

ACTIVITE AGRICOLE ET CONTAMINATIONS MICROBIOLOGIQUES DIFFUSES DES CAPTAGES D'EAU EN MONTAGNE

Dominique TREVISAN

*SUACI Montagne. Groupement d'Intérêt Scientifique des Alpes du Nord
INRA, 75 avenue de Corzent, BP 11F 74203 Thonon les bains*

Les usages de l'eau en montagne sont compromis par les contaminations microbiologiques.

Les ressources en eau des territoires des Alpes du Nord font l'objet de multiples usages qui demandent d'être raisonnés dans une perspective de développement durable.

L'image de pureté de l'eau de montagne est surfaite car elle est fréquemment exposée à des contaminations microbiologiques d'origine fécale. A l'inverse des zones de plaine voisines où les aquifères sont sensibles à des pollutions chimiques (nitrates, pesticides), la problématique microbiologique est récurrente en montagne, ce qui pose des problèmes pour l'alimentation en eau potable (fig. 1). Au delà des conséquences pour l'alimentation des populations humaines ou animales, les contaminations fécales de l'eau ont un impact global sur le développement des activités en montagne ; elles pèsent en particulier sur l'agriculture et ses produits à forte image patrimoniale et environnementale, le tourisme, la pêche, mais aussi les équilibres biologiques et la santé des écosystèmes aquatiques. Les gestionnaires de l'eau, les collectivités locales, les professionnels agricoles, les consommateurs et les associations d'usagers sont interpellés par ces problèmes et demandent une prévention des risques adaptée aux contextes spécifiques de la montagne.

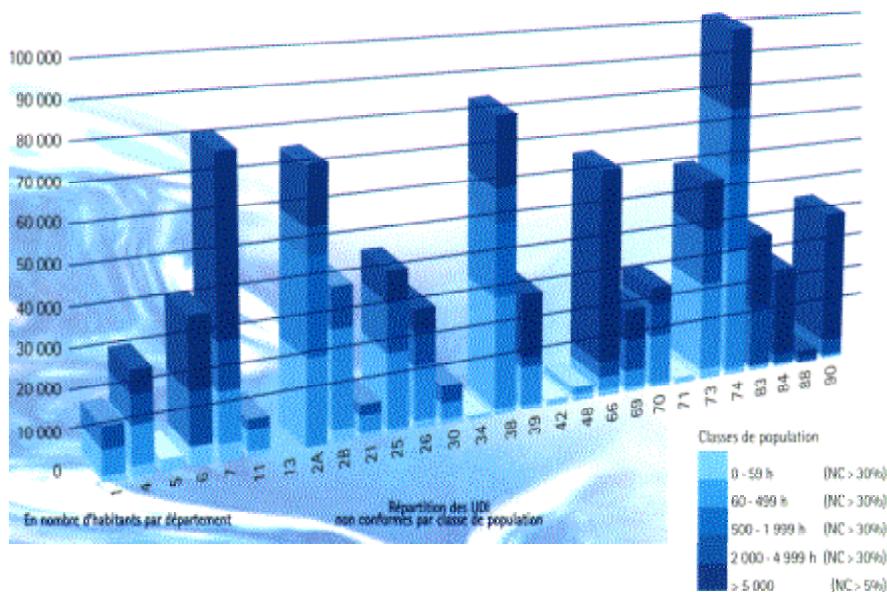


Figure 1. Répartition des unités de distribution (UDI) non conformes par classe de population dans les différents départements du bassin Rhône Méditerranée Corse. Source Agence de l'eau RMC, 2001. Dans les départements de la Savoie (73), Haute Savoie (74) et Isère (38), 60 000 à 100 000 habitants consomment de l'eau à risque microbiologique, essentiellement ceux des communes rurales. C'est pratiquement 20% de la population des départements de montagne qui est exposée à un risque bactérien, viral ou parasitaire. Des études épidémiologiques ont montré que ces populations développent des pathologies infectieuses (en particulier des gastro-entérites), notamment chez les personnes âgées ou les enfants, où les barrières immunitaires sont réduites¹. La baignade et les sports d'eaux vives, en pleine émergence en montagne, sont également touchés par la mauvaise qualité microbiologique.

¹ CAREPS (1985). Etude épidémiologique des effets sur la santé de la consommation d'eaux non conformes aux normes bactériologiques. Rapport de synthèse, Ministère de la Santé, Ministère de l'Agriculture et Agence de l'eau Rhône Méditerranéenne Corse, 34p.

Les contaminations proviennent de différentes sources. On distingue des origines ponctuelles (habitat dispersé sans dispositif collectif d'assainissement, bâtiments agricoles) ou diffuses, telles les pertes agricoles à partir des pâtures ou des surfaces d'épandage des effluents d'élevage. Dans ce dernier cas, les mesures préventives sont uniformes, s'appliquant sans distinction particulière des milieux ou des conditions d'exploitations, si bien qu'elles sont souvent mal comprises par les exploitants. Ceci conduit à une mauvaise intégration de logiques de protection dans le fonctionnement des exploitations agricoles, voir dans certains cas des situations de blocage.

Comprendre les mécanismes pour adapter les pratiques et générer des projets de protection dans les exploitations agricoles.

Un des axes de travail du programme de recherche des Alpes du Nord est de mieux comprendre les facteurs et mécanismes de la survie et du transfert diffus agricole des micro-organismes fécaux.

L'objectif est de disposer de références spécifiques aux conditions de montagne pour :

- repérer les situations de pratiques agricoles ou de milieux qui tamponnent ou au contraire exacerbent les pertes diffuses agricoles des micro-organismes fécaux ;
- en déduire des démarches de diagnostic pour l'analyse des risques et la définition de solutions correctives ;
- dégager les évolutions de fonctionnement des exploitations agricoles souhaitables pour l'intégration d'objectifs environnementaux ; il s'agit notamment de définir de véritables projets techniques de protection de l'eau, sur la base de concertations entre agriculteurs, collectivités locales et gestionnaires de l'eau.

La chaîne de contamination microbiologique de l'eau : disposer d'une analyse intégrée pour définir les conditions d'intervention.

Après épandage de matière organique, une population de micro-organismes est constituée sur la végétation et la surface du sol (fig.2). Une fraction de ce stock est susceptible d'être transférée latéralement par ruissellement vers les eaux de surface ou verticalement dans les horizons de sol puis dans les nappes. Ces stocks sont transitoires et évoluent sous les effets conjugués des transferts et des phénomènes de mortalité.

La **mortalité** des micro-organismes fécaux est liée à des phénomènes de compétition biologique (accès à la nourriture, phénomènes d'antibiose, prédation) ou résulte de lésions engendrées par l'effet de facteurs physiques (UV, température, dessiccation, conditions physico-chimiques)².

Les **transferts** sont régulés par différents facteurs contrôlant le fonctionnement hydrique des sols (texture, structure) et les propriétés de rétention – adsorption des bactéries sur la matrice organo-minérale du sol³.

Les risques de contamination de l'eau dépendent du fonctionnement d'ensemble de cette succession de phénomènes, variable selon les conditions météorologiques (température, régime pluviométrique, insolation), stationnelles (nature des sols, effets de versant) et les pratiques agricoles.

² PASQUARELL G.C., BOYER D.G. (1995). Agricultural impacts on bacterial water quality in karst ground water. *J. Environ. Qual.* 24, 959-969.

³ SMITH M.S., THOMAS G.W., WHITE R.E., RITONGA D. (1985). Transport of *Escherichia coli* through intact and disturbed soil columns. *J. Env. Qual.* 14:1, 87-91.

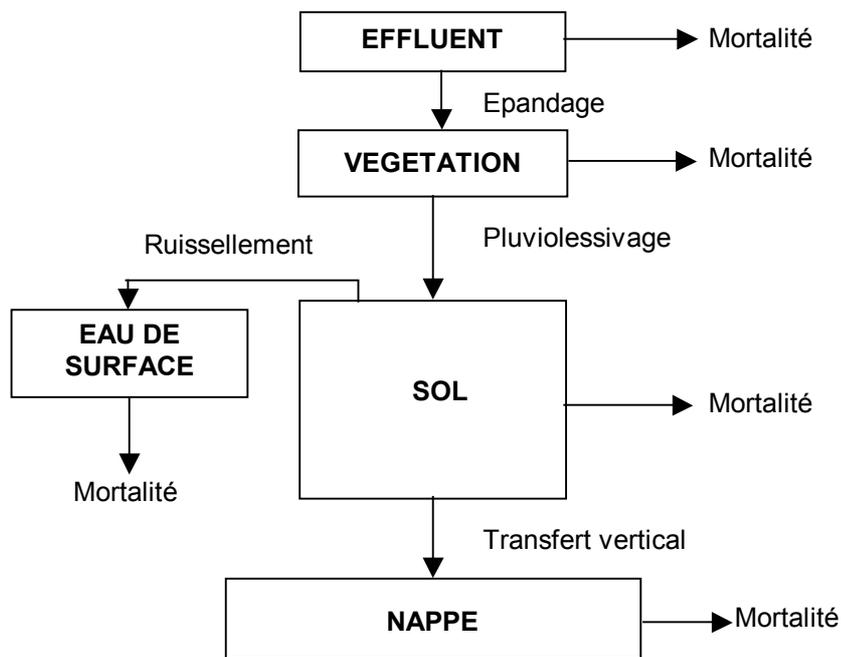


Fig.2. La chaîne de contamination de l'eau

La maîtrise des risques doit être envisagée à toutes les étapes de la chaîne de contamination. On cherchera en particulier à réduire la **charge contaminante des effluents** de ferme, mais aussi à déterminer les conditions optimales d'épandage en relation avec le **potentiel épuratoire** du système sol – végétation, c'est à dire l'ensemble des phénomènes biologiques ou physiques susceptibles de provoquer la mortalité des micro-organismes fécaux et/ou d'empêcher leur transfert vers les aquifères.

Charge contaminante des effluents d'élevage : des possibilités de maîtrise limitées.

Dans les conditions courantes d'évolution des fumiers (élévation de la température vers 20 à 30°C), la teneur en bactéries fécales diminue dans le temps (fig.3). Dans le cas des lisiers et des purins, la diminution des teneurs n'est pas significative en raison de l'ensemencement quotidien des fosses par les fèces. L'aération des lisiers, en favorisant les compétitions biologiques, conduit à une baisse significative de 1 Log.g⁻¹ de la teneur en bactéries fécales. Le compostage ne garantit pas toujours l'hygiénisation des fumiers⁴. En définitive, les épandages sont synonymes d'un ensemencement des végétations et des sols. **La maîtrise des risques doit être complétée par la recherche de conditions optimales d'épandage favorisant rétention et mortalité des germes.**

⁴ GONNOR F. (2000). Gestion des risques de contamination bactériologique par les effluents d'élevage dans le PNR du Vercors. Mem DESS, Univ Bourgogne, Dijon, 52p.

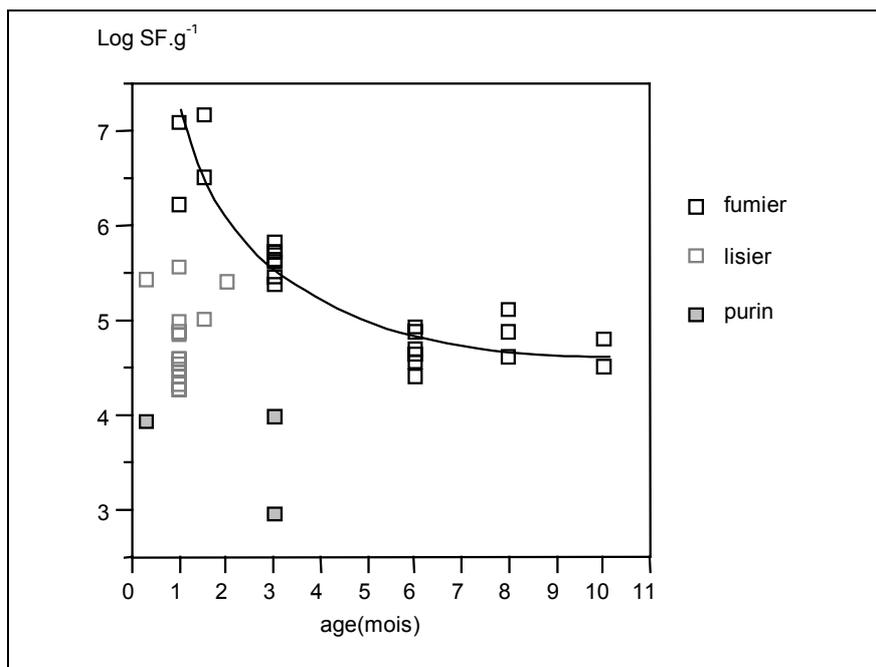


Fig3. Teneurs en streptocoques fécaux dans les effluents d'élevage de montagne

A la surface du sol la mortalité des micro-organismes fécaux varie en relation avec les pratiques d'épandage et les conditions stationnelles.

Des essais ont montré que les teneurs en bactéries fécales d'amas organiques à la surface du sol sont plus rapides en exposition sud⁵. Les bactéries résistent mieux au niveau des collets des plantes que sur les surfaces foliaires⁶. Ces comportements sont liés aux effets bactéricides des UV et de la dessiccation sur les organismes fécaux présents sur la végétation. Pour les mêmes raisons, les amas organiques grossiers et épais sont plus favorables à la survie des micro-organismes (fig.4). Ceci explique aussi pourquoi ils sont protégés dans les situations où la repousse de l'herbe est rapide après épandage (fig.5). La conséquence pratique de ces résultats est qu'il faut chercher à réaliser des épandages d'effluents uniformes, à faible dose instantanée, ainsi qu'à mettre en oeuvre des modalités de conduite de l'herbe favorisant une croissance non explosive de l'herbe, comme c'est le cas lorsqu'il y a un raisonnement de la fertilisation.

Dans le sol, des phénomènes de stress, de rétention, de compétition biologique conjuguent leurs effets et déterminent le potentiel de survie des micro-organismes fécaux.

Les populations de bactéries survivent mieux dans les sols en l'absence de stress hydrique. Le temps moyen nécessaire à une réduction de 95 % des populations de bactéries est de 53 jours lorsque le sol est saturé en eau, de 38 lorsqu'il est à la capacité au champ et de 22 lorsqu'il est à une humidité de 50% de la capacité au champ⁷. En conditions froides, les organismes d'origine fécale sont favorisés par rapport à la microflore naturelle. Ainsi en montagne humide, les organismes fécaux présentent des capacités de survie plus fortes que dans les zones collinéennes ou d'avant pays, moins arrosées et plus chaudes.

⁵ ROSAZ, 1991. Risques sanitaires liés à l'épandage des boues de station d'épuration. Application à la revégétalisation des pistes de ski. Thèse Université C. Bernard. Lyon. 125p.

⁶ KNUDSEN G.R. (1991). Models for the survival of bacteria applied to the foliage of crop plants. In Modeling the environmental fate of microorganisms, C. J. Hurst Ed., *Amer. Society for Microbiol.*, 191-216.

⁷ KIBBEY H.J., HAGEDORN C., Mc COY E.L., 1978. Use of faecal streptococci as indicators of pollution in soil. *App. and Environ. Microbiol.*, 711-717.

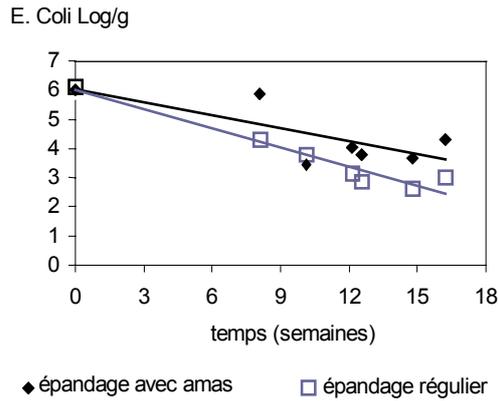


Fig 4. Evolution d'E. Coli dans des mottes de fumier et des agrégats de boue pâteuse.

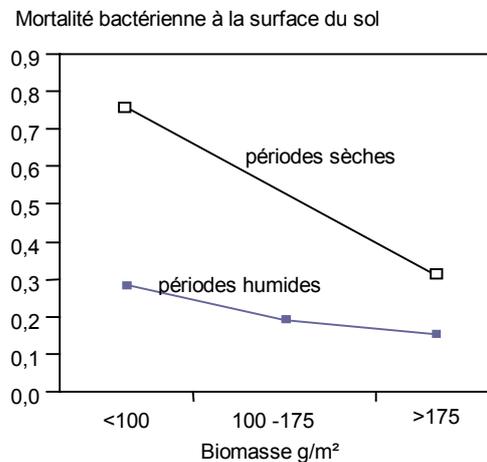


Fig. 5. Evolution d'E Coli en relation avec les conditions climatiques et de repousse de l'herbe après épandage

Les possibilités de survie sont en outre liées aux capacités de nutrition des populations microbiennes, en relation avec la teneur en matière organique des sols⁷. Dans les sols recevant de fortes doses d'effluents, ce qui se traduit par une élévation des teneurs en MO, les micro-organismes fécaux sont donc favorisés.

A l'inverse, les phénomènes de compétition entre micro-organismes fécaux et flore naturelle des sols limitent les potentiels de survie. Le rôle des protozoaires prédateurs vis à vis des bactéries fécales est déterminant⁸, leur action variant selon les conditions physico-chimiques (ils sont plus actifs dans les sols à pH équilibré), de température (lorsqu'il fait froid ils s'enkystent) ou texturales (les argiles protègent les bactéries de leur action).

Le transfert des micro-organismes vers les nappes ou les eaux de surface dépend de la nature des sols.

Ce sont les propriétés hydrodynamiques des sols, leur capacité à retenir l'eau, leur sensibilité au ruissellement qui déterminent le potentiel de transfert des bactéries (fig. 6).

⁷ cf référence n°4.

⁸ ENGLAND L.S., LEE H., TREVORS J.T. (1993). Bacterial survival in soil : effect of clays and protozoa. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 235(5), 525-531.

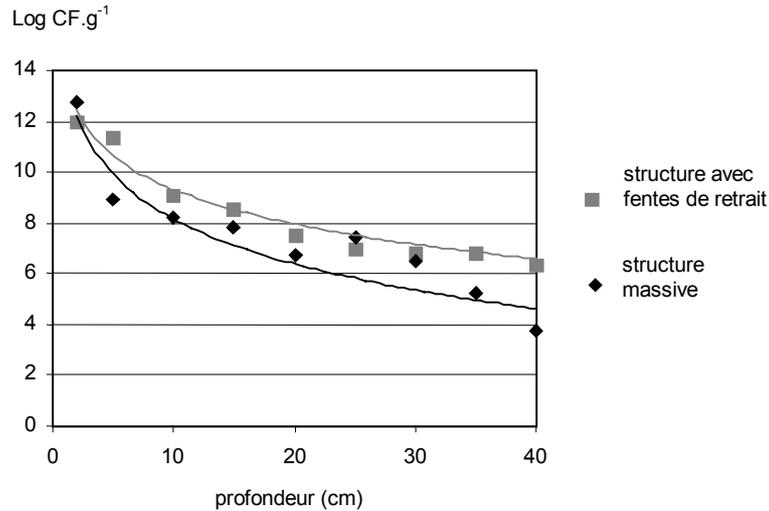


Fig.6. Teneurs en *E.Coli* en fonction de la profondeur après infiltration d'une suspension bactérienne dans un sol avec fente de retrait et à structure massive. Plus la courbe est aplatie, plus le transfert est profond et le risque pour les nappes élevé.

Les risques de transfert transferts verticaux et de contamination des nappes sont d'autant plus importants que l'eau circule rapidement au travers des sols, ce qui est le cas pour les sols superficiels filtrants ou fissurés, ou encore, quelque soit la nature des sols, lorsque leur teneur en eau est élevée, comme c'est le cas lors des périodes hivernales. Ces mêmes périodes exposent les eaux de surface au ruissellement et aux transferts latéraux des micro-organismes.

Des marges de manœuvre pour limiter les risques à chacune des étapes de la chaîne de contamination.

Les possibilités de maîtrise des risques de contamination des ressources en eau sont liées au fonctionnement d'ensemble du système sol-plante, où certains paramètres peuvent être modifiés dans l'objectif de limiter la survie et d'accroître la rétention. Les marges de manœuvre se rapportent au traitement des effluents, à l'ajustement des doses, dates et fréquences d'épandage, à la conduite de l'herbe et au maintien de l'activité biologique des sols (fig. 7).

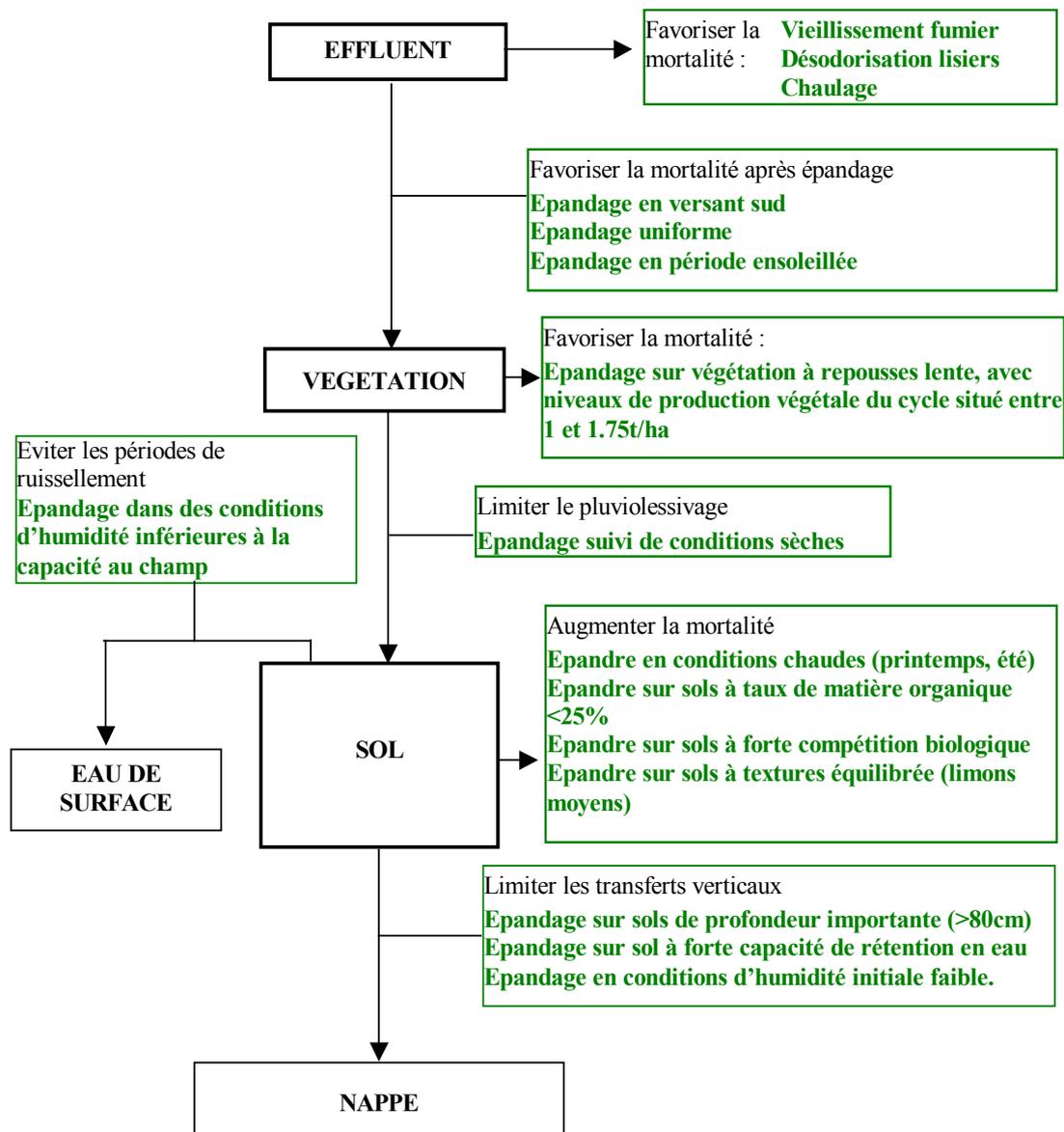


Fig.7. Pratiques de maîtrise des risques.

L'ensemble des mesures correctives à mettre en oeuvre au niveau des exploitations agricoles relèvent finalement de la mise en place d'une logique intégrée de gestion des matières organiques : il faut assurer un potentiel de croissance de l'herbe non explosif, avec des épandages réalisés à doses unitaires faibles, n'engendrant pas des excès de matière organique dans les sols, tout en maintenant leur activité biologique, et ceci lors des périodes chaudes où les compétitions sont fortes et où l'eau circule lentement⁹.

Un système d'indicateurs pour l'intervention et le contrôle des risques.

En l'état actuel des connaissances, le risque de contamination des aquifères peut être défini comme résultant de différentes composantes élémentaires de risques, liées aux potentiels de survie et de transfert des micro-organismes :

$$R = S1 * S2 * S3 * T,$$

⁹ TREVISAN D., VANSTEELANT J.Y., DORIOZ J.M., 2001. Survival and leaching of faecal micro-organisms after slurry spreading on mountain meadows : consequences for the management of water contamination risk. *Water Research*, 36, 275-283.

où S1 correspond au risque lié à la survie des micro-organismes à la surface de la végétation en relation avec les conditions de pousse de l'herbe, S2 au risque lié aux doses d'épandage, S3 aux compétitions biologiques dans le sol et T, au risque de leur transfert.

Sur la base d'expertise collective associant agronomes, biologistes et pédologues, il a été attribué une note aux différents indices S et T dans les différentes situations de milieu et de pratiques agricoles de montage. Les valeurs de R obtenues par le croisement de ces notes, permet d'apprécier la probabilité des contaminations diffuses. Un modèle informatique a été développé pour intégrer les différentes composantes de risque et automatiser les calcul de R. (fig 8)

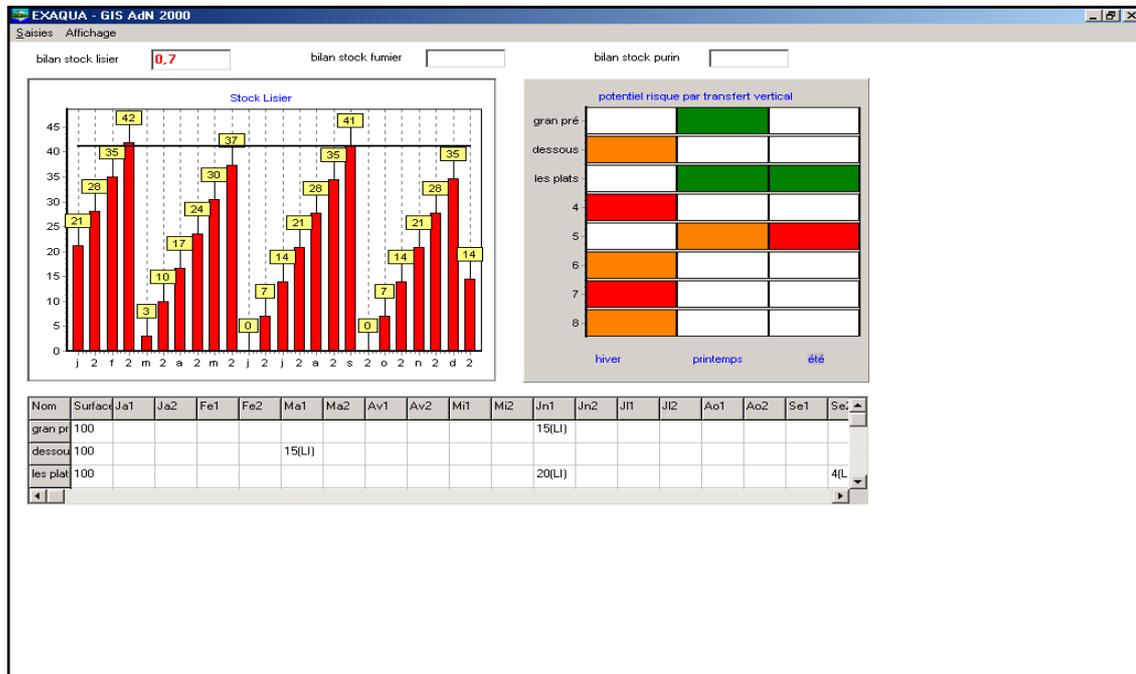


Fig8. L'interface EXAQUA. L'analyse intégrée des risques de pollution diffuse, comprend un calcul du volume d'effluent stocké sur l'exploitation en relation avec l'effectif du troupeau et une évaluation de la probabilité de transfert diffus, en fonction des propriétés édaphiques du parcellaire et de l'organisation des épandages. La gestion d'ensemble du système consiste à éviter le débordement de la fosse, répartir les effluents dans l'espace parcellaire en relation avec les fonctions de l'herbe et le circuit du troupeau pour limiter les probabilités de transfert sur les parcelles concernées par des usages d'eau.

Du diagnostic à la prévention des risques.

La reconnaissance des facteurs de risque et des possibilités de maîtrise des risques doit reposer sur une démarche concertée entre scientifiques, gestionnaires de l'eau, de la santé et agriculteurs. Il s'agit de mettre en place dans les exploitations concernées par des périmètres de protection d'eau potable ou des espaces à fort enjeux environnemental (bassin versant des lacs, zones à activités multiples), des systèmes de décision découlant de projets techniques de protection de l'eau. Ceci demande de :

- concevoir des plans de gestion prévisionnels des matières organiques et les modalités de conduite des troupeaux en relation avec les propriétés des sols, du milieu et le fonctionnement hydrologique de l'impluvium des aquifères ;
- adapter les prescriptions d'épandage et de pâturage en fonction des conditions météorologiques et culturelles ;
- recourir à des techniques correctives ou préventives, ne relevant pas obligatoirement de logiques de production ;
- doter les exploitations d'un système d'indicateurs et d'alerte pour suivre, adapter ou renforcer les principes de protection retenus.

Il s'agit là d'interventions intégrées de gestion des ressources en eau, qui doivent être expérimentées avec la mise en place d'ateliers et de sites pilotes de diagnostic et d'intervention.