



HAL
open science

Contamination microbiologique fécale de l'eau et conduite des troupeaux en alpage

Dominique Trevisan, Mauro Bassignana, Stephanie Texier, Philippe Quetin,
Jérôme Poulenard, Jean Marcel Dorioz

► **To cite this version:**

Dominique Trevisan, Mauro Bassignana, Stephanie Texier, Philippe Quetin, Jérôme Poulenard, et al.. Contamination microbiologique fécale de l'eau et conduite des troupeaux en alpage. 2. Congrès International l'Eau en Montagne gestion intégré des Hauts Bassins Versants, Sep 2006, Megève, France. hal-02757700

HAL Id: hal-02757700

<https://hal.inrae.fr/hal-02757700>

Submitted on 4 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Contamination microbiologique fécale de l'eau et conduite des troupeaux en alpage.

D. Trévisan⁽¹⁾, M. Bassignana⁽²⁾, S. Texier⁽¹⁾, P. Quetin⁽¹⁾, J. Poulenard⁽³⁾, J.M. Dorioz⁽¹⁾

(1) INRA, UMR CARRETEL, Thonon les bains

(2) Institut Agricole Régional, Aoste

(3) Université de Savoie, UMR CARRETEL, Aix les Bains

RESUME

Les contaminations microbiologiques fécales des eaux sont une problématique mondiale pour la santé humaine et animale. Dans le contexte particulier de la montagne, c'est un problème couramment évoqué. Cette question se pose avec acuité au niveau des têtes de bassins versants, où les ressources en eau sont constituées et sur lesquelles repose le développement des massifs montagneux et des plaines avoisinantes. Dans le cas des alpages, l'incidence du pastoralisme sur la qualité de l'eau demande à être mieux connue, en raison d'un état des connaissances sur la dynamique des contaminations microbiologiques encore partiel et d'attentes spécifiques liées à l'image de nature souvent évoquée dans ce milieu particulier.

Pour tenter d'apporter des réponses à ces besoins, un programme de recherche sur les contaminations microbiologiques de l'eau a été initié dans différents contextes d'alpage ; il porte sur le suivi de la qualité de l'eau à l'échelle du bassin versant et les relations existant entre organisation du pâturage, événements météorologiques et dynamique de contamination de l'eau.

Les résultats montrent une grande diversité de réponses en relation avec l'humidité des sols, les événements climatiques et le circuit du troupeau durant la saison de pâturage.

Une grille d'analyse reliant contexte météorologique, propriétés des sols, organisation du pâturage et conduite du troupeau permet de définir les périodes et espaces sensibles et d'en déduire de premiers éléments d'aide à la décision pour la gestion des ressources en eau des alpages.

MOTS CLES

qualité de l'eau, E. coli, alpage, pâturage, bassin versant

2^e Congrès International

L'Eau en Montagne gestion intégrée des Hauts
Bassins versants

Regene 20-23 Sept 2006

1. INTRODUCTION

La qualité des ressources en eau de montagne est fréquemment altérée par des contaminations microbiologiques d'origine fécale (Balian, 1995). De nombreux usages sont compromis par ces pollutions, tel l'alimentation en eau potable, la fabrication fromagère et le tourisme, notamment les activités de baignade et les sports d'eaux vives. Dans le contexte de l'alpage, la qualité de l'eau interpelle les gestionnaires et décideurs : dans ces espaces il se constitue une part non négligeable de la ressource en eau ; il s'agit de milieux spécifiques, marqués par une forte hétérogénéité d'ambiances bioclimatiques, de sols, de végétations et donc de conditions de survie et de transfert des populations bactériennes (Trevisan, 2002). L'alpage est aussi un espace multifonctionnel, à forte valeur patrimoniale. Paradoxalement, on dispose d'informations assez partielles sur les conséquences de l'activité pastorale sur la qualité des ressources en eau et un certain nombre d'interrogations sont soulevées : dans quelles conditions la qualité de l'eau peut elle être dégradée par le pastoralisme ? quelles sont les époques sensibles, quels sont les risques pour l'homme et les troupeaux ? quels dispositifs de contrôle ou d'alerte à mettre en œuvre pour lutter contre les contaminations ?

Pour apporter des éléments de réponse à ces questions, un ensemble d'observations et de mesures portant sur les contaminations fécales ont été réalisées sur plusieurs alpages de l'arc Alpin, dans le contexte du GIS Alpes du Nord et avec le soutien financier du programme Interreg IIIa.

2. SITES ET DISPOSITIFS DE MESURE

Trois alpages ont fait l'objet des investigations. Les deux premiers (Youlaz et Tsa de Merdeux, Fig 1 et 2) sont situés dans la région du Val d'Aoste et accueillent des génisses ou vaches tarées. Le troisième (Bise) est situé en France, dans les préalpes du Chablais. (fig. 3).

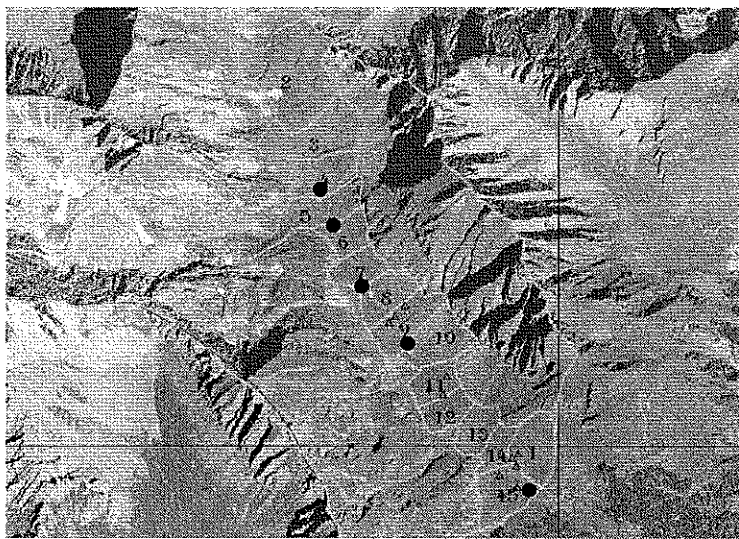


Fig. 1. Alpage de Youlaz (Val d'Aoste). Les surfaces herbacées représentent 28% de la surface totale du bassin hydrologique et sont pâturées par 200 génisses. Les stations pastorales sont numérotées de 1 à 15, selon l'ordre de passage du troupeau, pendant les mois d'août et septembre. Le troupeau pâture en 1, puis transhume en 2 pour redescendre progressivement en 15. Chaque station est pâturée durant 2 à 4 jours. Dans chaque secteur de pâturage, les animaux sont tenus à l'écart du cours d'eau à l'aide de clôtures électriques. Ils pâturent alternativement les deux rives du cours d'eau. Rond pleins : points de prélèvement d'eau.

Le contexte géologique et pédologique diffère fortement selon les bassins versants. Pour les alpages de Youlaz et Bise, le substratum est marqué par la présence de formations superficielles drainantes (éboulis, cône de déjection torrentiel, glaciis alluvial). Ces formations dominent dans le paysage et recouvrent plus ou moins partiellement des moraines de fond. Dans le contexte de Tsa Merdeux (toponyme signifiant endroit boueux, fangeux), la situation est tout autre, puisque l'essentiel du substrat est représenté par des recouvrements morainiques compacts et peu perméables, comme en

témoignent la présence de zones humides et un réseau hydrographique très dense. Les sols sont donc très différents dans ces deux situations. Pour Youlaz et Bise, ils ont une charge caillouteuse assez forte et une perméabilité élevée (entre 5 et 7 mm.h⁻¹). Pour Merdeux les sols sont marqués par l'hydromorphie, avec une perméabilité de 1 à 3 mm.h⁻¹.

Des prélèvements d'eau ont été effectués pour détermination de l'effectif de *E. coli*, durant les années 2004 (Aoste et Bise) et 2005 (Bise), avec un rythme variant de quinze jours à un mois selon les sites.

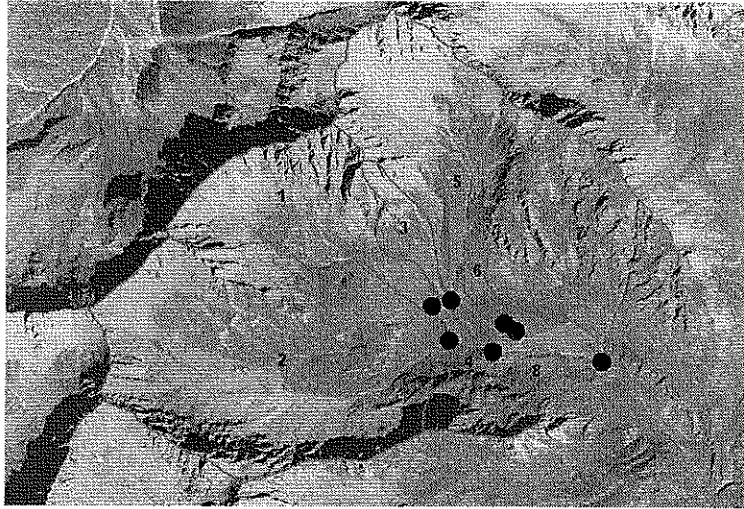


Fig. 2. Alpage de Tsamerdeux (Val d'Aoste). La surface est pour une grande partie (61,4%) occupée par des rochers et des éboulis. Le reste de la surface est occupé par des pelouses subalpines et alpines, plus ou moins riches en fonction de l'éloignement de l'étable. Une petite partie de l'alpage est occupée par des petits lacs et des zones humides. Pendant l'été 2004, l'alpage a été utilisé par un troupeau de 50 animaux, comprenant des vaches taries et des génisses, de fin juillet à début octobre. Sur 140 ha de pelouses potentielles de pâture, seule une surface approximative de 50 ha a été exploitée. L'étable n'a pas été utilisée et les animaux sont restés sur les surfaces pastorales tout au long de la saison d'alpage. En noir : points de prélèvement d'eau.

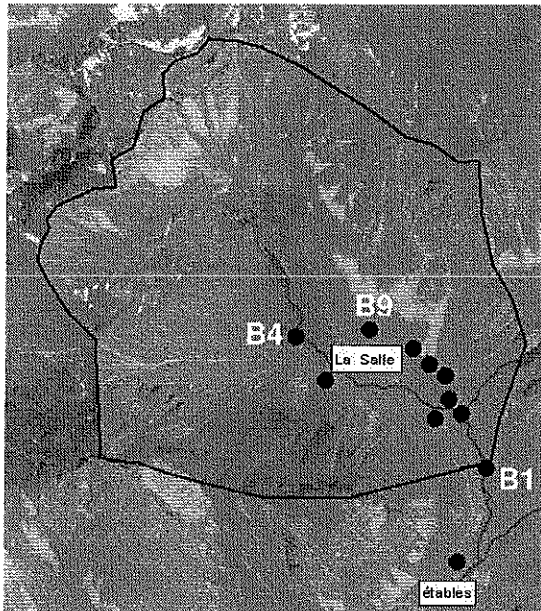


Fig. 3. Alpage de Bise (Chablais). Le bassin versant étudié a une surface de 170 ha. Le démarrage de la saison de pâture a lieu début juin ; elle se termine fin septembre. Le troupeau (80 UGB) passe la nuit dans les étables ou dans des parcs à leur proximité ; il gagne les stations pastorales (secteur de la Salle) tous les jours en remontant le cours d'eau. Plusieurs points de prélèvement (ronds pleins) d'eau ont été suivis (prélèvements ponctuels) durant la période d'étude. Le suivi a eu lieu durant les saisons 2004 et 2005. En 2005, seuls les points B4, B9 et l'exutoire B1 ont été collectés ; durant cette année, l'exutoire est en outre équipé d'un seuil jaugé et d'un automate pour prélèvement d'eau intégré sur 24 heures, ceci deux fois par semaine ; on enregistre par ailleurs l'humidité de plusieurs séquences de sol.

3. RESULTATS

3.1. Variabilité annuelle des teneurs en *E. coli*

Sur l'alpage de Bise, l'évolution des teneur en *E. coli* durant les années 2004 et 2005 présente une allure très caractéristique, avec durant l'hiver des teneurs quasi nulles qui s'élèvent très rapidement dès l'arrivée des troupeaux et s'abaissent ensuite à partir de mi juillet début août pour atteindre des valeurs très faibles à la fin de l'automne (fig.4). Des pics de contamination de l'eau marquent donc la saison pastorale.

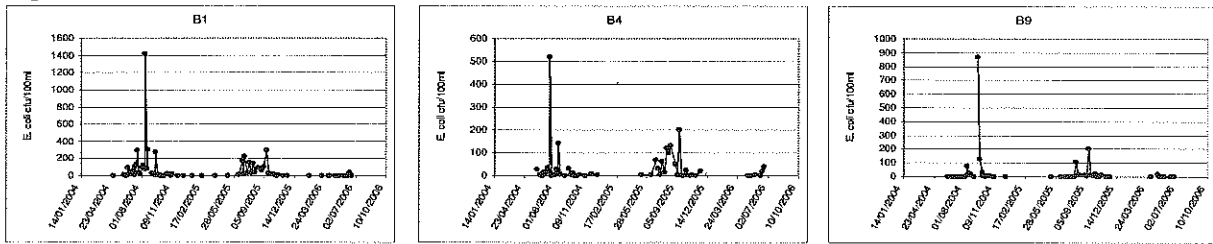


Fig.4. Teneurs en *E. coli* des points de prélèvement d'eau entre juin 2004 et juin 2006.

Durant les saisons de pâturage 2004 et 2005, les teneurs sont marquées par une assez forte variabilité, en relation avec les conditions météorologiques et des modalités d'accès du troupeau à la rivière. Pour l'année 2004, on peut calculer une moyenne des valeurs obtenues sur plusieurs prélèvements d'eau d'une même quinzaine et gommer ainsi en partie cette variabilité (fig. 5). La courbe a une allure en forme de pic, avec une augmentation assez brutale des teneurs dès l'arrivée du troupeau et à partir de mi juillet une diminution graduelle, avec un retour aux valeurs de début de saison vers la fin de l'automne. La date à partir de laquelle s'enclenche la baisse des teneurs ne coïncide pas avec la date de départ du troupeau.

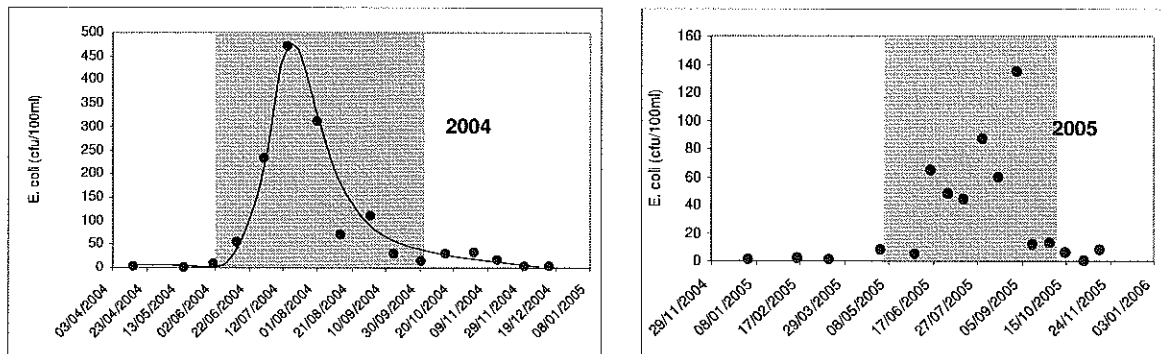


Fig.5. Evolution des teneurs moyennes en *E. coli* pour chaque quinzaine de l'année 2004 (11 points de prélèvements) et 2005 (3 points) à Bise. En grisé, période de présence du troupeau.

Pour l'année 2005, on constate là aussi un retour à des teneurs faibles bien avant le départ du troupeau, avec toutefois une dynamique marquée par une forte élévation fin août, période à laquelle une averse remarquable est survenue. Durant la saison pastorale 2005, l'humidité en surface des sols décroît progressivement de la saturation (à la fonte des neiges) à une valeur minimale courant juillet ; ce n'est qu'à partir de fin septembre que l'humidité remonte (fig. 6).

Dans le cas des alpages du Val d'Aoste (fig.7), la valeur moyenne des prélèvements d'eau varie de manière identique à celle enregistrée sur Bise : on constate dès l'arrivée des troupeaux une élévation des teneurs en *E. coli*, puis une baisse qui s'amorce avant la fin de la saison de pâture. En dehors de la saison de pâture, les contaminations sont faibles. Sur Youlaz, on remarque une concentration très élevée en *E. coli* pour le prélèvement réalisé le lendemain du déplacement collectif du troupeau vers les quartiers hauts de l'alpage.

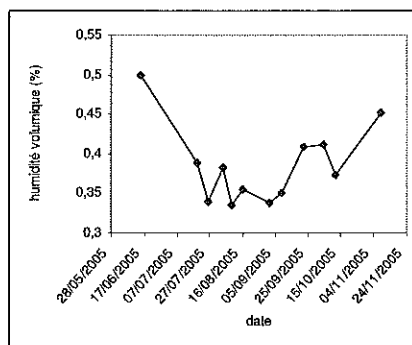


Fig. 6. Bise. Année 2005. Humidité moyenne de l'horizon de surface d'une séquence de sols

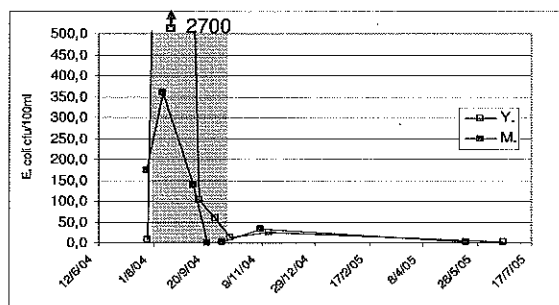


Fig. 7. Evolution des teneurs moyennes en E. coli sur les alpages du Val d'Aoste

3.2 Relations débit – teneurs en E. coli

Lorsque l'on compare les teneurs des échantillons intégrés sur 24 heures aux débits de l'exutoire du bassin versant (Bise, 2005), on note une forte élévation des teneurs en E. coli lors des crues, notamment durant la phase de montée de crue (fig. 8). La décomposition de l'hydrogramme de crue (Carlier, 1998) montre que c'est le ruissellement de surface qui est responsable de l'élévation des teneurs en E. coli (fig.9). Durant cette phase d'écoulement, les teneurs en E. coli augmentent avec la montée de crue puis baissent très rapidement lors de la descente. Cette dynamique est marquée par un phénomène d'hystérésis qui suggère que le stock de bactéries mobilisé par le ruissellement s'épuise assez rapidement (fig.10). Lors de la phase de montée de crue, on observe plusieurs étapes : une augmentation d'E. coli qui tend vers un plateau à partir de 200 l/s, puis une accentuation de l'élévation pour les plus forts débits.

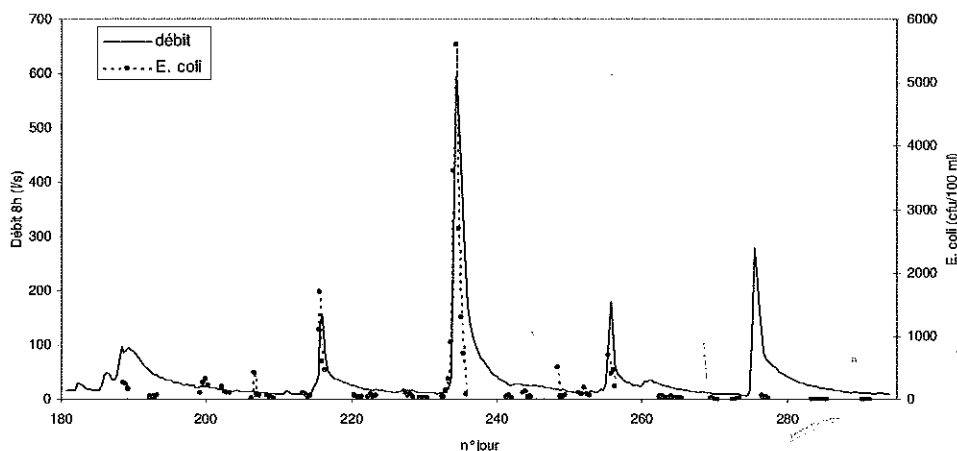


Fig. 8. Teneurs en E. coli (échantillons d'eau intégrés sur 24 heures) et débit durant l'année 2005

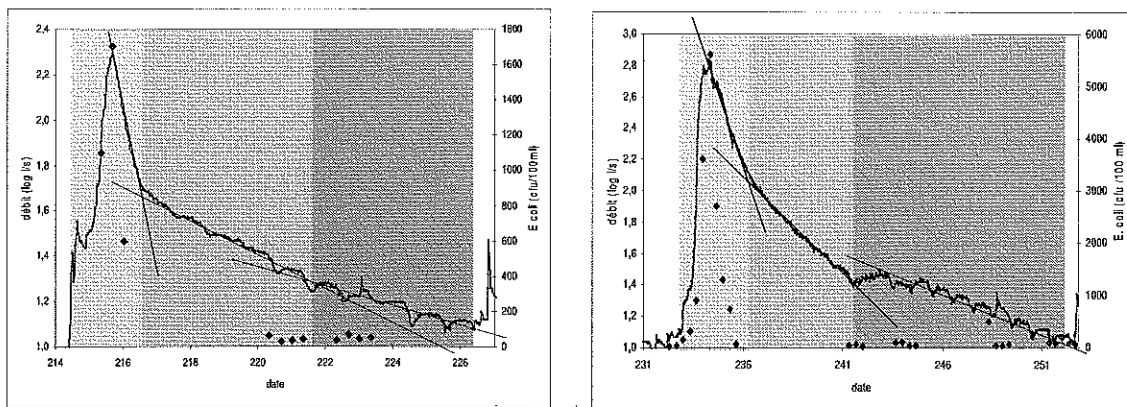


Fig.9. Crues de début et fin août. Décomposition des hydrogrammes et teneurs en *E. coli*. En gris clair : phase d'écoulement du ruissellement de surface ; gris moyen : écoulement de nappe de subsurface ; gris foncé : écoulement de nappe profonde.

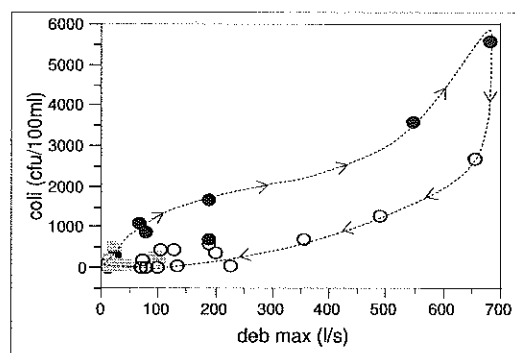


Fig.10. Année 2005. Relations teneurs en *E. coli* – débit maximal enregistré durant la période de prélèvement intégré. Ronds pleins : phases de montée de crue ; ronds vides : descentes de crue, carrés gris : périodes d'étéage.

4. DISCUSSION – CONCLUSION

Dans les conditions de l'alpage, les teneurs en bactéries fécales de l'eau s'élèvent après l'arrivée des troupeaux et peuvent atteindre assez rapidement des valeurs supérieures à la centaine ou au millier de cfu/100 ml. Ce schéma se vérifie d'une année sur l'autre et ceci quelque soit le contexte édaphique ou de gestion pastorale des surfaces étudiée. On retrouve là donc là des faits assez communs, souvent observés lors des campagnes de surveillance des ressources en eau (Pasquarell et al, 1995). En absence d'averses, on constate cependant qu'à partir de la mie saison, les teneurs ont tendance à diminuer bien avant le départ des troupeaux pour rejoindre progressivement des valeurs assez basses (de l'ordre de 10 à 20 cfu/100ml), pratiquement similaires à celles observées au démarrage de la période pastorale. Le retour aux valeurs basses en fin de saison peut toutefois être retardé par des averses exceptionnelles. Ces faits suggèrent que la présence du troupeau n'est pas le seul facteur responsable des contaminations observées ; il faut notamment qu'une connexion soit établie entre les déjections du troupeau et les ressources en eau.

Plusieurs modes de connexion peuvent être suggérés :

- des connexions ponctuelles à partir des zones d'abreuvement du troupeau ou de franchissement du cours d'eau, lors de déplacements collectifs du troupeau, pour atteindre les installations de traite ou de nouveaux quartiers de pâturage (comme cela a été le cas à Youlaz en début de saison) ; la concentration de déjection est localement très élevée et une onde de pollution est probablement générée dans le cours d'eau, ce qui conduit à des contaminations sévères et vraisemblablement fugaces ;

- des contaminations diffuses à partir de zones pâturées émettrices de ruissellement. Dans les conditions de l'alpage, le ruissellement peut être de nature hortonienne (lié à des refus d'infiltration de l'eau pluviale, sur des zones tassées ou piétinées où la perméabilité de surface est très fortement réduite) ou résulter d'effets de saturation de bas de pente, en relation avec des écoulements latéraux (Beven et al, 1979). L'analyse des relations teneurs – débit laisse suggérer que les stocks de bactéries mobilisés ne sont pas identiques et présentent des degrés de labilité différents. Il existerait au moins deux types de stocks : le premier serait mobilisé par les plus faibles débits, le second moins labile que le précédent, nécessiterait une énergie de transport plus forte pour sa remise en suspension et son transfert à l'exutoire du bassin versant. Il est raisonnable de penser que le premier type est mobilisé par le ruissellement hortonien, dans la mesure où les surfaces actives sont dénudées et présentent une faible rugosité, ce qui nécessite une faible énergie de transport. Le second serait transféré par le ruissellement issu des « sources variables », car les surfaces actives concernent ici des végétations non dégradées. Dans ces situations, la rugosité et la détention superficielle de l'eau est plus forte et le stock de bactérie a priori moins labile.

Durant la saison de pâturage, le déficit en eau à la surface des sols augmente à partir de la fonte des neiges et se prononce durant la saison pastorale, en relation avec la croissance de l'herbe et l'élévation des régimes d'évapotranspiration. Dans la mesure où l'occurrence du ruissellement est réduite lors de la dessiccation de l'horizon de surface des sols (dans le cas du ruissellement hortonien, l'infiltration en surface est augmentée par l'accroissement de la succion de l'eau ; dans le cas du ruissellement source variable, les migrations latérales de l'eau sont limitées), on peut penser que la connexion des déjections aux ressources en eau est moins probable en fin de saison. Ceci explique vraisemblablement la baisse généralisée des exportations de bactéries fécales lors de la saison pastorale, bien que l'émission de ces dernières soit maintenue par l'activité du troupeau.

On retiendra que les transferts de bactéries sont rapides par rapport à d'autres éléments ou particules mobilisés lors des crues, comme en atteste la forte baisse des teneurs en micro-organismes durant la fin du pic de crue. La quantité de bactéries susceptible d'être mobilisée semble donc assez limitée. Après le départ des animaux, on peut donc penser que la quantité résiduelle de bactéries susceptible d'être exportée diminue très rapidement lors des pluies d'automne, ce qui explique pourquoi les teneurs observées juste après la fin de saison sont assez vite équivalentes à celles du printemps.

Type	Facteurs / zones actives	Fréquence	Ampleur des contaminations	Solutions
<i>Le troupeau est connecté à l'eau</i> Contaminations ponctuelles	Déplacements collectifs du troupeau / gués	Hebdomadaire si changement de quartier de pâturage Quotidienne si déplacement lié à la traite	Contaminations fugaces et de forte amplitude	- Ré-organisation des trajets - Ré-organisation du plan de pâturage - Localisation des lieux et zones de traite
	Abreuvement / zones d'accès au cours d'eau	Quotidienne	Contaminations fugaces et de forte amplitude	Equipement des points d'abreuvement
<i>L'eau est connectée au troupeau</i> Contaminations diffuses	Ruissellement hortonien / zones tassées - piétinées	- Elevée en début de saison - Faible en fin de saison - Très faible en dehors des périodes de pâturage	Amplitude des contaminations en relation avec la hauteur de pluie et la répétition des séquences pluvieuses.	- Ré - organisation des trajets du troupeau
	Sources variables/ stations pastorales de fond de versant	Idem ci dessus	Idem ci dessus	- organisation du circuit de pâture (clôture de début de saison sur zones actives)

Tab. I. Types de contaminations et pistes de solutions

Les données recueillies durant les suivis apportent un ensemble d'informations relatives aux modalités des contaminations microbiologiques et suggèrent différentes pistes de solutions pour la prévention du problème. (tab.I). Nous distinguons un premier cas où le facteur causal des contaminations est la mise en contact du troupeau à l'eau, lors des déplacements collectifs des animaux, ou à l'occasion de trajets individuels, lorsqu'ils s'abreuvent directement dans les cours d'eau. Les problèmes générés par ces contacts sont ceux des pollutions ponctuelles, avec des pics de contamination quotidiens ou plus espacés dans le temps (de quelques jours à une semaine), rapidement transférés à l'aval, avec des vitesses qui dépendent des modalités de circulation de l'eau et de l'organisation du réseau hydrographique. Puisqu'elles sont fugaces, ces contaminations sont difficiles à observer par des prélèvements ponctuels ; elles sont cependant prévisibles, ce qui pourrait à priori être mis à profit pour l'organisation d'un plan de gestion des ressources en eau. La lutte contre ces contaminations demande de raisonner les modalités d'abreuvement des animaux, ainsi que leur circulation quotidienne et au cours de la saison. Si un certain nombre d'aménagements existent pour l'équipement des points d'abreuvement, les solutions et expériences pratiques de ré-organisation du circuit des animaux sont à notre connaissance encore rares. Compte tenu de l'ampleur des contaminations en cause, elles mériteraient d'être testées et analysées, probablement dans le cadre d'une concertation entre les différents usagers des espaces pastoraux d'altitude.

Lorsque les contaminations résultent d'une mise en contact des déjections par des mouvements d'eau, les contaminations ont des ampleurs et fréquences tout à fait différentes. Ces pollutions sont dépendantes des événements pluvieux mais globalement, d'une année sur l'autre et quelque soit les conditions agropastorales ou de milieu, leur fréquence et leur ampleur baissent au cours de la saison pastorale pour atteindre assez tôt en automne des valeurs faibles, comparables à celles du printemps. Elles demandent des alternatives de lutte adaptées aux modalités de transfert des micro-organismes. Lorsque ceux ci sont mobilisés par des transferts rapides d'eau à partir de zones tassées et/ou piétinées par le bétail, les solutions se rapprochent de celles déjà évoquées sur la ré-organisation des trajets du troupeau. Lorsqu'il s'agit de ruissellement à partir des stations pastorales, c'est le début de saison qu'il faut aménager, avec par exemple des cloisonnements au fil qui écartent les zones sensibles de bas fond ou de rupture de pente de l'accès du troupeau, lorsque les sols sont humides et que les précipitations sont susceptibles de générer des écoulements latéraux et des saturations de subsurface.

BIBLIOGRAPHIE

BALIAN E. (1995). Problèmes de qualité des eaux de montagne : Critères des utilisateurs, Impacts des pratiques agricoles, GIS Alpes du Nord, 33p.

BEVEN K, KIRBY MJ 1979. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol sci. bull* 24(1), 43-69.

CARLIER M. (1998). *Hydraulique générale et appliquée*, Eyrolles, 582p.

PASQUAREL GC, BOYER DG, 1995. Agricultural impact on bacterial water quality in karst groundwater. *J. Environ Qual*, 24:9, 59-69.

TREVISAN D, VANSTEELANT JY, DORIOZ JM. (2002). Survival and leaching of fecal micro-organisms after slurry spreading on mountain hay meadows : consequences for the management of water contamination risk. *Water Research*, 36, 275-283.