

Présentation des bassins versants ateliers (Coët-Dan et Kerharo) et de la baie de Douarnenez

Paul Bordenave⁽¹⁾, Michel Merceron⁽²⁾

(1) Cemagref, 17 avenue de Cucillé, 35044 Rennes Cedex

(2) Ifremer/Del, BP 70, 29280 Plouzané

Introduction

La transmission d'un certain nombre de polluants depuis les terres agricoles jusqu'au littoral a été étudiée dans le cadre de ce programme, à la fois par des travaux généraux et par des investigations de terrain. Celles-ci se sont déroulées dans deux bassins versants tests (fig. 1). L'un, le Coët-Dan, est équipé de dispositifs de mesure variés depuis l'année 1971 et fait l'objet de suivis depuis cette date. L'autre, le Kerharo, n'avait fait l'objet d'aucune étude jusqu'à présent.

La répartition des thèmes de recherche entre ces deux bassins versants a été la suivante. Dans le Coët-Dan, ont été traités le transfert des pesticides et des bactéries d'intérêt sanitaire, les apports aux champs d'azote et de phosphore par les cultures et les élevages, le transfert de ces nutriments dans les horizons de surface et le transfert de l'azote en profondeur.

Figure 1
Schéma de localisation
des sites d'étude.



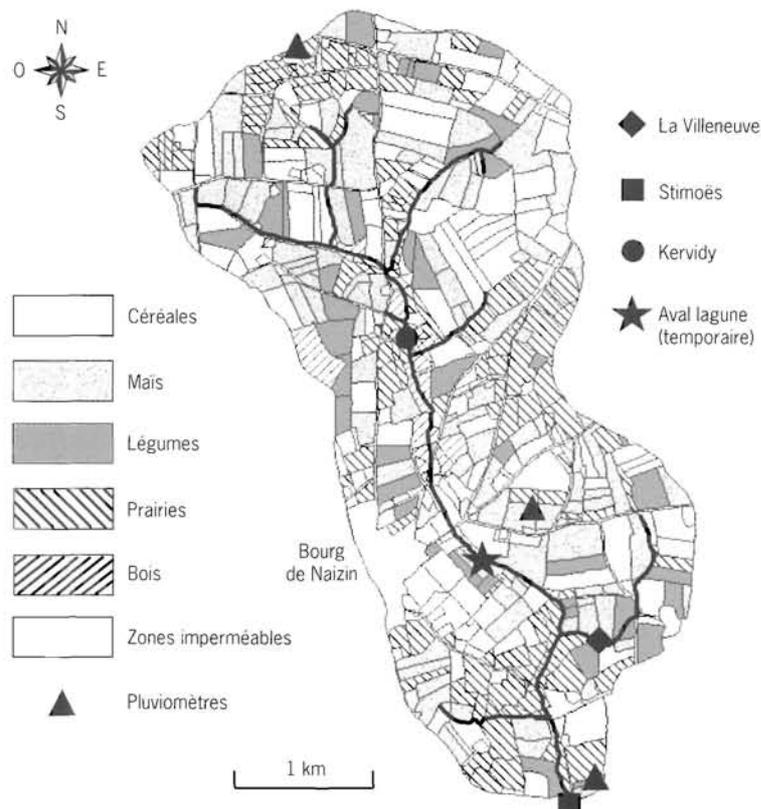
Dans le Kerharo, ont été traités la modélisation du transfert de l'azote dans les niveaux du sol non saturés d'eau, la dénitrification dans les zones humides (naturelle et artificielle), l'hydrogéologie et les transferts souterrains d'azote ainsi que les bactéries de dénitrification profonde, la relation entre les flux azotés printaniers à la côte et les marées vertes sur les plages de la baie de Douarnenez.

Bassin versant du Coët-Dan à Naizin (56)

Le bassin versant du Coët-Dan couvre 12 km² (1 193 ha) situés pour 85 % sur la commune de Naizin et pour 15 % sur les communes de Réguiny et Kerfourn, au nord-est du Morbihan (fig. 1). Un plan d'eau de 3,6 ha, associé à une base de loisirs, a été aménagé en 1991 sur le cours d'eau dans la partie centrale du bassin. Les eaux usées du bourg de Naizin (1 100 hab.) traitées par lagunage ainsi que les eaux pluviales se déversent dans le ruisseau, un peu plus en aval (fig. 2).

L'activité agricole est dominante et concerne 1 032 ha soit 86,5 % de la surface totale. Les surfaces non agricoles sont constituées par une partie de l'agglomération de Naizin pour 32 ha, par 26 ha de routes dont 15 ha de surface imperméabilisée, 43 ha de bois et peupleraies. La station de lagunage et le plan d'eau représentent environ 6 ha (Cann, 1996).

Figure 2
Localisation des points de mesure et occupation du sol sur le bassin versant du Coët-Dan (56).



Le ruisseau du Coët-Dan est un affluent de l'Ével, lui-même affluent du Blavet. Il coule suivant un axe nord-sud. Les sources sont situées sur un plateau au nord à une altitude de 130 mètres. La dénivelée entre les sources et l'exutoire est de 70 mètres, pour une longueur du ruisseau de 7 kilomètres. L'altitude moyenne du bassin est de 110 mètres. Le relief, d'abord peu marqué dans le haut du bassin, devient plus escarpé dans le tiers inférieur de la vallée. Dans l'ensemble, les pentes restent douces : inférieures à 5 % pour 69 % de la surface, comprises entre 5 et 8 % pour 25,5 % et supérieures à 8 % pour 5,5 %. Les zones de bas-fond à proximité du ruisseau sont peu pentues et jouent donc ainsi un rôle tampon, pour les écoulements par ruissellement, entre le ruisseau et les versants. La pente n'est qu'exceptionnellement limitante pour le travail du sol. *A contrario*, 31 % de la surface ont une pente supérieure à 5 % et, par conséquent, le risque d'entraînement de particules de sol à la faveur de pluies intenses n'est pas du tout négligeable, notamment au printemps après les semis de maïs. Ceci a son importance pour les transferts de produits phytosanitaires, particulièrement sur le sous-bassin de La Villeneuve.

Le bassin a été remembré de 1971 à 1976. Cet aménagement foncier s'est traduit par un triplement de la surface des parcelles (3,3 ha en moyenne après remembrement), une diminution de la longueur des talus de 90 m/ha (80 km ont été arasés), la réalisation de 19 km de fossés et de 10 km de chemins. Malgré ces profondes transformations, qui ont conduit à une augmentation des vitesses d'écoulement de l'eau (Goenadi, 1986), le bassin a conservé un aspect bocager. Des opérations de drainage ont aussi été effectuées au moment du remembrement et après. Il n'existe pas à notre connaissance de relevé précis des surfaces drainées car beaucoup de ces travaux sont effectués dans un cadre individuel. Il s'agit souvent de drainages localisés, qui sont en fait des captages de résurgences conduisant l'eau des zones humides de la parcelle vers le fossé le plus proche. À proximité du ruisseau, le drainage n'est pas toujours possible du fait de la dénivelée trop faible entre les parcelles et le ruisseau. Ceci explique évidemment qu'un certain nombre de parcelles soit resté en prairies naturelles ou ait été transformé en peupleraies.

La surface moyenne des parcelles a continué d'augmenter depuis 1972 pour dépasser 4 ha aujourd'hui, ce qui indique que le bocage continue d'être réduit.

Le climat est océanique, avec une pluviosité annuelle inférieure à celle du Kerharo. La hauteur moyenne annuelle sur 26 années (de 1971 à 1997) est de 734 mm avec un écart-type de 126 mm alors que l'écoulement moyen annuel dans la rivière est de 292 mm, ce qui permet d'estimer l'évapotranspiration réelle (ETR) annuelle moyenne à 442 mm. La hauteur mensuelle des pluies augmente généralement de septembre à décembre (mois le plus arrosé avec 82 mm), puis diminue jusqu'à avril (47 mm). Elle marque une reprise au mois de mai (62 mm) et atteint son minimum au mois d'août avec 29 mm (Cann, 1997). Les écoulements mensuels à l'exutoire sont croissants de septembre (1,6 mm en

moyenne) à février (58 mm en moyenne) où ils atteignent leur maximum, soit deux mois après le maximum des précipitations mensuelles, puis décroissants jusqu'à août (1,2 mm en moyenne). Les pluies sont peu intenses en général, du moins avec la résolution temporelle utilisée dans nos stations pluviométriques qui est d'une mesure toutes les cinq minutes. Le nombre de pluies journalières de plus de 5 mm se situe entre 40 et 50 par an. Les pluies supérieures à 20 mm sont exceptionnelles. La répartition des pluies admet un mode de 1 mm.h^{-1} et un intervalle de variation de 0 à 4 mm.h^{-1} dans 80 % des cas (Cann, 1997). Le ruisseau tarit régulièrement sur tous les sites de mesure (Kervidy, Aval lagune, La Villeneuve et Stimoës) de juillet jusqu'au début du mois d'octobre. Durant l'étiage, le plan d'eau est alimenté par des sources de faible importance qui maintiennent son niveau sans provoquer un débit significatif, sauf en cas d'orage. De même, l'écoulement de la lagune se poursuit sur quelques dizaines de mètres en amont du site Aval lagune. Cette rupture annuelle d'écoulement, courante en Bretagne pour les bassins versants sur « schistes » de surface comparable, traduit la faiblesse des aquifères alimentant les ruisseaux.

L'équipement de mesure du bassin

Instrumenté depuis 1971 pour la seule mesure des débits à l'exutoire (Stimoës), en relation avec les opérations de remembrement en cours, le site a été ensuite progressivement équipé pour étudier la qualité de l'eau et son évolution. D'une part, le seuil de Stimoës a été pourvu d'échantillonneurs automatiques pour le suivi des crues avec un pas de temps fin (5 mn). Les paramètres suivants sont mesurés : teneurs de l'eau en azote nitrique, azote ammoniacal, phosphore (soluble réactif et total), matières en suspension, produits phytosanitaires, bactéries. D'autre part, des stations limnimétriques munies de seuils à parois minces et de préleveurs automatiques ont été installées et jaugées à Kervidy, La Villeneuve et sur un point du cours d'eau après le débouché de la lagune baptisé Aval lagune (fig. 2). Ceci permet l'étude séparée de deux sous-bassins : (i) le sous-bassin de Kervidy, d'une superficie de $0,45 \text{ km}^2$, exclusivement agricole, en amont, qui intègre notamment le plateau où se trouvent les sources, suivi plus particulièrement par l'Inra (transferts d'azote) et par l'école nationale de la Santé Publique (ENSP) de Rennes pour les produits phytosanitaires ; (ii) le sous-bassin de La Villeneuve, $0,12 \text{ km}^2$, exclusivement agricole, situé en aval dans une zone à relief plus marqué et dont le ruisseau débouche à environ 200 m de la station de Stimoës. Il est utilisé par le Cemagref de Rennes pour la mesure des transferts d'azote, de phosphore et de matières solides, en relation avec les pratiques agricoles, et par l'ENSP de Rennes pour les produits phytosanitaires. Le point Aval lagune, intermédiaire entre Kervidy et Stimoës, a été muni par le Cemagref de Rennes d'un seuil à paroi mince et d'un échantillonneur automatique en aval du plan d'eau et de la lagune afin de quantifier leur influence sur les débits et les flux

totaux du bassin. Enfin, le BRGM a réalisé des forages à différentes profondeurs à Stimoës, La Villeneuve, Kervidy destinés à étudier qualitativement et quantitativement les écoulements souterrains à différentes profondeurs et leurs liaisons avec les eaux du Coët-Dan.

L'équipement de mesure du bassin ainsi que les séries de données déjà recueillies permettent l'étude et le suivi environnemental d'une portion de territoire assez représentative des zones rurales en Bretagne, incluant l'activité agricole et des activités non agricoles avec le bourg de Naizin (lagune, plan d'eau et base de loisirs).

Sous-sol et sols

Le sous-sol est constitué par des schistes briovériens contenant des inclusions gréseuses d'importance limitée, recouverts par une couche d'altération. Les altérites, présentes aussi bien sur les plateaux que dans les zones de fond de versant, sont surmontées par des limons d'origine loessique de 0,5 à 1 m d'épaisseur. Le ruisseau coule dans des alluvions modernes.

Les sols cultivés sont majoritairement à texture limono-argileuse avec une teneur en argile comprise entre 10 et 20 %, riches en matière organique (3 à 7 %) et acides. Cette tendance à l'acidité est corrigée par des apports réguliers d'amendements calcaires. Ainsi, le pH des sols cultivés varie entre 5,5 et 6,6 (Walter & Curmi, 1998). La teneur en phosphore assimilable exprimée en P_2O_5 (méthode Dyer) est élevée et dépasse fréquemment les valeurs admises (0,30 %) pour des sols correctement pourvus. Ces fortes valeurs résultent des apports répétés depuis au moins trente ans des lisiers et fumiers provenant des élevages intensifs conjugués, jusqu'aux années quatre-vingt, avec des fumures phosphatées minérales. On note aussi une migration lente du phosphore dans la profondeur du sol (40 cm) ainsi qu'une tendance à l'accumulation en bas des pentes en raison des transports solides par ruissellement et de l'érosion (Comlan, 1996; Gascuel-Oudoux *et al.*, 1995). Les teneurs en potassium assimilable sont également élevées, en relation avec les mêmes pratiques d'épandage d'effluents d'élevage.

Les potentialités de production sont globalement bonnes pour la plupart des cultures annuelles et pour les prairies. Cependant, 25 % des parcelles cultivées présentent des contraintes limitantes pour leur production en raison d'une hydromorphie prononcée ou d'une profondeur de sol insuffisante alors que la pente n'est que très rarement limitante pour le travail du sol.

Fonctionnement hydrologique et biogéochimique

Les travaux multidisciplinaires et interorganismes réalisés dans le cadre du programme Cormoran (caractérisation, observation, modélisation des transferts de masse et d'énergie en milieu agricole intensif) mis en place par l'Inra de Rennes (unité des sciences du sol et de bioclimatologie) ont permis de préciser le fonctionnement hydrologique et

biogéochimique. En résumé, l'hydrologie et la biogéochimie sont contrôlées par la topographie. Le bassin versant peut être séparé en deux domaines : (i) les plateaux et les versants bien drainés avec un transfert vertical jusqu'à la nappe ; (ii) les zones hydromorphes de bas-fonds, présentant une nappe perchée dénitrifiante et un ruissellement superficiel (Curmi *et al.*, 1997). Il a été montré que cette nappe perchée dénitrifiante pouvait contribuer pour 15 à 30 % à l'écoulement de crue, favorisant ainsi, comme les eaux de ruissellement, la baisse des concentrations en nitrate observée dans le ruisseau en début de crue. D'après ces travaux, la composition des eaux en période de crue est bien rendue par un modèle de mélange utilisant quatre compartiments : les eaux de versant et celles de la nappe riches en nitrate, les eaux de pluie (du ruissellement) et les eaux issues de la nappe perchée dénitrifiante pauvres en nitrate. Le rôle des zones humides sur l'abaissement des flux de nitrate a ainsi pu être précisé (Curmi *et al.*, 1997).

D'après la carte pédologique (Walter & Curmi, 1998), les zones humides représentent 20 % de la surface mais leur répartition sur le bassin varie d'amont en aval, donc globalement suivant un axe nord-sud. Elles se situent principalement de part et d'autre des ruisseaux, constituant ainsi une bande de quelques centaines de mètres de largeur en amont (jusqu'à 500 m), plus étroite en aval (150 m au maximum) et pratiquement ininterrompue sur toute la longueur du ruisseau. Dans les deux tiers amont du bassin versant, les sols classés hydromorphes ou peu hydromorphes dominent alors que, dans le dernier tiers, cette tendance s'inverse, en relation avec un relief plus accentué, et ce sont les sols bien drainés qui dominent. Ceci est particulièrement net sur le sous-bassin de La Villeneuve où l'on trouve à la fois une étroite bande de sols hydromorphes à proximité du ruisseau et des sols bien drainés sur la plupart de la surface.

Activité agricole et occupation du sol

- L'élevage

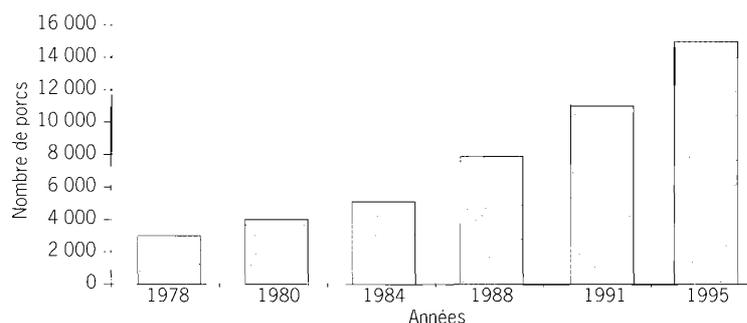
L'intensification de l'agriculture s'est surtout manifestée ces trente dernières années par le développement de l'élevage hors sol de porcs et de volailles. Si l'on compare les chiffres des recensements agricoles de 1970 à 1988 pour la commune de Naizin, on note une stagnation, voire une légère diminution pour les effectifs bovins (de 3 492 à 3 182). Par contre, les effectifs porcins et avicoles (poulets de chair et dindes) ont considérablement augmenté en passant respectivement de 7 691 à 28 849 et de 37 106 à 80 865. Les élevages bovins ont aussi été intensifiés, ce qui est traduit par une augmentation du chargement (nombre d'animaux exprimé en unités de gros bétail bovin ou UGB par hectare de surface fourragère principale) qui est passé de 1,71 en 1991 à 1,88 en 1994 (Turpin, 1996) alors que, dans le même temps, la surface en prairies diminuait. Les densités d'élevage à l'échelle de la Bretagne et de la France peuvent être comparées à celle du bassin au travers du nombre d'animaux à l'hectare (Cann & Villebonnet, 1993) (tab. 1).

Tableau 1 - Chargements d'animaux comparés selon les régions.

Densité d'animaux à l'hectare	Bassin du Coët-Dan	Bretagne	France	Union européenne
Vaches laitières	0,473	0,502	0,195	0,181
Total bovins	0,890	1,381	0,714	0,629
Truies	0,618	0,345	0,040	0,085
Porcs charcutiers produits	24,12	5,55	0,59	

Le bassin versant du Coët-Dan est plus chargé en porcs que le reste de la région et un peu moins en bovins mais la différence n'est que de 6 % pour les bovins laitiers qui représentent environ 50 % du total des bovins. L'accroissement du cheptel porcin s'est poursuivi après 1988 comme on peut le constater sur la figure 3.

Figure 3
Évolution du cheptel porcin
sur le bassin versant
du Coët-Dan à Naizin (56).



À l'échelle de la France, comme de la Bretagne, les effectifs bovins sont stables, en légère régression depuis l'instauration des quotas laitiers. Par contre, de 1970 à 1995, les effectifs porcins en Bretagne ont augmenté plus vite qu'à l'échelon national. Sur le bassin, cette augmentation a été encore plus rapide. Le cheptel porcin a été multiplié par six en moins de vingt ans.

L'activité d'élevage est la principale source de revenu des exploitations du bassin. Il n'existe pas d'exploitation tirant tous ses revenus des seules productions végétales.

Malgré leur bon niveau de rendement, les productions végétales sont quantitativement très insuffisantes pour assurer l'alimentation des ateliers animaux. Une enquête réalisée en 1994 par le Cemagref de Rennes auprès de 40 agriculteurs exploitant 820 ha sur le bassin, représentant donc 75 % de la SAU, démontre que la quantité totale fixée par les productions végétales sur le bassin cette année était de 150 t d'azote alors que, dans le même temps, les élevages en avaient consommé 392 t, soit 2,6 fois plus. Ceci illustre bien le caractère hors sol de la production animale. Pour le phosphore, le constat est encore plus net, les animaux consomment 3,6 fois plus que les quantités utilisées par les végétaux. L'azote et le phosphore des cultures sont utilisés respectivement à 75 % et 71 % par les élevages. Des enquêtes similaires réalisées auparavant montrent d'ailleurs que, selon ces critères, le caractère hors sol des productions animales s'est accentué ces vingt dernières années.

Ainsi, en 1988, les élevages ne consommaient que 1,8 fois plus d'azote que les quantités contenues dans les végétaux produits sur le bassin, pour un niveau de rendement des productions végétales comparable à celui d'aujourd'hui. Les aliments du bétail constituent la principale source d'entrées de nutriments (N, P...) sur le bassin.

La pression polluante résulte donc en premier lieu du déséquilibre entre les quantités de nutriments consommées par les ateliers de production animale et les quantités exportées par ces mêmes ateliers sous forme de produits animaux. Sur 392 t d'azote et 72 t de phosphore consommées annuellement par les élevages, seulement 115 t d'azote (29,3 %) et 28 t de phosphore (38,9 %) sont exportées du bassin sous forme de produits animaux vendus. Chaque année, ce sont donc environ 280 t d'azote et 45 t de phosphore, contenues dans les effluents d'élevage, qui sont épandues sur les terres agricoles du bassin car les possibilités d'exportation vers les bassins versants voisins, déjà excédentaires, sont très limitées. Ceci représente plus de 230 kg d'azote et près de 40 kg de phosphore par hectare de surface agricole utile (SAU). Comme celui du Kerharo, le bassin versant du Coët-Dan est dans une zone classée en excédent structurel (ZES).

- Productions végétales

Assolement

Les productions végétales sont déterminées par l'élevage et son intensification. Le total des cultures ayant une vocation fourragère (maïs, céréales, prairies) représente actuellement 92,5 % de la surface agricole utile (SAU) contre 100 % il y a 25 ans. Les relevés d'occupation du sol réalisés régulièrement de 1972 à 1998 font apparaître l'évolution de la sole en maïs qui a augmenté de 16 % de la SAU en 1972 à 32 % actuellement. Cette production est utilisée principalement pour l'affouragement des animaux, soit sous forme de maïs grain sec ou grain humide pour l'alimentation des animaux monogastriques, soit sous forme d'ensilage de la plante entière pour les bovins. Lorsque les besoins des animaux sont assurés, le reste de la production est vendu. La part du maïs dans l'assolement semble stabilisée autour de 30 % depuis 1986 mais des fluctuations sont toujours possibles en fonction des cours du maïs grain.

Parallèlement, la surface en prairies a diminué de 50 % de la SAU en 1972 à 25 % environ aujourd'hui. La nature des prairies a aussi été profondément modifiée du fait du remplacement en très forte proportion des prairies de longue durée à flore complexe de type permanent par des prairies temporaires de plus courte durée (3 à 7 ans), assolées, à flore simple constituée très souvent par une graminée pure.

La part des céréales (blé tendre d'hiver, orges d'hiver, triticale pour les principales) a aussi fortement augmenté de 1974 (12 % de la SAU) à 1998 (25 %). Elle reste depuis autour de 25 %. Enfin, les cultures légumières (haricots, pois, oignons...), après une période de niveau haut à 16 % de la SAU en 1991 après l'instauration des quotas laitiers,

sont présentes actuellement sur seulement 5 % de la surface. Mais ceci est susceptible d'évoluer en fonction du différentiel de prix avec des cultures de vente concurrentes, telles que le maïs grain ou les céréales.

En résumé, le développement de la production animale ces vingt-cinq dernières années a entraîné un changement dans la nature des cultures, caractérisé par une augmentation des soles de fourrages annuels (maïs et céréales en quantités équivalentes) au détriment des prairies. Ceci est la conséquence de l'extension des élevages de monogastriques (porcs, volailles) mais aussi de l'évolution de la production bovine, laitière notamment, qui a fait du maïs ensilé le principal fourrage conservé de la ration de base, au détriment du foin, de l'ensilage d'herbe ou d'autres fourrages annuels tels que les choux fourragers et la betterave fourragère.

Rotation des cultures

La rotation des cultures se différencie en deux grands types, déterminés essentiellement par les besoins de la production d'élevage dominante de l'exploitation plus que par les potentialités des sols. Le premier est constitué par des cultures annuelles où les céréales dominent avec des successions de maïs, blé ou maïs, blé, orge et des cultures légumières. Ce type se rencontre sur les exploitations ayant une production porcine ou avicoles, ou encore chez les producteurs de bovins pour leurs parcelles les plus éloignées ou les moins accessibles par les animaux. La succession maïs sur maïs étant assez peu fréquente, c'est avant le maïs, et non pas après comme cela est souvent décrit, que les sols restent complètement nus en automne et hiver en raison de la nécessaire alternance entre les cultures d'hiver (céréales d'hiver) et les cultures de printemps (maïs principalement, betteraves...). De ce fait, la mise en place d'une culture dérobée « piège à nitrates » pourra être envisagée assez facilement entre céréale et maïs (huit mois disponibles) alors que, entre le maïs et la céréale d'hiver suivante, il n'y aura qu'un à deux mois maximum disponibles. Les prairies naturelles subsistent dans les zones trop humides, non drainables, c'est-à-dire en fait à proximité du ruisseau. Dans ce cas, elles sont assez peu exploitées, parfois laissées en friche.

Le deuxième grand type de rotation se rencontre dans les exploitations où la production bovine est dominante. Il est constitué par des prairies temporaires à base le plus souvent de ray-grass anglais (rga), durant trois à cinq ans, exploitées par pâturage, suivies de maïs pendant une ou deux années, puis de céréales (blé, orge). Il existe de nombreuses variantes qui diffèrent par la durée de la prairie (de quatre à sept ans), la nature des espèces (ray-grass anglais, ray-grass d'Italie, ray-grass hybride, associations de ray-grass anglais et de trèfle blanc), le mode de conduite (pâturage seul ou pâturage et fauche), le niveau de fertilisation...

Il en résulte que le terme de « prairies » doit être pris comme un terme générique, représentant une surface occupée par de l'herbe et utilisée pour l'affouragement des animaux, recouvrant en réalité des pratiques très différentes, notamment du point de vue des apports azotés.

Fertilisation des cultures

La fertilisation des cultures est en général excédentaire, en relation avec les fortes quantités d'effluents d'élevage disponibles pour l'épandage et aussi du fait des pratiques d'épandage qui conduisent, pour des raisons technico-économiques, à concentrer les apports d'effluents sur les cultures de maïs au printemps et, dans une moindre mesure, sur les chaumes de céréales ou sur les prairies à l'automne alors que la fertilisation des céréales et des prairies est encore largement couverte par des engrais minéraux azotés achetés (74 t en 1994). Ces pratiques ont des conséquences défavorables sur l'environnement pour au moins deux raisons : d'une part, les quantités d'azote apportées sur les maïs sont très excédentaires par rapport aux besoins de la culture, malgré son bon niveau de rendement, ce qui se traduit par un reliquat azoté important dans les sols à l'automne, avant la reprise du drainage, alors que les rotations pratiquées limitent la mise en place d'une culture dérobée efficace (ci-dessus); d'autre part, les apports d'automne sont moins bien valorisés par les cultures que les apports de fin d'hiver ou de printemps. Par ailleurs, sous ce climat océanique, les températures douces de l'automne et de l'hiver autorisent le maintien d'une activité microbienne dans le sol et contribuent ainsi à augmenter l'azote minéral disponible pour la lixiviation alors que les prélèvements par les cultures sont faibles durant cette période.

Nous observons, ces dernières années, une évolution des pratiques de fertilisation vers une meilleure répartition des effluents d'élevage se traduisant notamment par une augmentation de l'utilisation sur les céréales en fin d'hiver et par la meilleure prise en compte de la valeur fertilisante des effluents dans la détermination des doses. Cependant, l'effet est encore trop limité pour être visible dans les sols et dans l'eau et peut être facilement annulé par une augmentation des élevages et de leurs rejets. Finalement, l'excédent azoté (différence entre les entrées d'azote et les sorties sur le bassin) est très élevé : de l'ordre de 175 t d'azote par an, soit environ 150 kg.ha⁻¹.

La fertilisation en phosphore, comme en potasse, est également excédentaire si l'on considère que la plupart des sols sont maintenant correctement pourvus en ces éléments.

Traitements phytosanitaires

Les pratiques de traitement phytosanitaires ont fait l'objet de plusieurs enquêtes successives auprès des producteurs (1991, 1994 et 1996) et ont concerné surtout la culture du maïs et les herbicides mais pas exclusivement. Plus de quatre-vingts matières actives ont été recensées sur le bassin versant.

En dehors des cultures légumières, peu représentées sur le bassin aujourd'hui, les céréales d'hiver (blé, orges) sont les cultures qui reçoivent le plus de traitements. La pratique courante pour ces cultures est de réaliser, en plus du traitement des semences, un ou deux traitements herbicides dont généralement un à base d'isoproturon, deux traitements

fongicides, zéro à deux traitements insecticides en végétation et souvent un régulateur de croissance. Le maïs reçoit, en plus du traitement des semences, un traitement insecticide au semis et un ou deux herbicides, incluant un apport d'atrazine.

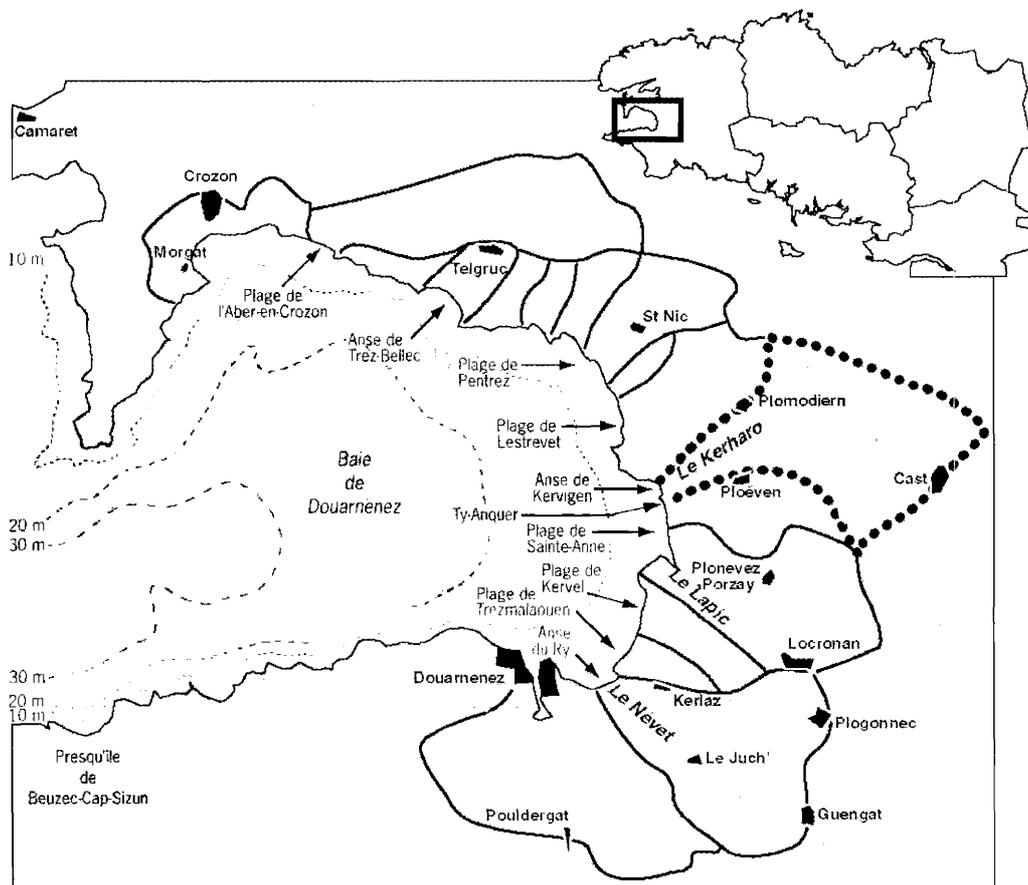
Les prairies ne sont pas traitées à l'exception de leur bordure souvent desherbée sous le fil des clôtures électriques. Cette pratique présente un risque de transfert important vers les fossés qui sont à proximité. Les herbicides utilisés dans ce cas peuvent être très divers et sont difficiles à recenser par enquête. Il peut en effet s'agir d'herbicides « totaux », de débroussaillants ou de mélanges, y compris parfois des restes de traitement d'autres cultures.

Bassin versant du Kerharo et baie de Douarnenez

Baie de Douarnenez

Elle est située à la pointe de Bretagne entre la presqu'île de Crozon et celle de Beuzec-Cap Sizun (fig. 4). Son ouverture, large de 8,7 km, est située à l'ouest. Sa superficie est de 252 km². Les sondes croissent régulièrement d'est en ouest pour atteindre un maximum de 35 m (C.M.) au niveau de son ouverture vers le large.

Figure 4
Baie de Douarnenez.



L'amplitude de la marée est de 5,80 m par coefficient de 95 et de 2,90 m par coefficient de 45. Les courants maximaux instantanés y sont de moins de 10 cm.s^{-1} dans le tiers est de la baie et de 30 cm.s^{-1} dans le tiers ouest (Obaton, 1996). Ils sont dirigés vers l'est au flot et vers l'ouest au jusant. Dans la partie nord, cependant, ils sont respectivement orientés nord-est et sud-ouest. Le courant résiduel est très faible puisque le temps de résidence de l'eau à l'intérieur d'un carré de 500 m de côté est supérieur à cinq jours. L'indice de stratification thermique de la colonne d'eau obtenu par calcul est élevé. L'examen des clichés infrarouges satellitaires indique d'ailleurs que les eaux de la baie se réchauffent précocement au printemps, particulièrement dans la moitié nord (Jégou, 1993). Les températures de surface évoluent généralement entre $9 \text{ }^\circ\text{C}$ et $18 \text{ }^\circ\text{C}$. Dans les premières vagues, cependant, l'amplitude de variation est certainement plus importante.

Le bassin versant total, d'une superficie de 298 km^2 (Anonyme, 1995), délivre ses apports d'eau douce par l'intermédiaire de neuf cours d'eau de faible importance, tous situés sur le bord est de la baie. Leur débit spécifique de crue décennale est compris entre 100 et $150 \text{ l. s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ et celui d'étiage quinquennal entre $0,15$ et $2,5 \text{ l. s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Le débit moyen de l'ensemble est d'environ $4 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ par extrapolation à partir du Névet débouchant près de Douarnenez (Marchal, 1995). Les salinités observées dans la baie sont généralement comprises entre 34 et 35 ‰.

Le bassin versant est principalement occupé par une agriculture intensive. Les flux totaux d'azote apportés par les cours d'eau de mi-avril à mi-juillet 1997 (épisode très sec) ont décliné durant cette période de $1\,155$ à $170 \text{ kg N-NO}_3.\text{j}^{-1}$. En 1998 et pour la même période, cette fois très pluvieuse, ils sont passés de $4\,420$ à $456 \text{ kg N-NO}_3.\text{j}^{-1}$. Les effluents des villes de Douarnenez ($17\,000$ hab.) et de Morgat ($2\,500$ hab.) représentent un flux à peu près constant de 273 kg d'azote total par jour. En saison touristique, ce flux est évidemment plus élevé. Enfin, il est probable qu'épisodiquement des bouffées d'eaux légèrement enrichies en nutriments, provenant de la Loire et du Blaver ou du sud de la mer d'Irlande, pénètrent dans la baie (Lazure, comm. pers.).

Les fonds marins sont généralement meubles composés de sables fins (100 à $200 \mu\text{m}$) auxquels s'ajoutent des particules fines ($<63 \mu\text{m}$) en proportion croissante avec la profondeur. Une description détaillée de cet aspect est donnée par plusieurs auteurs (Chassé & Glémarec, 1976; Augris *et al.*, 1988; Bourgoïn *et al.*, 1991).

La macrofaune benthique est dominée par des mollusques bivalves et des échinodermes, ophiures, oursins et étoiles de mer (pour une description détaillée des peuplements, voir Chassé, 1972 et Guillou, 1980). La faible circulation résiduelle existant dans la baie favorise fortement les phénomènes d'eutrophisation. Des floraisons intenses de phytoplancton ont eu lieu à plusieurs reprises, dont certaines furent à l'origine de mortalités importantes de salmonidés en élevage près de Douarnenez en 1987 et 1995. C'est le site du réseau de surveillance de phy-

toplancton toxique (Réphy) qui est le plus fréquemment atteint en Bretagne (chaque année depuis 1984, année de création).

De plus et surtout, les plages du pourtour de la baie entre Douarnenez et la pointe de l'Aber-en-Crozon sont le siège de marées vertes importantes et récurrentes. Les biomasses instantanées estimées entre 1995 et 1998 se situent entre 120 et 3 390 t (fig. 5). Les ramassages cumulés par année concernent un cubage allant de quelques centaines à 14 000 m³ (fig. 6). Cette grande variabilité interannuelle a pu être également observée à très court terme, d'une basse mer à la suivante : une plage couverte d'ulves peut devenir totalement dégagée douze heures après et inversement, sans qu'il y ait un vent fort ou une agitation importante de la mer. Cette instabilité n'avait pas été rencontrée dans les baies de Saint-Brieuc et de Lannion étudiées précédemment (Ménescuen & Piriou, 1995 ; Dion *et al.*, 1996). La raison en est le caractère peu découpé et presque linéaire de la bordure est de la baie de Douarnenez à basse mer, qui piège peu les proliférations d'algues. De plus, les importantes biomasses d'ulves observées plus au large en 1998 entre 2 et 18 m de profondeur laissent envisager la possibilité d'échanges avec ce stock offshore.

Figure 5
Biomasses d'ulves
observées ponctuellement
en baie de Douarnenez
(en milliers de tonnes).

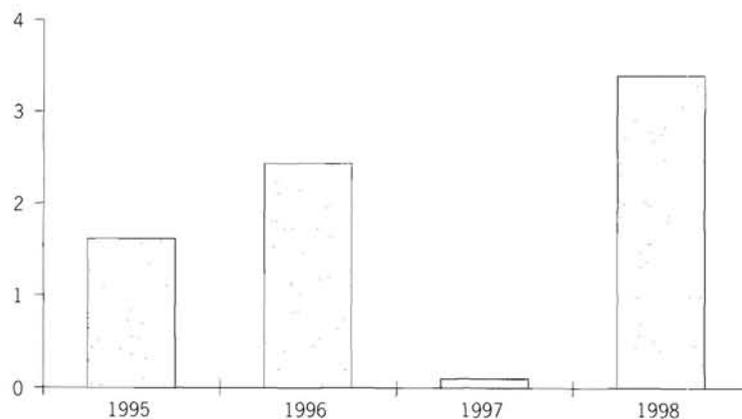
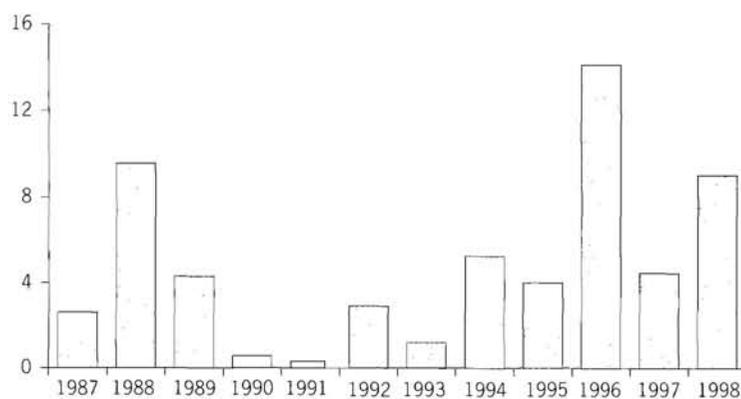


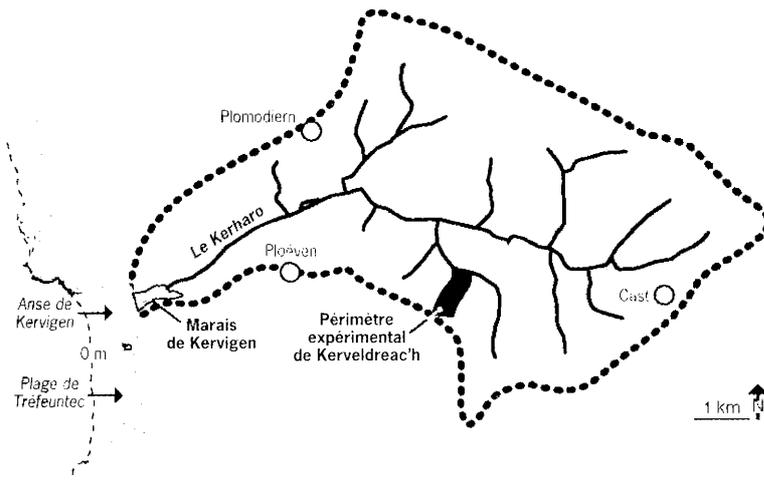
Figure 6
Cubages d'ulves ramassées
cumulés sur l'été
(en milliers de m³).



Bassin versant du Kerharo

Le bassin versant atelier du Kerharo est situé sur le bord centre-est de la baie de Douarnenez. Il y débouche sur la plage de Kervigen (fig. 7). De faible superficie (45 km²), comme la plupart des autres bassins bordant la baie, il présente une orientation moyenne est-ouest. La quasi-totalité de la surface est partagée entre trois communes, Plomodiern, Ploéven et Cast, dont les bourgs sont situés sur la ligne des crêtes. Cette dernière présente une altitude d'environ 200 m dans sa partie nord et de 50 à 120 m au sud. La déclivité moyenne de l'ensemble du bassin est de 5 % (Bidois, 1995).

Figure 7
Bassin versant atelier
du ruisseau du Kerharo.



L'essentiel du sous-sol est constitué de schistes briovériens, avec cependant au nord une bande de grès et de schistes durs qui forment le relief. La majorité des sols est de profondeur moyenne (de 40 à 80 cm) et riche en matière organique. Des sols moins profonds et plus pentus (de 8 à 12 %) existent au nord, et de plus profonds au sud et à l'ouest ; 23 % des sols du bassin sont de type hydromorphe.

La population du bassin est estimée à 2 500 habitants (Cuillandre, 1998). L'activité agricole est largement dominante sur le bassin. La surface agricole utile (SAU) est estimée à 3 426 ha, soit 76 % de la surface. L'agriculture est à base de bovins-lait et de porcs. Le remembrement a été effectué dans les années soixante. Environ 80 exploitations sont présentes aujourd'hui sur le bassin. Les statistiques agricoles de l'Adasea du Finistère concernant les trois communes signalent que les exploitations sont en majorité individuelles et possèdent une SAU de 40 à 45 ha (50 à 60 ha pour celles qui sont en société). Le bassin versant du Kerharo appartient au canton de Châteaulin qui est classé en zone d'excédent structurel, c'est-à-dire produisant par les déjections de ses élevages plus de 170 kg d'azote organique par hectare de SAU épandable et par an. Les communes de Plomodiern, Ploéven et Cast présenteraient des charges bien supérieures, comprises entre 240 et 270 kg d'azote organique par hectare de SAU épandable et par an (Bidois, 1995).

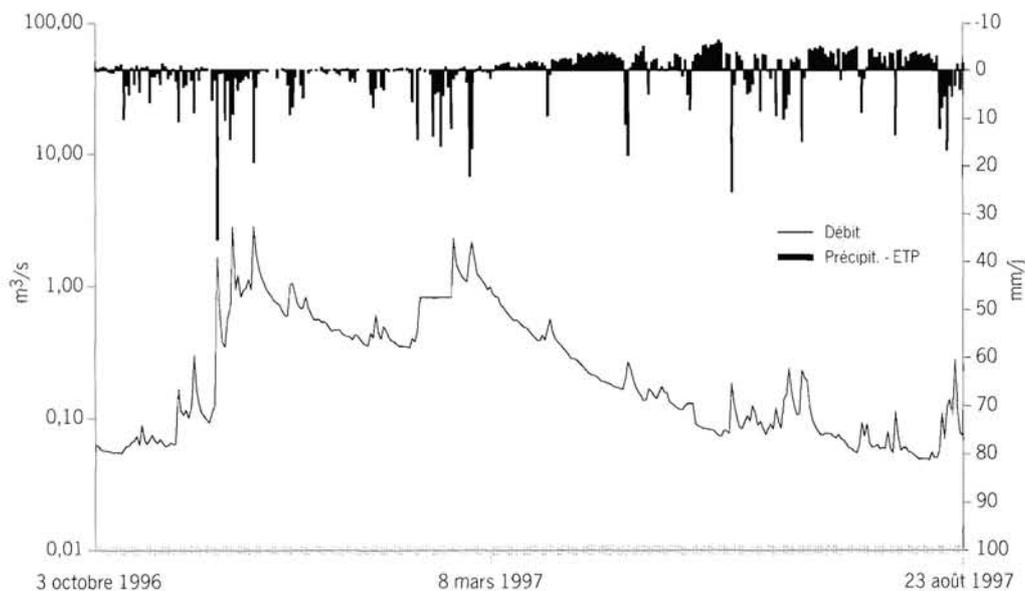
Le climat local est océanique. La pluviométrie annuelle est d'environ 1 000 mm, dont 600 pendant la période hivernale (Bidois, 1995). La lame d'eau drainante est de 560 mm de septembre à fin avril. La période habituelle de déficit hydrique s'étend de mai à mi-août et sa hauteur cumulée est de 100 mm environ. La clémence des températures minimales permet aux réactions biochimiques des sols de se poursuivre en hiver (minéralisation de la matière organique, dénitrification, réorganisation). L'évapotranspiration potentielle culmine à près de 100 mm/mois en juin et juillet.

Ruisseau de Kerharo

Le cours principal du Kerharo est long de 12 km. Conjointement avec ses affluents, l'ensemble présente un linéaire de contact avec les zones hydromorphes de 49 km en saison estivale, passant à 125 km en saison humide (Bidois, 1995).

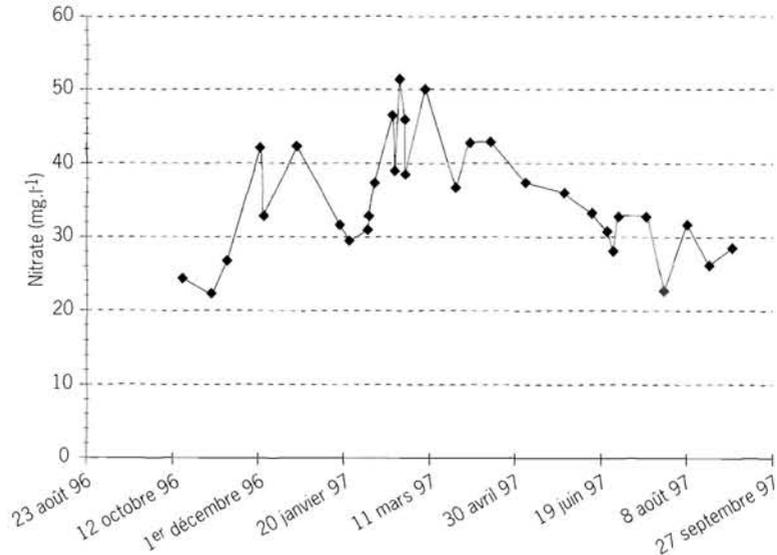
Durant la saison hydrologique 1996-1997, le débit moyen enregistré à Saint-Nicodème (à 1,2 km de l'exutoire) a été de 362 l. s^{-1} , soit un débit spécifique de $8 \text{ l. s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (d'après les données Inra). La nature schisteuse de la plus grande partie du sous-sol génère une irrégularité saisonnière notable des débits. Moyennés sur dix jours, les débits sont d'environ 60 l. s^{-1} en étiage et $1\,300 \text{ l. s}^{-1}$ en crue (fig. 8).

Figure 8
Précipitations - évapotranspiration potentielle ETP (= pluies efficaces) et débit à proximité de l'exutoire du Kerharo (échelle logarithmique), d'octobre 1996 à août 1997. La période de déficit hydrique a commencé vers le 8 mars.



Les concentrations de nitrate varient entre 20 mg.l^{-1} en étiage et 50 mg.l^{-1} en fin d'hiver (fig. 9). Sur les quatre années de suivi printanier, les flux arrivant au centre-est de la baie montrent leur décroissance habituelle au cours du printemps-été et leur irrégularité interannuelle. Avec le Névet et le Lopic, le Kerharo constitue le trio de ruisseaux de la zone dont les flux azotés sont les plus importants et à peu près équivalents.

Figure 9
Concentrations du ruisseau
du Kerharo en nitrate
(mg.l⁻¹) d'octobre 1996
à septembre 1997
(d'après données Inra).



Le marais de Kervigen

Le marais de Kervigen est situé sur le bas cours du Kerharo, juste en arrière du cordon dunaire qui le sépare de la plage. Sa superficie est de 23 ha. Il est classé en zone ND dans les plans d'occupation des sols de Plomodiern et Ploéven. La plus grande partie de la surface est recouverte d'une roselière dense; une fraction située à l'est porte des saules et des prairies humides (Cuillandre, 1998). L'ensemble repose sur une ancienne tourbière. Auparavant, le Kerharo passait dans le marais. Mais, en 1960, un essai d'assèchement et de mise en valeur agricole de ces bas-champs conduisit à dériver et canaliser le Kerharo près du bord sud du marais, et à bâtir un aqueduc pour assurer son débouché en mer et empêcher les remontées d'eau marine. L'humidité persistante des terrains fit échouer cette entreprise.

Récemment, pour abattre les flux azotés arrivant à la mer, des essais de rétablissement temporaire et partiel du cours d'eau dans le marais ont été tentés à plusieurs reprises avec succès (Piriou *et al.*, dans cet ouvrage). Le conseil général du Finistère s'est porté acquéreur du marais et de terrains voisins pour réhabiliter le site et pérenniser sa fonction printanière et estivale de dénitrification, dans le but de juguler les marées vertes des plages voisines.

Le site expérimental de Kerveldreac'h

Plusieurs études et expérimentations ont été effectuées sur les terrains d'une exploitation agricole du bassin versant (fig. 7). Sur le flanc sud de celui-ci, à Kerveldreac'h, ont ainsi été menés des travaux concernant la dénitrification de surface par aménagement de zone humide (Bidois *et al.*, dans cet ouvrage) et le fonctionnement hydrogéologique local, en particulier la dénitrification profonde et sa composante bactérienne

(Faillat *et al.*, dans cet ouvrage). La roche sous-jacente est un schiste briovérien fissuré, situé à 10 à 15 m de profondeur, sous le sol et les altérites. La pente des terrains est orientée au nord. Ils forment une bande à peu près rectangulaire (environ 850 m x 350 m), de grand axe parallèle à la pente. Celle-ci est de 4 à 5 % en moyenne. La majorité des parcelles est drainée. Y sont cultivés du maïs, des céréales, des légumineuses et des prairies. L'exploitant pratique l'élevage de bovins et de porcs.

Références bibliographiques

- Anonyme, 1995. Atlas hydrologique de la Bretagne (1/500 000). Publié par l'agence de l'Eau Loire-Bretagne, DIREN Bretagne, Saunier Eau et Environnement.
- Augris C., Houlgatte E., Rolet J., 1988. Carte des sédiments superficiels et carte géologique de la baie de Douarnenez - partie septentrionale (1/15 000). Ifremer.
- Bidois J., 1995. Bassin versant du Kerharo (Finistère). Rapport intermédiaire Inra n° 2 au programme « Bassins versants », 58 p.
- Bourgouin, Guillou M., Glémarec M., 1991. Environmental instability and demographic variability in *Acrocnida brachiata* (*Echinodermata*: *Ophiuroidea*) in Douarnenez Bay (Brittany: France). P.S.Z.I.: Mar. Ecol., 12 (2), 89-104.
- Cann C., 1996. Variations des teneurs en azote de quelques cours d'eau bretons. In: Hydrologie dans les pays celtiques, Les colloques, 8-11 juillet 1996, Rennes (France). Inra éditions. Éditeurs : Mérot P., Jigorel A.
- Cann C., 1997. Étude du transfert des triazines des sols vers les eaux superficielles en vue de sa modélisation. Exemple du bassin versant du Coët-Dan. Étude réalisée par le Cemagref avec le concours financier du ministère de l'Agriculture et de l'agence de l'Eau Loire-Bretagne, septembre 1997.
- Cann C., Villebonnet C., 1993. Suivi de la qualité de l'eau. Étude menée sur le bassin versant expérimental du Coët-Dan (Morbihan). Cemagref - groupement de Rennes, janvier 1997.
- Chassé C., 1972. Économie sédimentaire et biologique des estrans meubles des côtes de Bretagne. Thèse d'État, université Paris VI, 293 p.
- Chassé C., Glémarec M., 1976. Atlas des fonds meubles du plateau continental du golfe de Gascogne. 6 cartes biosédimentaires.
- Chevry C., 1998. Agriculture intensive et qualité des eaux. Inra éditions, Science Update, 297 p.
- Comlan P., 1996. Enrichissement en phosphore des sols d'un bassin versant. Ingénieries - EAT, 7, 13-20. Cemagref éditions, septembre 1996.

- Cuillandre J.-P., 1998. Étude relative à l'actualisation des connaissances sur le marais de Kervigen (Plomodiern-Ploéven). Rapport au conseil général du Finistère, 46 p.
- Curmi P., Bidois J., Bourrié G., Cheverry C., Durand P. *et al.*, 1997. Rôle du sol sur la circulation et la qualité des eaux au sein de paysages présentant un domaine hydromorphe. Incidences sur la teneur en nitrate des eaux superficielles d'un bassin versant armoricain. Étude et gestion des sols, vol. 4, n° 2, Association française pour l'étude du sol (Afes), 1997.
- Dion P., Le Bozec S., Golven P., 1996. Factors controlling the green tides in the bay of Lannion (France). *In: Second EUMAC Workshop. Rijnstabil J.W., Kamermans P., Nienhuis P.H. (eds.)*, 121-137.
- Gascuel-Odoux C., Cros-Cayot S., Clément M., Curmi P., Gasnier F. *et al.*, 1995. Le ruissellement et les transferts de surface. Actes du colloque « Qualité des eaux et produits phytosanitaires : du diagnostic à l'action. Bilan de 5 années d'étude et propositions de la Corpep en Bretagne ». Bretagne Eau Pure (éd.), Rennes.
- Goenadi S., 1986. Étude hydrologique du bassin versant de Naizin avant et après remembrement. Mémoire de DAA « Hydraulique et climatologie agricole », 1985-1986. Cemagref Rennes - Ensar (chaire de génie rural).
- Guillou J., 1980. Les peuplements de sables fins du littoral Nord-Gascogne. Thèse de 3^e cycle, univ. de Bretagne occidentale, 203 p.
- Jégou A.-M., 1993. Cartographie de la température de surface de la mer sur les côtes bretonnes. Ifremer/Del/93-12, 41 p.
- Marchal P., 1995. Schéma d'aménagement et de gestion de la rivière du Névet. Première étape. Rapport à la ville de Douarnenez, 26 p.
- Ménesguen A., Piriou J.-Y., 1995. Nitrogen loadings and macroalgal (*Ulva* sp.) mass accumulation in Brittany (France). *Ophelia*, 42, 227-237.
- Obaron D., 1996. Caractéristiques hydrodynamiques du littoral sud Bretagne. Rapport Ifremer/Del/96-05, 23 p.
- Turpin N., 1996. Trajectoires des exploitations bovines sur le bassin versant de Naizin entre 1991 et 1994. Contrat de plan État-Région Bretagne. Programme « Bassins versants et transmission des pollutions au littoral » 1994-1998. Rapport d'étape 1995. Flux de nutriments dans le bassin versant représentatif expérimental (BVRE) du Coët-Dan. Volet pratiques agricoles.
- Walter C., Curmi P., 1998. Les sols du bassin versant du Coët-Dan : organisation, variabilité spatiale et cartographie. *In: Agriculture intensive et qualité des eaux*. Inra éditions. Cheverry C. (ed).