité générale de l'arbre (densité du feuillage, abondance de gui, abondance anormale de fruits, vieillissement) signes d'affections pathologiques (descente de cime, existence de fructification de champignons lignivores), blessures, etc. ;
- **De la tenue mécanique générale** : risque de rupture ou de déchaussement, inclinaison (en lien avec la tenue mécanique des berges et des contraintes de batillage), signes d'entretien par les castors, présence anormale de bois mort ou de branches cassées, etc. ;
- **Des enjeux** : proximité de la voirie, présence d'habitations, rétrécissement du chenal de navigation, ampleur de la zone impactée en cas de chute de l'arbre, etc.

L'ensemble des arbres a été marqué sur le terrain au moyen d'un marquage couleur (rouge) et d'un balisage (rubalise), puis repéré sur plan (pointage GPS).



Figure 13. Vues successives des techniques de marquage effectuées sur les arbres – Prises de vue Biotec, le 10/11/2015.

Le canal de Savières est marqué par l'omniprésence d'une végétation riveraine typique de milieux humides (dominance d'aulnes, frênes, saules, etc.) dont la dynamique évolutive à tendance climacique (stable) s'est calée sur une l'hydrologie particulière du canal marquée par des hautes eaux estivales et de basses eaux hivernales.

La saison de végétation des arbres à feuillage caduque correspond à la période de l'année comprise entre l'apparition des feuilles au printemps et le jaunissement automnal, marquée par une forte activité des arbres (croissance, fructification). Sous nos climats et en plaine (cas du canal de Savières), la croissance des arbres s'échelonne de mars à octobre (période à laquelle les arbres commencent à réduire leur activité). Les observateurs s'accordent à dire que cette période de sénescence tend à être

repoussée dans le temps et il n'est pas rare, ces dernières saisons, de voir les arbres croître jusqu'à fin octobre.

Ainsi, si la baisse artificielle du niveau du lac, qui serait réalisée tous les 4 ans entre septembre et novembre, semble aujourd'hui peu susceptible d'affecter la croissance des arbres (et donc le risque de basculement), il est probable que celle-ci l'affecte de plus en plus en raison de l'allongement de la période de végétation.

Pour mémoire, il a été vu (Biotec, 2009) que les impacts d'un abaissement exceptionnel s'observaient sur certains secteurs certes du point de vue de la végétation (vieillesse, risque de déchaussement de chute et de création de loupes d'érosions) mais aussi et surtout d'une accentuation des processus érosifs liés non pas aux effets de succion provoqués par l'abaissement artificiel mais surtout au batillage en pied de berge dans les secteurs peu protégés et fortement contraints (le long de la RD 18, notamment). Ainsi, si les effets directs d'une baisse exceptionnelle du niveau d'eau sur la végétation sont difficilement estimables, le fait de provoquer des contraintes de batillage au-dessous des systèmes racinaires dominants peut-être particulièrement dommageable pour la végétation rivulaire ce qui justifie d'interdire la navigation de plaisance pendant la baisse.

La méthodologie d'évaluation des travaux d'entretien à conduire a donc tenu compte de ces différents paramètres.

► **Résultats et consignes d'entretien (Voir aussi carnet de plans, doc n°EH15-084-03)**

Par ce qui précède, l'entretien sera pratiqué sur des sujets ligneux arborés (taille adulte > 7 mètres) d'espèces indigènes ou exotiques, actuellement dépérissant ou susceptibles d'être affectés à court ou moyen terme y compris par l'effet d'un abaissement artificialisé des eaux du lac.

Par la suite, sera considéré comme :

- **Abattage**, le tronçonnage à la base (y compris dévitalisation mécanique à des fins de non reprise) de tout sujet ligneux mort ou vivant de diamètre > 15 cm, présentant un risque de rupture ou de basculement/déchaussement à court terme (généralement des espèces exotiques ou arbres morts).

La coupe devra être réalisée au plus proche possible et parallèlement au sol (coupe oblique si l'arbre est penché en berge). L'opération pouvant être fractionnée en plusieurs temps : le sujet pourra être démonté dans les meilleures conditions de sécurité possible, puis tronçonné à la base avant de voir sa souche arasée le plus bas possible (soucis d'éviter la création de turbulence lors de forts courants). Enfin tout résidu (branche, bille...) devra être dégagé hors des zones fréquemment inondées (soucis sécuritaire) ou évacué le cas échéant.

- **Recépage**, le tronçonnage à la base à des fins de reprise de sujet ligneux de diamètre > 15 cm, d'espèces indigènes susceptibles de rejeter (aulne glutineux, frêne commun, saule blanc, peuplier noir), présentant un risque de rupture ou de basculement à court terme.

La coupe devra être nette et franche et réalisée parallèlement et au plus près du sol, l'opération pouvant également être fractionnée en plusieurs temps.

- **Etêtage**, les travaux d'élagage à des fins de reprise, susceptibles de soulager un sujet ligneux (d'espèce indigène) vieillissant ou dépérissant mais dont la tenue mécanique ne semble pas être affectée à court terme.

La coupe devra être nette et franche et réalisée sur les grosses branches voire le tronc principal à plus de 1,5 mètre du niveau du sol. Elle devra prendre soin de ne pas affecter l'équilibre de l'arbre (prise au vent, déséquilibre provoqué par le maintien d'une grosse « charpentière » penchant d'un côté, etc.).

- **A surveiller**, tout sujet ligneux, notamment aulne ou frêne dont la tenue mécanique est susceptible d'évoluer négativement dans un avenir proche.

La surveillance devra s'exercer de préférence à la fin de la saison végétative suivant l'abaissement exceptionnel des eaux du lac, une fois tous les 4 ans environ.

- **A retirer**, les troncs penchés ou définitivement tombés en berge du canal de Savières.

Au final, près de **237 sujets** sont considérés comme présentant un risque (essentiellement sécuritaire) à court ou moyen terme et nécessiteront une intervention dans les 5 ans à venir. Ces sujets sont majoritairement des aulnes (77%), puis des frênes, peupliers ou saules présentant essentiellement des diamètres < 30/40 cm.

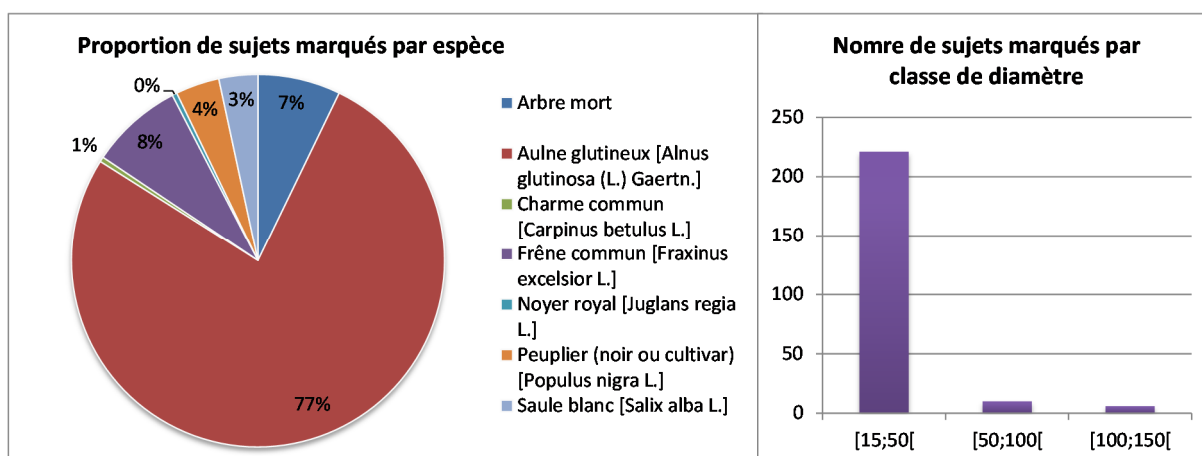


Figure 14. Synthèse des espèces et classes de diamètres touchées par les travaux forestiers.

Enfin, les sujets à entretenir apparaissent majoritairement présenter un risque immédiat marqué notamment par des signes de dépérissement d'ordre sanitaire. Ceci est particulièrement noté pour l'aulne glutineux où près de 90% des sujets marqués présentent des signes généraux d'affaiblissement, une présence anormale de bois mort, une forte présomption de descente de cime ou d'affaiblissement du houppier (feuilles anormalement petites, feuillage peu dense mais homogène)... Ces signes témoignent d'un vieillissement anormal des aulnaies conséquence possible de la gestion hydraulique actuelle de la voie d'eau (hautes eaux estivales pour favoriser la navigation) pour une espèce qui apprécie ordinairement les conditions hydrologiques stables (peu de variation de nappe, hautes eaux hivernales), mais qui présentent surtout des indices d'une infection parasitaire (type *Phytophthora alni* ou autre).

Au final, les interventions à conduire auront essentiellement une finalité de rajeunissement puisque les interventions concerneront majoritairement des travaux de recépage.

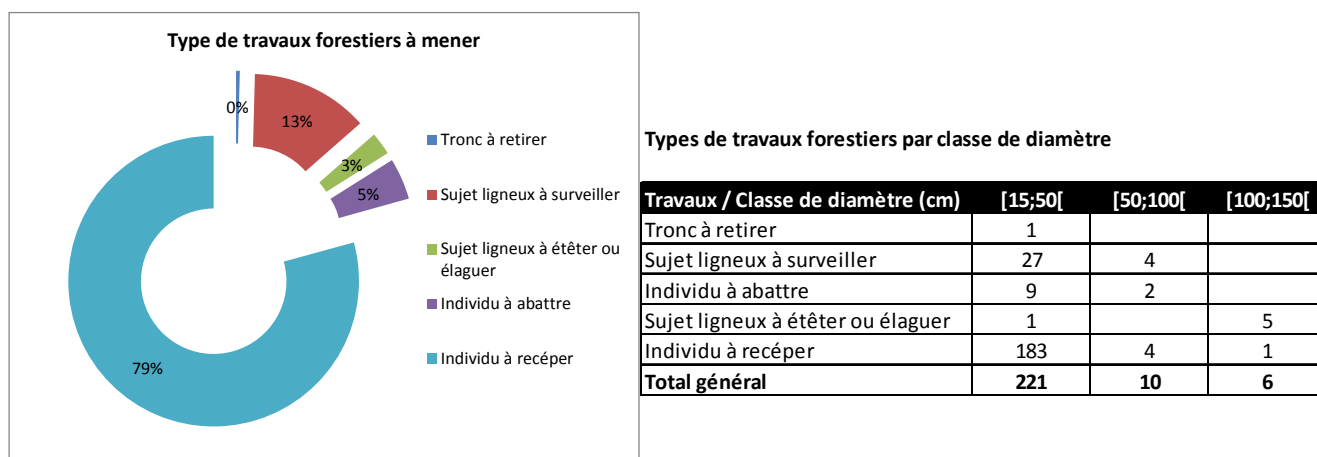


Figure 15. Synthèse des travaux forestiers à conduire par type d'intervention et classes de diamètre.

Du point de vue financier, l'ensemble des travaux forestiers à compter de prix unitaires variables selon les diamètres entre 50 et 70 € HT/unité pour les petits diamètres et 120 à 150 € HT pour les plus gros diamètres (comprenant difficultés d'accès et valorisation des bois et résidus de coupe), est estimé entre 12 et 18'000 € HT.

Au final, les consignes d'interventions suivantes sont délivrées :

- Les travaux d'entretiens devront être conduits en période de repos de la végétation et si possible débuter dès l'automne/hiver précédant le premier abaissement exceptionnel ;
- Elles devront être menées sélectivement de manière à ne pas affecter la tenue mécanique des berges du canal, le milieu naturel ou même les autres sujets ligneux dans l'emprise du secteur de travaux ou de chute de l'arbre (pour mémoire le choix des essences à abattre a aussi tenu compte de la proximité d'autres sujets ligneux et des facilités d'intervention) ;
- Tout sujet ligneux et résidus de coupes devront être exportés ou du moins dégagés des zones fréquemment inondées par les crues afin de ne pas être emportés ;
- Les sujets abattus ne devront pas être dessouchés afin de ne pas altérer la tenue mécanique des berges ;
- Dans certains secteurs clairement identifiés, les travaux forestiers devront être conduits sur plusieurs années afin de ne pas mettre à nu la berge sur de grands linéaires et affecter ainsi la tenue mécanique des berges puis l'intérêt écologique du corridor boisé fluvial (nidification oiseaux d'eau et notamment hérons arboricoles, ressource nutritive pour le castor, refuge pour la petite faune, etc. ;
- Enfin, pour tout sujet ligneux suspecté d'être infecté par un parasite (type *Phytophthora alni*), il est préconisé l'incinération sur place (le déplacement est déconseillé et l'enfouissement voire le broyage sont exclus).

► Conclusion du plan d'entretien

Les conclusions ainsi dispensés sont le fruit de l'expérience de suivi de travaux menés en contexte similaire et de l'observation. Elles n'ont pas fait l'objet de mesures particulières et restent donc dictées à dire d'expert et selon des objectifs partagés avec le mandant. Sollicitées à des fins d'anticipation des effets d'un abaissement provoqué et périodique des eaux du lac du Bourget, elles apparaissent in fine répondre avant tout et à court terme à des objectifs sécuritaires vis-à-vis de la navigation ou de la tenue mécanique des berges au droit de la route départementale longeant le canal, puis écologique, fruit d'un vieillissement et d'une détérioration observée des boisements ripicoles.

S'il apparaît un peu tôt pour qualifier l'évolution dynamique de la végétation riveraine suite à cet abaissement exceptionnel provoqué de l'ordre de 40 cm supplémentaires entre août et novembre une fois tous les 4 ans, il semble probable qu'il affecte à plus ou moins long terme le développement de la végétation, surtout considérant l'allongement de la période de végétation constaté ces dernières années.

Lyon, le 13 janvier 2016,
BIOTEC Biologie appliquée,
Sébastien MICHEL et Ghislain HUYGHE

ANNEXES

Annexe 1 : Calage du modèle

Annexe 2 : Calage du modèle

Annexe 3 : Lois reliant le débot dans le canal de Savières, et les niveaux d'eau à Chanaz et Portout

Annexe 4 : Lignes d'eau et vitesses pour différents débits remarquables

Annexe 5 : Lois de vidange et évolutions des niveaux du lac dans différents scénarii d'abaissement