



**Département de la Loire Atlantique
Entente pour le Développement de l'Erdre Navigable**

Etude globale des cyanobactéries dans l'Erdre



Synthèse sur le fonctionnement de l'Erdre

E 02102 – Mai 2004



11 boulevard Pershing
75858 Paris Cedex 17
Téléphone : (1) 45 72 97 60
e-mail : setude@setude.com

FICHE QUALITE
Syndicat Mixte EDEN
Etude globale sur les cyanobactéries dans l'Erdre
E02102

Interlocuteurs : Mme Cormerais

Contrat : Marché notifié le 30/09/02

Validation qualité

Etape	Nom	Date	Signature
Réalisé par	S. JEANTILS /S.PINOT	28 Mai 2004	
Vérifié par	S. PINOT	28 Mai 2004	
Approuvé par	Y. URVOY	28 Mai 2004	

Evolutions du document

Version	Nombre de pages	Date	Type de document	Principales modifications
1	20	avril 2004	provisoire	
2	20	mai 2004	Définitif	Intégration des remarques

Diffusion :

Mme CORMERAIS, EDEN,
M. DANTEC, EDEN

L'Erdre, souvent appelée la plus belle rivière de France, a de tout temps été pour Nantes et ses environs un atout majeur ; elle constitue un réel attrait tant au niveau du plan d'eau que de la qualité des habitats riverains. Depuis l'été 2001, les teneurs en cyanobactéries ont franchi les seuils préconisés par l'Organisation Mondiale de la Santé ce qui a entraîné l'interdiction temporaire puis la limitation des activités nautiques sur ce plan d'eau.

Face à ce problème de santé publique et souhaitant conserver à la rivière son caractère de base de sports et de loisirs, fondamental pour l'agglomération Nantaise et ses environs, le Syndicat Mixte de l'Entente pour le Développement de l'Erdre Navigable a décidé de lancer une étude approfondie à caractère technique et scientifique sur les cyanobactéries pour mieux comprendre les mécanismes d'apparition et de développement et trouver les moyens de les combattre.

L'étude s'articule autour de trois axes :

- Lot 1 : Etude des apports endogènes et exogènes (phosphore et azote) ;
- Lot 2 : Etude sur le développement des cyanobactéries ;
- Lot 3 : Etude des toxines liées aux cyanobactéries.

Le présent document présente la synthèse des résultats du lot 1, concernant l'état initial de l'Erdre, complétée des connaissances acquises après un an de suivi de la qualité de la rivière.

L'ensemble des observations recueillies montre l'Erdre comme rivière en déséquilibre écologique, soumise à une eutrophisation relativement forte, dont la gestion doit impérativement et rapidement être prise en main pour préserver et remettre en état le fort potentiel naturel qui subsiste encore sur son bassin.

Les paragraphes suivants vont présenter les différents mécanismes qui régissent le fonctionnement de l'Erdre, et qui conduisent au déséquilibre observé :

- un fonctionnement hydrologique annuel en deux phases distinctes ;
- un transfert accéléré des eaux de ruissellement, sans zones d'interface ;
- des apports nutritifs externes excédentaires ;
- un envasement important, mais un relargage de nutriments négligeable.

UN FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE EN DEUX PHASES DISTINCTES

Le cours d'eau de l'Erdre, long d'environ 70 km, est un affluent de rive droite de la Loire. La physionomie du cours d'eau évolue fortement d'amont en aval.

En amont de Nort sur Erdre, l'Erdre se présente comme un cours d'eau classique en régime fluvial marqué.

A l'aval de Nort sur Erdre, il prend l'allure d'un grand plan d'eau dont le niveau est principalement établi par des ouvrages de régulation implantés à Saint Félix. Par ailleurs, l'Erdre est alimentée par de nombreux affluents comme le Cens, le Gesvres, l'Hocmard et le canal de Nantes à Brest.

Les simulations hydrauliques montrent des vitesses très faibles la majeure partie du temps ; les secteurs où les vitesses sont les plus fortes sont très localisés sur quelques singularités. Elles indiquent aussi un fort temps de transfert amont-aval des eaux de l'Erdre navigable sur la base du débit moyen annuel. Le temps de séjour moyen de l'eau sur le bassin versant est de 30 jours.

L'écluse Saint-Félix, qui ferme la rivière à Nantes, a pour consigne de gestion de maintenir le niveau de navigation de 4,34 m NGF IGN69. La conséquence de ceci est, en été, une fermeture de l'écluse, qui intervient à partir du moment où le niveau baisse au dessous de cette cote, jusqu'à ce que le niveau remonte suffisamment. La période de fermeture varie selon la pluviométrie des années, mais intervient généralement entre les mois de mai et septembre.

Ainsi, le temps de séjour dans la rivière, qui est d'environ 10 jours au mois de janvier, devient infini en été, dès lors que l'écluse est fermée.

Il en résulte 2 périodes distinctes de fonctionnement de la partie aval de la rivière. En amont de Nort-sur-Erdre, la rivière continue à couler durant toute l'année, écluse fermée ou non.

Durant la période d'ouverture de l'écluse, l'Erdre fonctionne comme une rivière, les nutriments et particules sont transportés par l'eau jusqu'à la confluence avec la Loire.

Dès la fermeture de l'écluse, la partie aval fonctionne comme un plan d'eau, qui piège les nutriments présents, et où se déversent encore de faibles débits estivaux. La sédimentation intervient de façon accrue à cette période dans le plan d'eau.

En l'absence de véritable courant à cette période, les seuls mouvements de l'eau sont les mouvements liés au vent, aux échanges thermiques et au brassage par les bateaux.

UN TRANSFERT ACCELERE DES EAUX DE RUISSELLEMENT, SANS ZONES D'INTERFACE.

Le bassin versant de l'Erdre, malgré sa très faible pente moyenne, est caractérisé par une vitesse de transfert élevée des eaux météoriques vers le réseau hydrographique.

Les travaux d'aménagement du territoire menés depuis la fin des années 1970 ont eu un impact très marqué sur la circulation de l'eau sur le bassin versant :

- ⇒ le linéaire de cours d'eau a été fortement réduit par des recalibrages de cours d'eau, et des suppressions de fossés (une étude de 2001 a estimé que près de 7 km de linéaire avaient disparu dans le courant des années 1980) ;
- ⇒ d'importantes surfaces ont été remembrées, ce qui a conduit à supprimer des haies et zones de rétention de l'eau ;
- ⇒ le drainage effectué dans cette période a également contribué à accélérer la circulation de l'eau, en asséchant les vallées humides ;
- ⇒ des ouvrages du cours de l'Erdre ont été agrandis afin de permettre le passage de crues plus importantes.

Suite à ces travaux, il a été observé une augmentation de la fréquence des inondations sur la partie amont du bassin versant (en particulier communes de Saint-Mars-la-Jaille, Bonnœuvre et Joué-sur-Erdre. L'érosion des sols ruraux est également fortement accrue par ces travaux, ce qui facilite particulièrement le transfert du phosphore lié aux particules de sol. Lors d'événements pluvieux d'intensité moyenne, une forte turbidité est observée à la confluence d'un certain nombre de petits affluents de l'Erdre.

Le réseau hydrographique actuel de l'Erdre est favorable à un transfert rapide de nutriments vers la rivière, et donc à des phénomènes d'eutrophisation dans le plan d'eau où ces nutriments vont se concentrer une fois l'écluse fermée.

DES APPORTS NUTRIMENTAIRES EXTERNES EXCEDENTAIRES

Les apports en nutriment dans l'ERDRE proviennent essentiellement de deux sources distinctes :

- ❶ Le monde urbain et son assainissement insuffisant
- ❷ Le monde rural, avec d'une part des fuites ponctuelles d'effluents au niveau des bâtiments d'élevage mal équipés, et d'autre part un transfert trop rapide des eaux pluviales, entraînant avec lui de façon diffuse les nutriments présents dans le sol vers le réseau hydrographique.

Le tableau suivant résume la répartition des flux estimés entre les différentes sources de phosphore et d'azote :

répartition selon les périodes	Flux en phosphore		Flux en azote	
	kg/été	kg/hiver	kg/été	kg/hiver
Stations d'épuration	4 550 kg	4 550 kg	11 565 kg	11565 kg
Taux raccordement	3 460 kg	3 460 kg	13 010 kg	13010 kg
Assainissement non collectif	1 460 kg	1 460 kg	5 490 kg	5490 kg
Déversements de temps de pluie	300 kg	1 000 kg	1 200 kg	4320 kg
Fuites des bâtiments d'élevage	2 700 kg	14 300 kg	136 380 kg	545 520 kg
Ruissellement des surfaces rurales	2 700 kg	14 300 kg	136 380 kg	545 520 kg
Total	15 170 kg	39 070 kg	304 025 kg	1 125 425 kg

Les apports nutritifs liés à l'assainissement ont pour origine les rejets :

- ⇒ des unités d'épuration ;
- ⇒ des particuliers non raccordés à la station d'épuration ;
- ⇒ de l'assainissements non collectifs ;
- ⇒ des by-pass des postes de refoulement et des déversoirs d'orages en temps de pluie.

Seules 15 % des stations d'épurations présentes sur le bassin versant de l'Erdre traitent le phosphore bien que l'Erdre soit classée en zone sensible. Le rejet journalier en phosphore des stations d'épuration du bassin versant représente 25 kg/j de P, soit 4 550 kg P par été ou par hiver.

La population non raccordée à un système d'assainissement collectif représente 35 % de la population des communes rejetant sur le bassin versant. Elle correspond à un rejet journalier de phosphore dans le milieu naturel de 27 kg/j.

75 % de cette population (soit 25 % de la population des communes rejetant sur le bassin versant) devrait être raccordée à un système d'assainissement collectif. En effet les taux de raccordement des différentes stations d'épuration du bassin versant sont faibles et varient en moyenne de 45 à 65 %. En terme de flux de phosphore, les mauvais raccordements représentent 19 kg/j de phosphore au milieu naturel.

En dehors des zones d'assainissement collectif, les installations individuelles de traitement des eaux usées fonctionnent dans des conditions d'efficacité très variables. Les flux restitués au milieu naturel issus de l'assainissement non collectif proprement dit sont estimés à 8 kg/j de phosphore.

Les débordements de temps de pluie sur les déversoirs d'orage ou les by-pass des postes de refoulement ont lieu principalement sur la partie aval de l'Erdre navigable. En 2000-2001, les volumes d'eau déversés dans l'Erdre en été sont de 500 000 m³, soit un flux de phosphore estimé à 300 kg, et de 1 800 000 m³ pour l'hiver, soit 1 000 kg de phosphore. Les eaux déversées sont des eaux usées (eaux brutes) diluées par les eaux de ruissellement.

La partie rurale du bassin contribue aux apports en phosphore dans la rivière à hauteur de 37 t en hiver, et 5,4 t en été. Les deux principales sources sont :

- ⇒ les fuites des bâtiments d'élevage ;
- ⇒ les pollutions diffuses liées au ruissellement ou à l'infiltration des eaux de pluie chargées en nutriments.

La part de chacune de ces sources est difficilement quantifiable, en l'absence de données exploitables sur le bassin versant de l'Erdre.

Les pollutions issues des bâtiments d'élevage sont liées à des capacités de stockage d'effluents insuffisantes ou à des installations défectueuses. Les pollutions diffuses sont particulièrement importantes en hiver, où les précipitations provoquent un ruissellement de surface, peu atténué par la configuration du bassin ; le couvert végétal est faible à cette saison, et il existe très peu de zones de contact susceptibles de ralentir le transfert de l'eau.

Des études réalisées sur d'autres bassins versants pour quantifier les parts respectives de ces deux sources de pollution ont constaté une prépondérance de la part issue des bâtiments d'élevage, variant entre 60 % et 80 % selon les bassins observés.

Pour le bassin de l'Erdre, il a été considéré que les flux liés au monde rural étaient issus pour moitié des fuites des bâtiments d'élevage et pour moitié des pollutions diffuses.

Le tableau ci-dessous présente la répartition des flux en phosphore par sous bassins versant.

	de la source à Bonnoeuvre	de Bonnoeuvre à Vault	Amont de l'erdre Navigable	Marais de mazerolles	Hocmard et Charbonneau	Agglomération nantaise	Total des flux actuels sur le bassin versant de l'Erdre
Source du phosphore	kg/été	kg/été	kg/été	kg/été	kg/été	kg/été	kg/été
Stations d'épuration	1 543 kg	410 kg	1 422 kg	374 kg	281 kg	522 kg	4 552 kg
Taux raccordement	476 kg	437 kg	476 kg	617 kg	309 kg	1 144 kg	3 459 kg
Assainissement non collectif	190 kg	175 kg	266 kg	247 kg	123 kg	458 kg	1 460 kg
Déversements de temps de pluie	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	300 kg	300 kg
Fuites des batiments d'élevage	1 168 kg	544 kg	248 kg	304 kg	168 kg	296	2 728 kg
Ruissellement des surfaces agricoles	1 168 kg	544 kg	248 kg	304 kg	168 kg	296 kg	2 728 kg
Total	4 545 kg	2 110 kg	2 660 kg	1 846 kg	1 049 kg	3 016 kg	15 226 kg

	kg/hiver	kg/hiver	kg/hiver	kg/hiver	kg/hiver	kg/hiver	kg/hiver
Stations d'épuration	1 543 kg	410 kg	1 422 kg	374 kg	281 kg	522 kg	4 552 kg
Taux raccordement	476 kg	437 kg	476 kg	617 kg	309 kg	1 144 kg	3 459 kg
Assainissement non collectif	190 kg	175 kg	266 kg	247 kg	123 kg	458 kg	1 460 kg
Déversements de temps de pluie	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	1 000 kg	1 000 kg
Fuites des batiments d'élevage	6 132 kg	2 856 kg	1 302 kg	1 596 kg	882 kg	1 554	14 322 kg
Ruissellement des surfaces agricoles	6 132 kg	2 856 kg	1 302 kg	1 596 kg	882 kg	1 554 kg	14 322 kg
Total	14 473 kg	6 734 kg	4 768 kg	4 430 kg	2 477 kg	6 232 kg	39 114 kg

Les flux hivernaux des différents sous bassins versants sont majoritairement issus de la partie rurale. Ainsi, l'importance de ces flux montre une insuffisance au niveau des bâtiments d'élevage et au niveau de la rétention des nutriments notamment dans les sous bassins versants amont. Par contre, les flux estivaux en phosphore sont principalement liés aux flux d'assainissement.

Sur le sous bassin versant "de la source à Bonnœuvre", les flux estivaux en phosphore issus de l'assainissement sont importants. Les rejets des stations d'épuration, en particulier, représentent plus de 30 % du flux de phosphore estival. Cette partie du bassin de l'Erdre est en effet caractérisée par des stations de petite taille, de types lagunes, sans traitement spécifique pour le phosphore. Sur le sous bassin "Amont de l'Erdre Navigable", ce phénomène est amplifié par le rejet de la station défectueuse de Ligné.

Sur les sous bassins versants de l'Erdre navigable, les flux en phosphore issus de l'assainissement prédominent sur les flux issus de l'espace rural. Des quantités importantes de phosphore issues des défauts de raccordement et des installations d'assainissement non collectif sont émises sur les bassins versants de l'agglomération Nantaise et des marais de Mazerolles.

De plus, un flux de pollution lié aux débordements de temps de pluie des réseaux unitaires existe sur le sous bassin versant de l'Agglomération Nantaise.

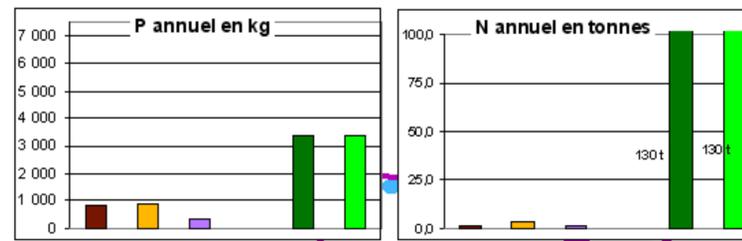
Les flux d'azote par sous bassin versant sont largement dominés par les apports liés au monde rural. La répartition par source de pollution et par sous bassin versant est présentée dans le tableau suivant :

	De la source à Bonnœuvre	de Bonnœuvre à Vault	Amont de l'Erdre Navigable	Marais de mazerolles	Hocnard et charbonneau	Agglomération nantaise	Total des flux actuels sur le bassin versant de l'Erdre
Source de l'azote	kg N/ été	kg N/ été	kg N/ été	kg N/ été	kg N/ été	kg N/ été	kg N/ été
Stations d'épuration	3 130 kg	747 kg	3 510 kg	1 782 kg	774 kg	1 620 kg	11 563 kg
Taux raccordement	1 800 kg	1 646 kg	1 774 kg	2 314 kg	1 170 kg	4 307 kg	13 011 kg
Assainissement non collectif	720 kg	658 kg	994 kg	926 kg	468 kg	1 723 kg	5 488 kg
Déversements de temps de pluie	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	1 200 kg	1 200 kg
Fuites des bâtiments d'élevage	53 920 kg	25 760 kg	13 250 kg	16 900 kg	9 930 kg	16 620 kg	136 380 kg
Ruissellement des surfaces agricoles	53 920 kg	25 760 kg	13 250 kg	16 900 kg	9 930 kg	16 620 kg	136 380 kg
Total	113 490 kg	54 571 kg	32 778 kg	38 822 kg	22 272 kg	42 090 kg	304 023 kg

Source de l'azote	kg N/ hiver	kg N/ hiver	kg N/ hiver	kg N/ hiver	kg N/ hiver	kg N/ hiver	kg N/ hiver
Stations d'épuration	3 130 kg	747 kg	3 510 kg	1 782 kg	774 kg	1 620 kg	11 563 kg
Taux raccordement	1 800 kg	1 646 kg	1 774 kg	2 314 kg	1 170 kg	4 307 kg	13 011 kg
Assainissement non collectif	720 kg	658 kg	994 kg	926 kg	468 kg	1 723 kg	5 488 kg
Déversements de temps de pluie	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg	4 320 kg	4 320 kg
Fuites des bâtiments d'élevage	215 680 kg	103 040 kg	53 000 kg	67 600 kg	39 720 kg	66 480 kg	545 520 kg
Ruissellement des surfaces agricoles	215 680 kg	103 040 kg	53 000 kg	67 600 kg	39 720 kg	66 480 kg	545 520 kg
Total	437 010 kg	209 131 kg	112 278 kg	140 222 kg	81 852 kg	144 930 kg	1 125 423 kg

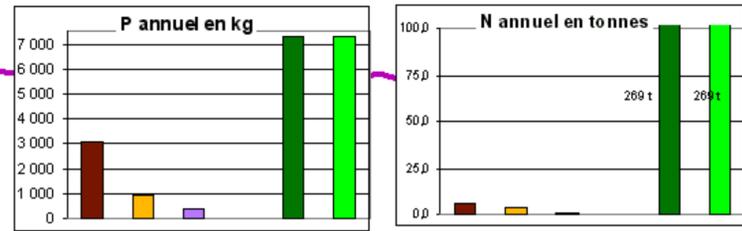
La carte jointe ci-après présente le bilan des flux en azote et en phosphore par sous bassin versant. Sur les bassins versants amont, les flux en azote et phosphore sont dominés par les apports du monde rural.

Syndicat Mixte EDEN
 Etude globale sur les cyanobactéries dans l'Erdre
 Les flux d'azote et phosphore par sous-bassins



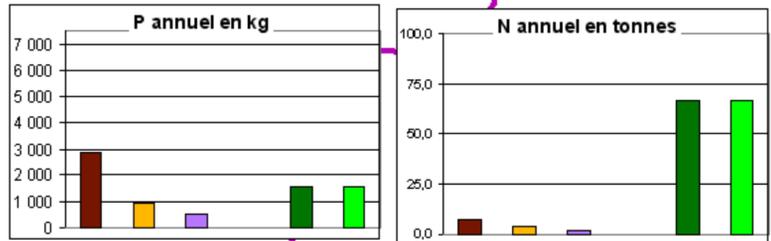
Erdre de Bonnoeuvre à Vault

Erdre amont

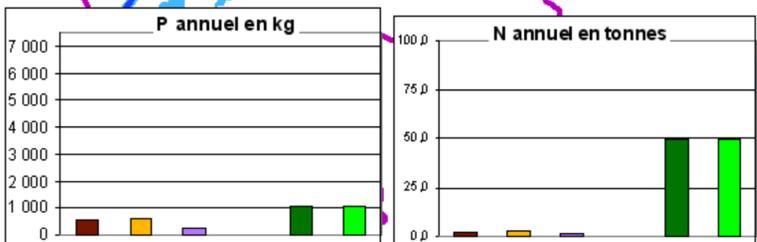


Erdre de la source à Bonnoeuvre

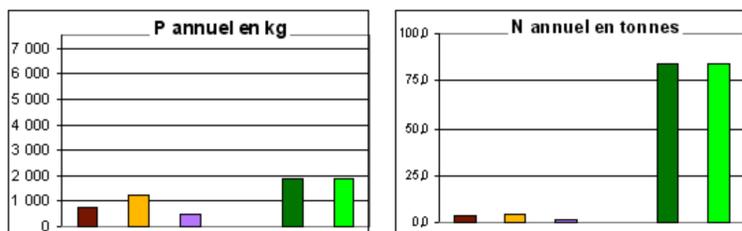
Erdre navigable



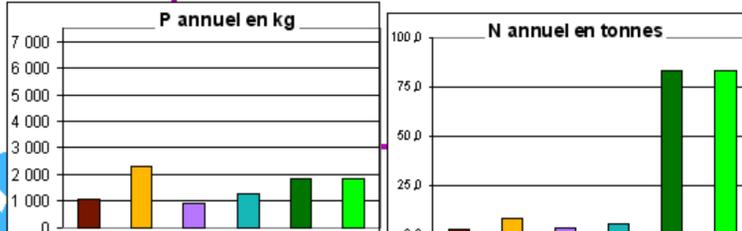
Amont de l'Erdre navigable



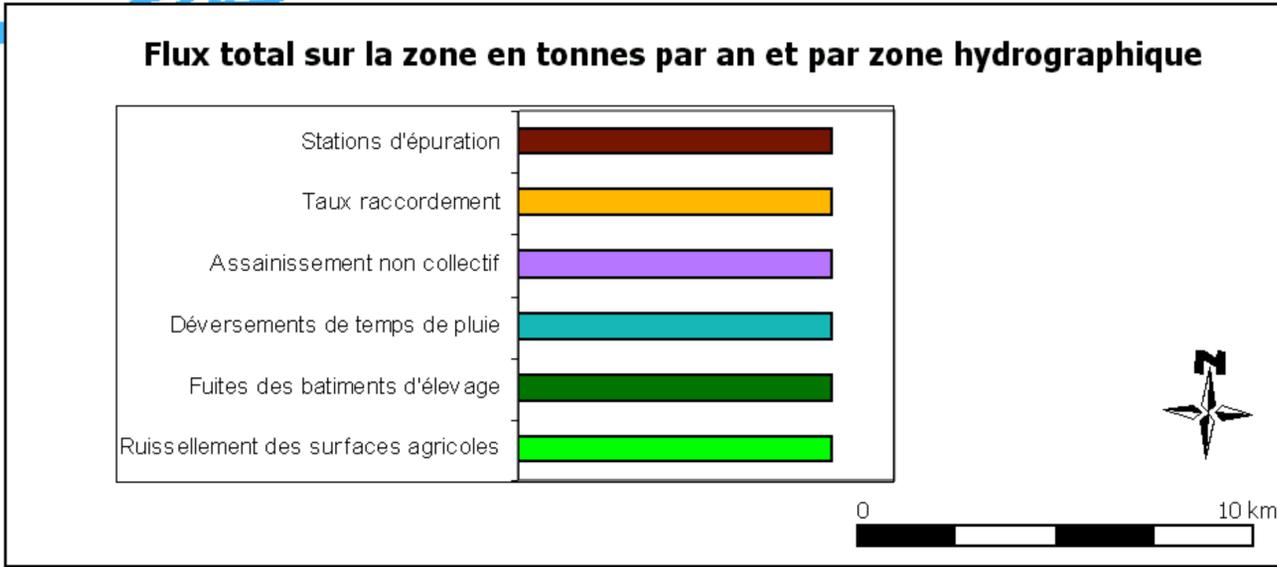
Hocmard et Charbonneau



Canal de Nantes à Brest, Marais de Mazerolles



Agglomération Nantaise



Sources : Recensement agricole 2000 (AGRESTE), SATESE 44 et 49 (2002), AELB, BD Carthage (IGN)

UN RELARGAGE DE NUTRIMENTS NEGLIGEABLE

En préalable à toute discussion sur le relargage de phosphore par les vases, il est primordial d'insister sur le fait suivant :

les concentrations en phosphore présentes en permanence dans l'eau et la biomasse sont considérables, leur rôle en ce qui concerne les phénomènes biologiques intervenant dans l'eutrophisation est prépondérant ; les apports par relargage des vases sont du second ordre.

⇒ **Envasement de l'Erdre et remise en suspension**

Les suivis bathymétriques du fond de l'Erdre montrent une progression de l'envasement de la rivière. Le volume de vase se déposant dans le plan d'eau annuellement est estimé entre 20 000 et 70 000 m³, avec la précision et l'homogénéité des résultats disponibles. Cela correspond à une élévation moyenne annuelle du fond de la rivière de 3 mm à 1 cm.

Ces phénomènes sont très variables selon les zones, et une érosion du fond est même observée dans certaines parties de la rivière.

Le dépôt de vase s'explique par le ralentissement de l'eau à l'entrée dans le plan d'eau. La vitesse quasiment nulle du courant dans le plan d'eau favorise la décantation des matières en suspension.

L'analyse des vases montre qu'elles sont de densité relativement faible (100 à 200 g/L et 250 g/L pour les couches plus profondes), riches en matière organique, mais pauvres en phosphore. Les critères du CEMAGREF permettent de les classer dans la catégorie "Vases caractéristiques de plan d'eau mésotrophe". Leur densité correspond à des vitesses critiques d'érosion de 20 à 50 cm/s, ce qui rend la remise en suspension par le courant impossible.

La remise en suspension des vases est principalement susceptible d'avoir lieu sous l'effet du vent dans les zones de faible profondeur (plaine de Mazerolles) et sous l'effet du passage des bateaux, dans le chenal de navigation. Des quantités importantes de MES sont ainsi remises en suspension dans la partie navigable de l'Erdre.

⇒ **Relargage de phosphore**

Des études précédentes, en particulier la thèse de P.R. Saraiva Calvacante sur la mobilisation de l'azote et du phosphore dans les vases (1995), ont estimé par le calcul un apport interne important de phosphore par les vases remises en suspension au niveau de la plaine de Mazerolles.

Les travaux de P.R. Saraiva Calvacante estiment une quantité mobilisable de phosphore dans les vases de 22 tonnes, pouvant potentiellement libérer 3,4 tonnes de phosphore P total dans le milieu par an.

Cette valeur potentielle est issue de l'étude d'une zone restreinte de la plaine de Mazerolle.

Il apparaît toutefois au terme du suivi qualitatif mené au cours de l'année 2003 que, sauf dans quelques fosses de sédimentation, les fonds de l'Erdre ne sont pas propices à de tels phénomènes de relargage. La majorité des sites observés sont caractérisés en effet par des fonds aérobies, non sujets au relargage.

Les observations réalisées lors des campagnes de mesure de l'étude ont révélé, conformément aux résultats de P.R. Saraiva Calvacante, des zones de fonds anaérobies. C'est dans ces zones que le relargage de phosphore est susceptible d'avoir lieu.

Cependant, la faible étendue de ces zones ne permet pas l'extrapolation des résultats expérimentaux à l'ensemble des plaines de Mazerolle et de Sucé-sur-Erdre.

⇒ Les effets d'un dévasement

Outre le constat réalisé sur la surface restreinte de zones susceptibles de relarguer du phosphore, il est important de considérer que compte tenu de la vitesse de sédimentation dans le plan d'eau, toute action sur les vases n'aurait aucun effet durable, un volume considérable de vases étant apporté chaque année depuis l'amont du bassin versant.

D'autre part, comme il a été rappelé plus haut, les concentrations en phosphore dans l'eau et la biomasse sont telles que leur rôle est prépondérant. La thèse de P.R. Saraiva Calvacante a abouti à des conclusions semblables.

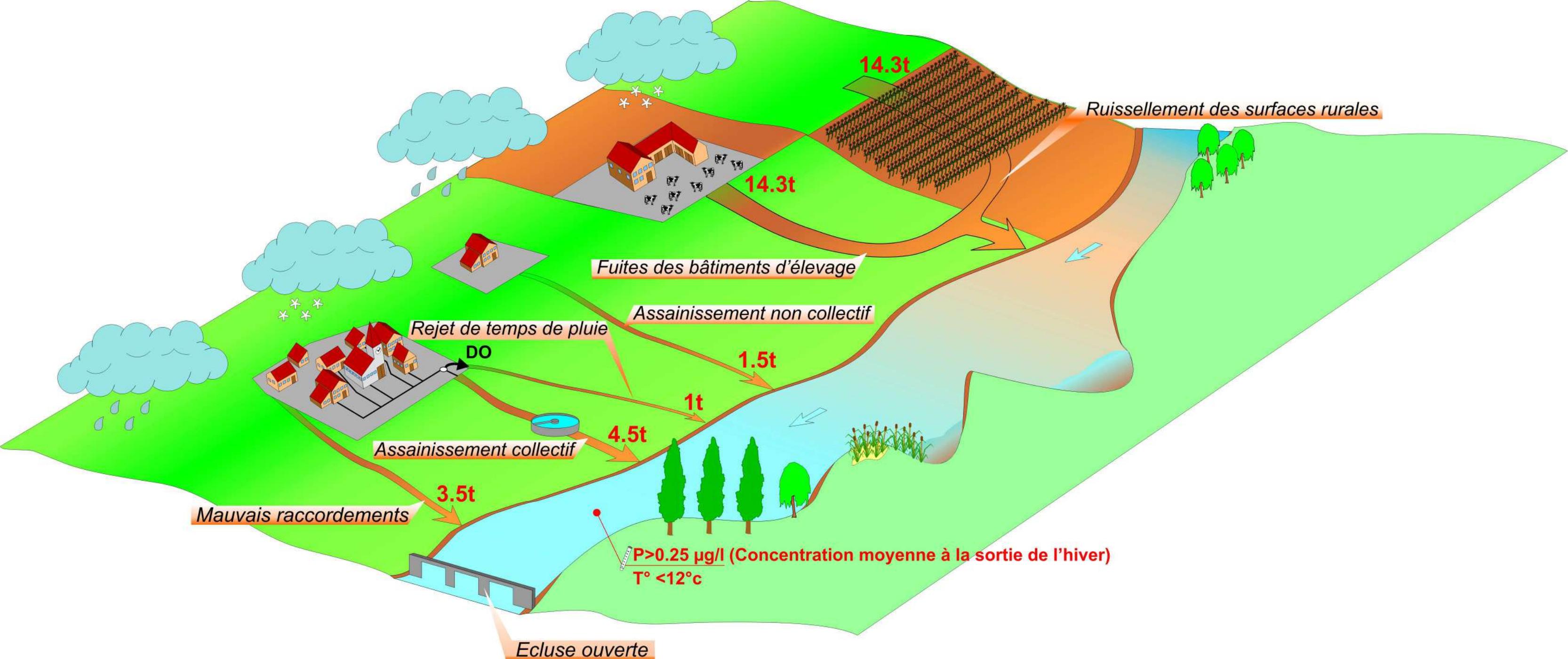
⇒ Rôle futur du relargage

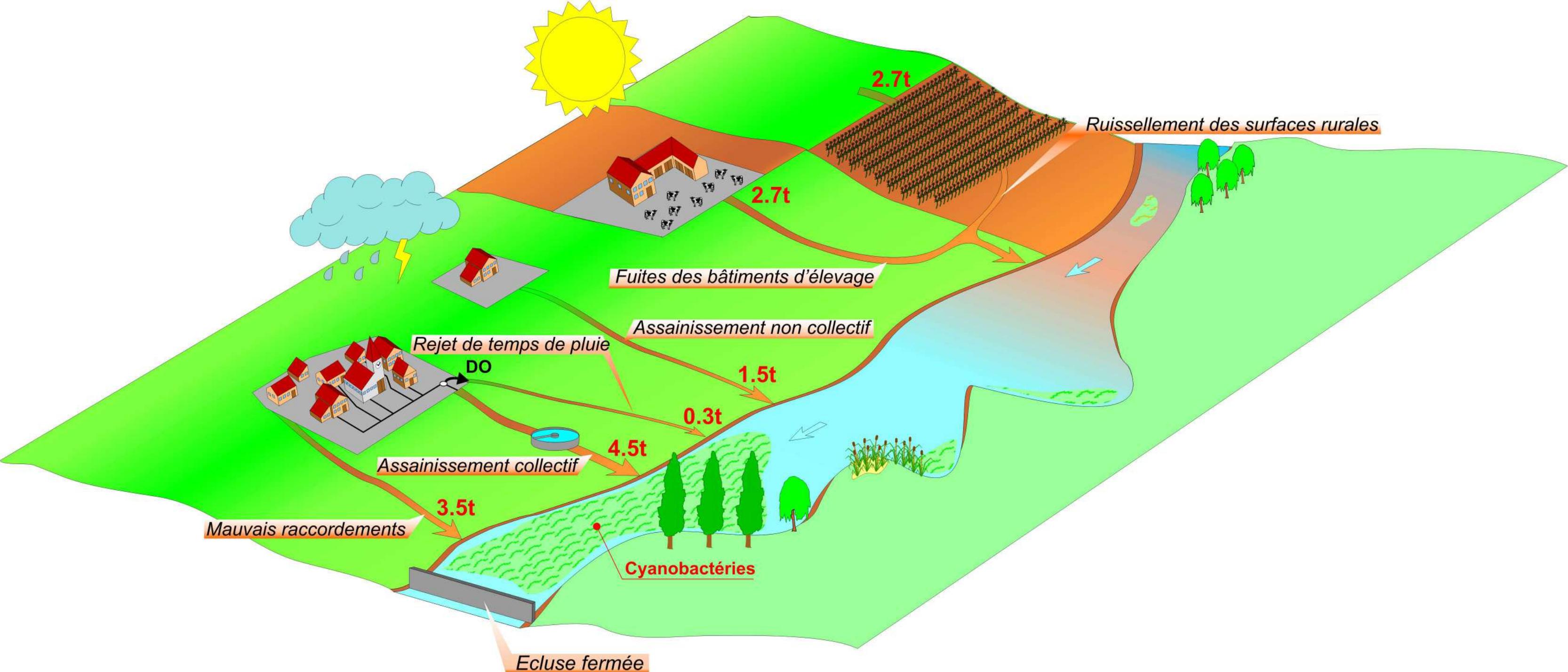
Si le problème des vases ne se pose pas à l'heure actuelle, il est important d'estimer l'impact qu'il pourra avoir dans l'avenir, lorsque les mesures de réduction des apports par le bassin versant auront été mises en place.

Afin d'estimer l'impact futur du relargage, il faut considérer, comme il a été précisé, que les sédiments qui composeront la couche superficielle susceptible d'être remise en suspension et donc de produire du relargage, n'auront pas la même composition que les sédiments actuels. En partant du principe que dans l'avenir le potentiel de relargage sera réduit de 70 % (ce qui correspond à l'objectif de réduction des apports en phosphore par le bassin), on obtient un potentiel annuel de relargage de 1,1 tonnes (hypothèses suivies par P.R. Saraiva Calvacante).

Le volume annuel d'eau circulant dans l'Erdre est connu à Vaux, où il est de 86,5 millions de m³. Les 1,1 tonnes potentiellement relargables sont donc susceptibles d'être à l'origine d'une concentration moyenne de 13 µg/L dans la rivière, soit 160 kg de phosphore P tot pour un été. Cette concentration est au dessous du seuil de 50 µg/L (voir paragraphe concernant l'outil prédictif), et ne suffit pas à déclencher de phénomènes d'eutrophisation.

Le fonctionnement annuel l'Erdre du point de vue des flux de nutriment et leurs conséquences est résumé dans les schémas des pages suivantes.





2.7t

Ruissellement des surfaces rurales

2.7t

Fuites des bâtiments d'élevage

Assainissement non collectif

1.5t

Rejet de temps de pluie

DO

0.3t

Assainissement collectif

4.5t

Mauvais raccordements

3.5t

Cyanobactéries

Ecluse fermée

LES FACTEURS D'EUTROPHISATION

L'eutrophisation est un enrichissement des milieux aquatiques en éléments nutritifs (azote et phosphore essentiellement) qui constituent de véritables engrais pour les plantes (macrophytes) et pour certains microorganismes aquatiques (microalgues et cyanobactéries). Ces apports excessifs en nutriments constituent donc une pollution nutritionnelle de ces milieux.

Outre une richesse en nutriments, certains facteurs physiques favorisent l'eutrophisation :

- ❖ une température élevée : les végétaux aquatiques prolifèrent particulièrement entre 15 et 25°C ;
- ❖ un éclairage important : les espèces végétales recherchent les fortes insulations pour leur photosynthèse ;
- ❖ un courant faible : le courant faible favorise l'implantation des végétaux ;
- ❖ une amplitude de variations de la ligne d'eau : un fort débit provoque des remaniements du fond ;
- ❖ une homogénéisation des conditions d'habitats des cours d'eau : une espèce prolifère d'autant plus facilement qu'elle rencontre un habitat favorable sur des longues distances. Un habitat diversifié limite ces proliférations.

L'ERDRE, rivière à écoulement très lent, bien ensoleillée et enrichie en nutriments, présente donc toutes les conditions favorables aux proliférations algales, notamment à celles qui s'accumulent en surface comme les cyanobactéries.

LES RISQUES DE DECLENCHEMENT DES PROLIFERATIONS DE CYANOBACTERIES

L'outil prédictif présenté ci-dessous synthétise les connaissances actuellement disponibles sur les relations entre les différents paramètres climatiques, physico-chimiques et biotiques du milieu et le développement de la population cyanobactérienne de l'Erdre.

L'objet de cet outil est de déterminer les risques d'apparition de proliférations cyanobactériennes, à partir de l'historique d'évolution des conditions du milieu sur l'année en cours.

Etabli en fonction des campagnes de mesure réalisées durant l'année 2003, il est amené à être complété progressivement à l'aide des suivis qui seront effectués dans les années à venir.

En l'état actuel, le cycle annuel de développement des cyanobactéries est partagé en 2 périodes :

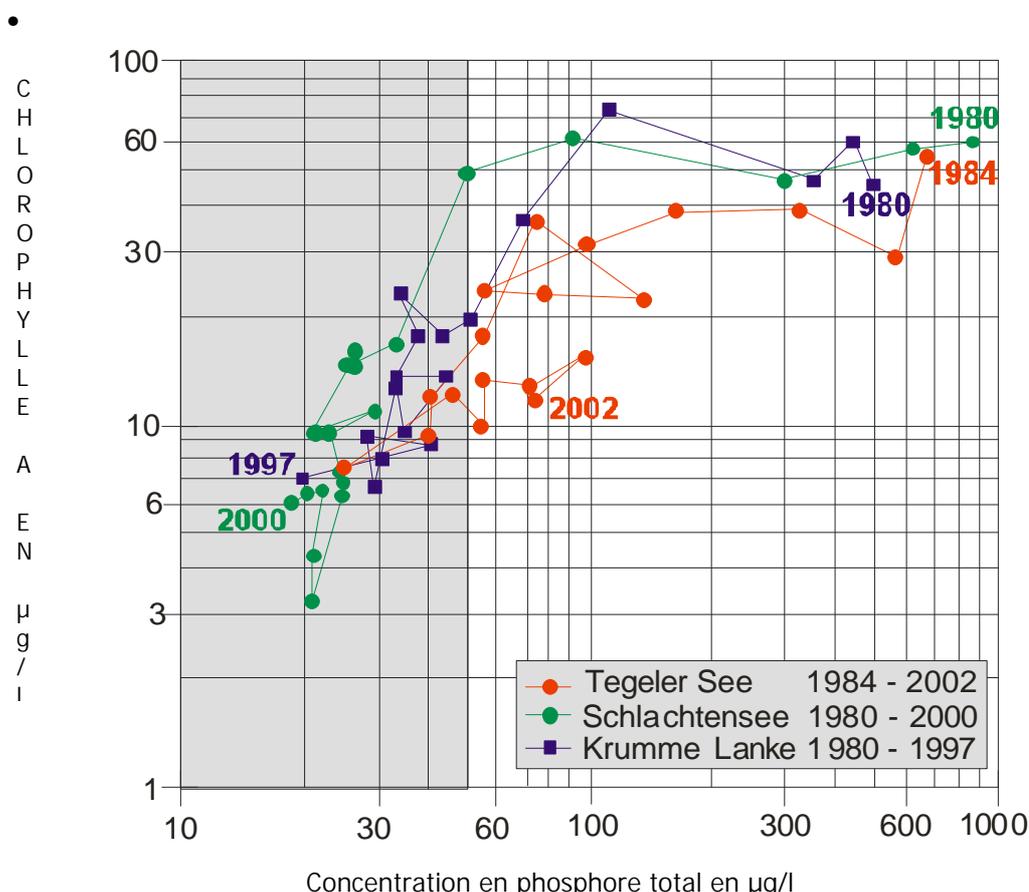
- ⇒ la fin de l'hiver / début de l'été, correspond aux premières semaines de développement du phytoplancton après la phase d'inactivité hivernale. Cette période joue un rôle primordial dans le déroulement des cycles à venir ;
- ⇒ l'été correspond au reste du cycle annuel ; dans cette phase, la principale variable déterminant les risques de proliférations est la pluviométrie.

Les différents paramètres choisis et les seuils associés sont présentés ci-dessous :

- **Le phosphore**

Parmi les nutriments nécessaires à la croissance du phytoplancton, et notamment des cyanobactéries, le phosphore est souvent le facteur limitant. Son rôle est donc primordial dans la détermination de la prolifération algale.

Le graphique ci-dessous, issu du travail de recherche d'I. Chorus de l'UBA, montre l'évolution de la biomasse algale en fonction des concentrations du phosphore dans trois lacs de Berlin.



- Au delà de 100 µg/L de phosphore P total, la biomasse algale est constante, et optimale, le phosphore n'étant pas facteur limitant ;
- Lorsque la concentration en phosphore diminue entre 50 et 100 µ/L, la biomasse diminue légèrement ;
- Au dessous de 50 µg/L, la diminution de biomasse devient réellement significative.

Dans le cadre de travaux pour l'OCDE, des modèles permettant d'estimer des concentrations admissibles dans les plans et retenues d'eau ont été élaborés.

Le seuil de phosphore qui peut être retenu pour éviter l'eutrophisation dans un plan d'eau se situe aux environs de 20 µg/L de phosphore PO₄ (Vollenweider, R.A., et Kerekes, J., [OCDE] 1982).

Ce seuil correspond à 60 µg/L de phosphore P total. Le seuil de 50 µg/L retenu pour l'outil prédictif de l'Erdre est légèrement plus restrictif, ce qui donne une marge de sécurité supplémentaire aux estimations.

• La température

L'évolution de la température joue un rôle important dans la croissance du phytoplancton.

Les expérimentations ont montré que cyanobactéries ne se développent pas au-dessous de 12°.

C'est donc cette valeur qui a été retenue comme seuil.

Quelques rares contre-exemples ont été observés en conditions naturelles ; ce seuil n'exclut donc pas totalement les risques de développement cyanobactérien.

• La pluviométrie

Les précipitations ont 2 effets principaux sur le développement de la biomasse.

Elles peuvent apporter des nutriments à la rivière, par le ruissellement, la remise en eau des fossés...

Elles provoquent également une mortalité algale, et le démarrage d'un nouveau cycle de vie du phytoplancton.

Pour l'outil prédictif, il sera retenu comme pluie significative une pluie de retour 2 mois, ce qui correspond à 11 mm de précipitations sur 4 heures.

• La biomasse

La biomasse présente dans l'eau peut-être estimée par plusieurs paramètres. La chlorophylle en est un bon indicateur, bien que la relation entre les deux varie selon les espèces présentes (les diatomées en particulier contiennent de fortes concentrations de chlorophylle).

La biomasse reste également fortement liée à la concentration en phosphore dans l'eau.

• L'insolation

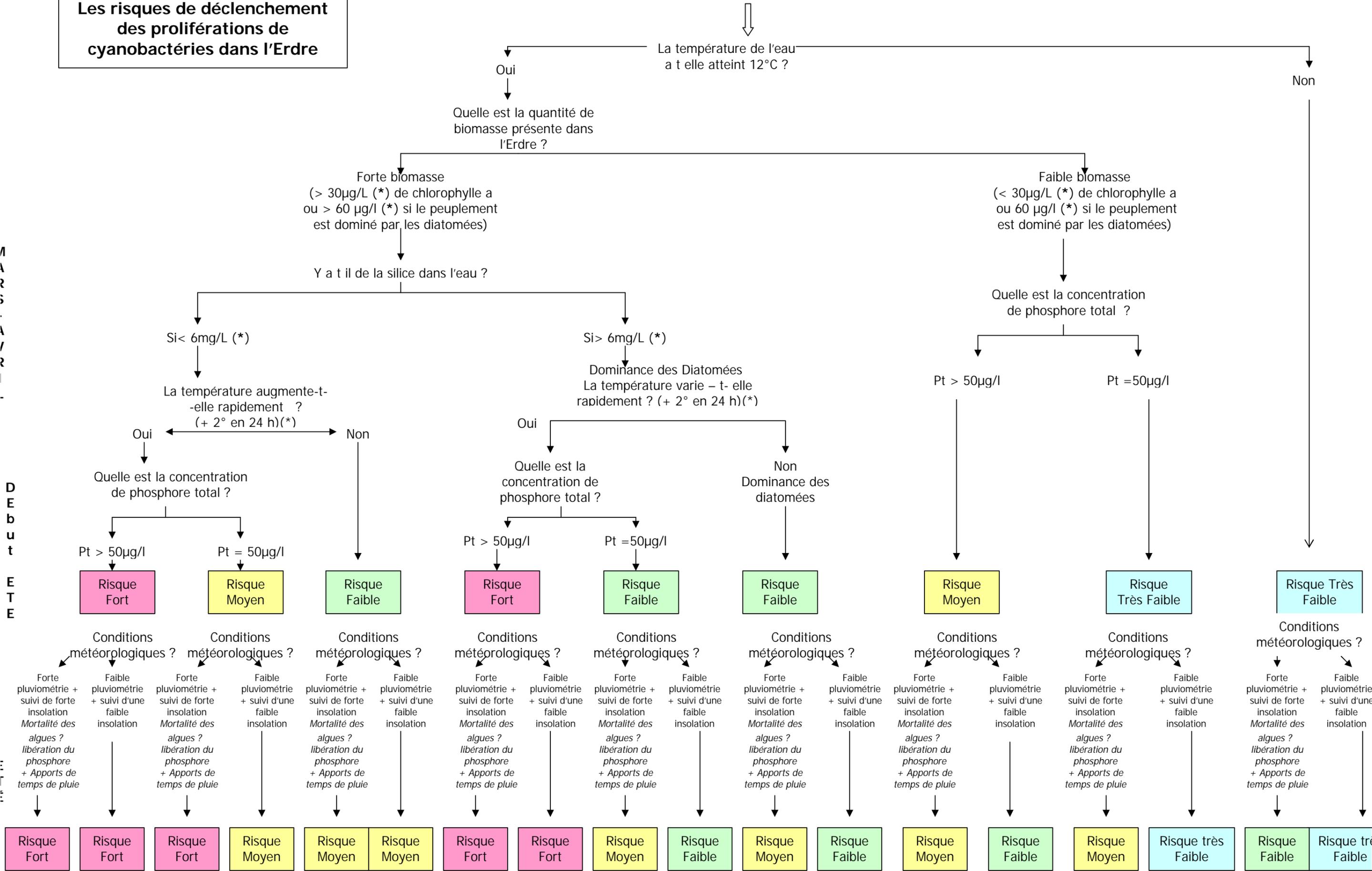
L'insolation joue également un rôle important dans le développement du phytoplancton. Après le phosphore, la lumière est en général le facteur limitant.

Les campagnes de mesure réalisées au cours de l'année 2003 n'ont pas permis de mettre en évidence de lien entre l'insolation et le développement des cyanobactéries. Des investigations complémentaires sur ce sujet seraient intéressantes.

La rivière Erdre

Les risques de déclenchement des proliférations de cyanobactéries dans l'Erdre

M A S S A R T D E B U T E T E



(*) Valeurs à valider lors des prochaines campagnes de mesure sur l'Erdre