

## LA QUALITE DE L'EAU : METODES ET MODELES NUMERIQUE DE RECHERCHE

**Rodica BRANIȘTE<sup>1</sup>, Daniela ISTRATI<sup>1\*</sup>, Elena GOGOI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Département Informatique et Ingénierie de Systèmes, Faculté Ordinateurs, Informatique et Microélectronique, Université Technique de Moldova, Chișinău, République de Moldova

<sup>2</sup>Département Ingénierie Logiciel et Automatique, Faculté Ordinateurs, Informatique et Microélectronique, Université Technique de Moldova, Chișinău, République de Moldova

\*Auteur correspondant : Daniela Istrati, [daniela.istrati@ia.utm.md](mailto:daniela.istrati@ia.utm.md)

**Résumé :** *L'article traite l'importance de divers logiciels utilisés pour surveiller et créer des modèles environnementaux. Pour une meilleure surveillance et prévision de la situation écologique dans les rivières et autres systèmes aquatiques, différents modèles mathématiques et applications ont été développés. L'article expose également les avantages de la modélisation qui permet de représenter les phénomènes de recherche en mettant en évidence ses caractéristiques fondamentales.*

**Mots clés :** *pollution, développement durable, stratégie nationale, investigations, système informatique.*

### **Introduction**

La recherche montre que le développement durable est orienté vers les personnes et les citoyens, afin qu'ils puissent mener une vie décente, avoir un bon environnement écologique, une bonne vie, de l'eau potable et de la solubilité. Améliorer les conditions écologiques instables du pays et du monde est une stratégie que chacun devrait adopter. En particulier, la protection du système de pollution aquatique, la protection de l'environnement, est vitale pour avoir une population en bonne santé qui puisse prospérer et améliorer les conditions physiques et économiques du pays.

La qualité de l'eau est déterminée par les sources de pollution et la manière dont ces sources sont gérées. La gestion des sources de pollution devient plus sensible lorsque les eaux de surface sont une source importante d'approvisionnement en eau pour la population.

### **Les principales raisons de la pollution de l'eau**

Les principales sources de pollution de l'eau et des sols en République de Moldova sont les eaux usées non traitées ou partiellement traitées, les déchets ménagers et de production, ainsi que les produits chimiques.

En termes de qualité de l'eau pour l'irrigation, les plus vulnérables sont les agriculteurs, dont les terres sont situées en dehors des zones urbaines, et la seule source d'eau pour l'irrigation est l'eau des rivières intérieures. La qualité des eaux de surface des rivières intérieures souffre d'un degré élevé de pollution due à la non-exploitation ou à l'exploitation partielle des stations d'épuration. Pour cette raison, l'eau ne répond pas à la qualité appropriée pour être utilisée pour l'irrigation. Cependant, les agriculteurs, n'ayant pas d'alternative, ont recours à la violation de la loi et utilisent de l'eau polluée pour irriguer les cultures, exposant les consommateurs de produits agricoles à des risques de maladie.

La question de la qualité de l'eau est urgente en République de Moldavie parce qu'elle ne correspond pas, dans la plupart des cas, aux normes nationales et internationales. Les principales raisons de la pollution de l'eau sont représentées dans la figure ci-dessous (Figure 1) :

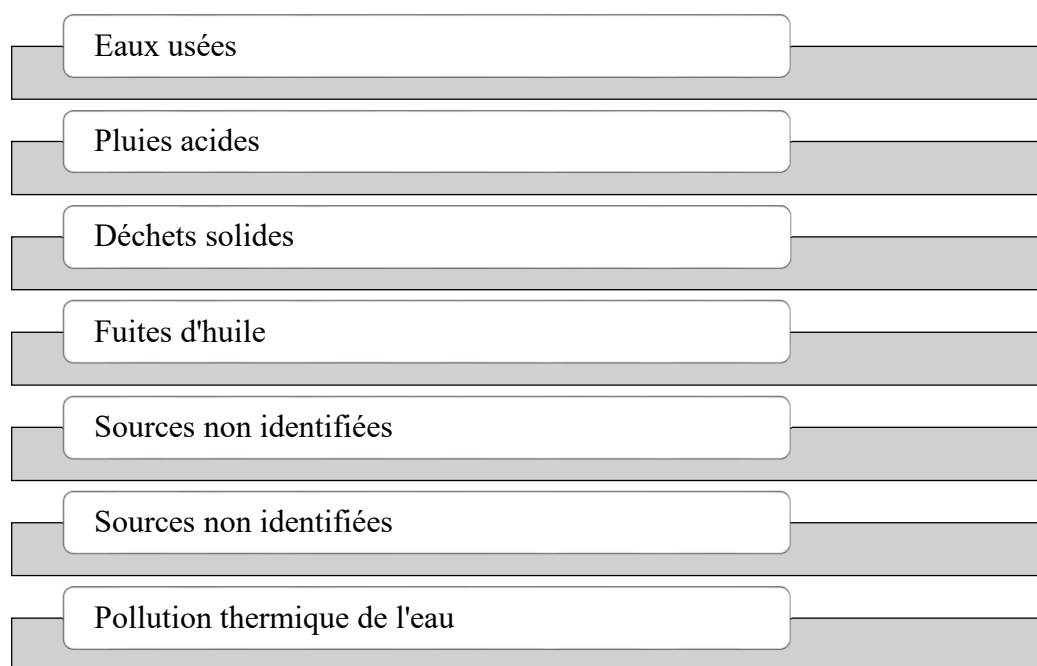


Figure 1. Les principales raisons de la pollution de l'eau

**Les eaux usées** domestiques contiennent souvent des détergents synthétiques, que l'on trouve dans les rivières et les mers. Ces accumulations de substances inorganiques réduisent la quantité d'oxygène dans l'eau, ce qui conduit à la formation des « zones mortes ».

Les déchets industriels contenant des déchets organiques et inorganiques sont déversés dans les rivières. Bien que les déchets industriels soient soumis à une filtration préalable, ils contiennent encore des substances toxiques, difficiles à détecter.

**Les pluies acides** sont le résultat du contact avec l'atmosphère des gaz produits par les entreprises métallurgiques, les centrales thermiques, les raffineries et d'autres entreprises industrielles et automobiles. Ces acides tombent parfois au sol à une distance de plusieurs centaines de kilomètres de la source de pollution de l'air et polluent ainsi non seulement les terres sur lesquelles ils tombent sous forme de précipitations, mais aussi les sources d'eau (rivières, lacs, étangs).

**Les déchets solides** sont présents dans une grande quantité dans l'eau, ils empêchent la pénétration de la lumière du soleil et empêchent ainsi le processus de photosynthèse dans les bassins d'eau. Les déchets solides obstruent les rivières et les canaux de navigation.

**Fuites d'huile** est causée par le déversement du pétrole dans l'eau qui a de nombreux effets négatifs sur la vie aquatique. Tout d'abord, les oiseaux qui se noient, surchauffent au soleil ou sont privés de nourriture en souffrent. L'huile aveugle les animaux aquatiques, réduit la pénétration de la lumière dans les piscines d'eau fermées et peut augmenter la température de l'eau.

**Les sources non identifiées** de la pollution ne sont pas toujours facilement détectées- il peut s'agir d'un rejet non autorisé de substances dangereuses par une entreprise ou d'une contamination causée par des travaux agricoles ou industriels. Cela conduit à une pollution de l'eau avec des nitrates, des phosphates, des ions de métaux lourds toxiques et des pesticides.

**Pollution thermique de l'eau** est causée par des centrales thermiques ou nucléaires. La pollution thermique est introduite dans les bassins d'eau de l'eau utilisée pour le refroidissement. En raison des températures plus élevées de l'eau dans ces bassins hydrographiques, il y a une accélération de certains processus biochimiques, ainsi qu'une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau. En République de Moldavie, la pollution de l'eau thermique peut être trouvée sur le fleuve Dniestr en raison des centrales hydroélectriques qui s'y trouvent.

Les conséquences de la pollution de l'eau sont très graves et peuvent provoquer la destruction du milieu aquatique, la vie de la flore et de la faune aquatique et diverses maladies humaines.

Les conséquences de la pollution de l'eau sont graves (Figure 2) : destruction du milieu aquatique, la vie de la flore et de la faune aquatique. La pollution de l'eau peut provoquer diverses maladies et maladies humaines :

**Maladies infectieuses :**

- maladies microbiennes ;
- maladies virales ;
- maladies parasitaires.

**Maladies non infectieuses :**

- Causée par la contamination de l'eau par des produits chimiques tels que les nitrates et les phosphates, les pesticides et les métaux lourds tels que le plomb (saturnisme), le mercure, le zinc, le cadmium qui ont un potentiel toxique.

**Maladies infectieuses :**

- maladies microbiennes : fièvre typhoïde, dysenterie, choléra ;
- maladies virales : polio, hépatite épidémique ;
- maladies parasitaires : dysenterie, giardase.

**Maladies non infectieuses :**

- Causée par la contamination de l'eau par des produits chimiques tels que les nitrates et les phosphates, les pesticides et les métaux lourds tels que le plomb (saturnisme), le mercure, le zinc, le cadmium qui ont un potentiel toxique.

**Figure 2. Les conséquences de la pollution de l'eau**

**Donc, avec autant de facteurs de pollution des écosystèmes aquatiques, il est nécessaire de développer et de mettre en œuvre des mesures de protection de l'eau.**

**Dans le bassin de la mer Noire, les États voisins mènent des enquêtes d'océanographie physique, des études sur la base du trafic maritime et la possibilité d'extraire des sels et des métaux lourds.**

En termes d'eau potable, les plus vulnérables sont les habitants des localités dont la principale source d'eau potable est le fleuve Dniestr. Cette vulnérabilité a été accentuée avec l'extension du nœud hydrotechnique de Novodnestrovsk en Ukraine, qui influence considérablement le débit du Dniestr [1].

**Contributions à la réduction de pollution de l'eau**

Les mécanismes et politiques existants ne garantissent pas la conservation et la restauration des éléments clés de l'environnement, et l'absence d'un système de suivi et d'évaluation de la qualité des facteurs environnementaux rend impossible la réalisation de ces objectifs. Pour changer la situation, l'activité économique et humaine doit être menée en harmonie avec l'environnement.

D'après la stratégie nationale de développement Moldova 2030, cette approche réduira la pollution de l'environnement en éliminant les sources de pollution de l'eau (ODD 6.3, 14.1, 12.4, 12.5) [2], contribuera à réduire les déchets et à accroître la gestion durable des ressources naturelles et le développement des services écosystémiques [3].

Améliorer la qualité de l'eau et des sols en réduisant la pollution due au rejet d'eaux usées dans les émissions ou dans l'environnement naturel, en minimisant les rejets de produits chimiques et de substances dangereuses et en réduisant la part des eaux usées non traitées [4].

Les valeurs promues par la Stratégie incluent la reconnaissance de l'accès à l'eau comme un droit humain et la ferme conviction que la couverture d'un pays avec de bonnes infrastructures est un précurseur nécessaire pour un développement socio-économique durable et que les investissements

dans le secteur de l'eau et de l'assainissement ont un taux de rendement supérieur à toute autre activité, en termes de bénéfices pour la population connectée, mais aussi pour l'État dans son ensemble.

Partager ces valeurs passe par l'instauration d'une culture participative de l'ensemble de la population et des acteurs responsables de la mise en œuvre de la Stratégie, facilitée par un processus décisionnel transparent à tous les niveaux et le respect des principes fondés sur la contribution et la responsabilité de tous les décideurs politiques secteur de l'eau et de l'eau. Assainissement, la programmation et la capitalisation des investissements pour ce secteur, la mobilisation des ressources dans le domaine de l'eau, de la protection de l'environnement, de la santé et de la sécurité sociale, la fourniture de services de qualité à des tarifs abordables pour la population, leur fonctionnement en de manière durable [5].

### **L'approche mathématique et informatique**

Pour une meilleure surveillance et prévision de la situation écologique dans les rivières et autres systèmes aquatiques, différents modèles mathématiques ont été développés et différents programmes d'application ont été développés afin d'obtenir plus facilement les résultats escomptés.

Des processus et des phénomènes de plus en plus complexes nécessitent une amélioration continue des méthodes et techniques d'analyse et d'investigation, ainsi que des méthodes et techniques de leadership et de prise de décision. De nos jours, avec le soutien d'une informatique haute performance, des algorithmes et des technologies modernes sont utilisés. Une gestion efficace nécessite l'utilisation de méthodes mathématiques modernes combinées à la technologie informatique la plus avancée pour fournir une aide à la décision.

La méthode expérimentale commence par une théorie qui peut tirer quelques conclusions. A travers des expériences, des interprétations statistiques de certaines données ainsi obtenues sont faites pour tirer des conclusions sur le système réel étudié. De meilleurs résultats peuvent être obtenus grâce à un processus de connaissance qui combine l'expérimentation et la déduction. En raison de certaines particularités ou de coûts exagérés (comme certains phénomènes et processus économiques), certains systèmes réels ne permettent pas d'expérimenter. Ceux-ci sont modélisés et, à l'aide du modèle construit, des résultats applicables au système réel sont obtenus.

Les avantages de la modélisation sont particulièrement importants dans le cas de systèmes complexes. Premièrement, la modélisation ne permet que la représentation des phénomènes de recherche en mettant en évidence les caractéristiques de base. Deuxièmement, si des expériences réelles ne peuvent pas être réalisées en raison de l'accessibilité ou du coût du système réel, le modèle peut être étudié. Dans le même temps, le modélisateur peut répéter l'expérience autant de fois que nécessaire. De plus, en modifiant les paramètres, le système réel peut être étudié dans des circonstances raisonnables. Nous pouvons conclure que la recherche basée sur des modèles est plus efficace en termes de qualité et d'économie (faible coût, temps réduit, etc.) [6].

Le succès de l'étude d'un système réel par modélisation dépend de plusieurs conditions imposées au modèle. Par modélisation, nous ne mettons à jour qu'un nombre petit ou grand, mais fini, de termes. Aussi, le modèle doit évidemment satisfaire une condition d'efficacité : parmi les méthodes qui permettent l'étude du modèle, il doit y en avoir au moins une qui conduit à des résultats différents à partir des données d'entrée (caractéristiques du système réel)

La finalité du processus de modélisation repose sur la satisfaction de la corrélation entre le modèle et le système étudié. En d'autres termes, les résultats obtenus dans l'étude du modèle conduisent à des conclusions importantes sur le comportement des objets réels. En fait, le modèle est apprécié en fonction de sa pertinence par rapport à la réalité. Bref, la qualité du modèle n'est pas inhérente, mais acquise. Elle est vérifiée a posteriori, donc après avoir vérifié les conditions de suffisance, d'hétérogénéité, de validité, de pertinence et d'indépendance.

Divers logiciels peuvent être utilisés pour étudier et déterminer l'évolution des systèmes aquatiques de type fluvial, des écosystèmes et de leur pollution. Il existe divers logiciels utilisés pour surveiller et créer des modèles environnementaux. Ces logiciels sont basés sur la résolution de problèmes et ceux basés sur la simulation dynamique [7].

Un logiciel de modélisation numérique de l'environnement est créé dans plusieurs pays, mais la plupart des logiciels proviennent des États-Unis. Ces logiciels sont basés sur des logiciels mathématiques tels que MATLAB, Mathematica, Mathcad. Plus tard, d'autres logiciels ont été développés tels que : Extend™ 9, ithink®10, Simulink®11, ANSYS CFX, WASP (Water Analysis Simulation Program), CEQUAL-W2, WMS (Watershed Modeling System), AGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution), GWLF (Generalized Watershed Loading Function), MONERIS (Modeling Nutrient Emissions in River Systems), QUAL2E, WQRRS (Water Quality for River Reservoir Systems), SMS (Surface - Water Modeling System) [8].

### **Conclusions**

Le développement durable consiste à améliorer la qualité de vie aujourd'hui sans compromettre les chances des générations futures de profiter d'une vie meilleure. Cela signifie trouver un équilibre entre le développement économique et social et la protection de l'environnement. Selon la vision du développement durable, le progrès combine des objectifs à court et long terme, des actions locales et mondiales, des enjeux économiques et environnementaux, tous intimement liés. Le développement durable s'efforce d'établir un cadre théorique stable pour la prise de décision dans toute situation où il existe une relation entre l'homme et l'environnement, qu'il s'agisse de l'environnement, de l'économie ou de la société.

La définition la plus couramment utilisée du développement durable appartient à Lester Brown : « *Le développement durable est un développement qui cherche à répondre aux besoins du présent, sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* ».

### **References:**

1. IVANOV Violeta, *Sécurité des ressources aquatiques de la République de Moldova risques et menaces*, 2015
2. Le projet de loi du gouvernement pour l'approbation de la stratégie nationale de développement « *Moldova 2030* », 2019
3. Gouvernement de la République de Moldova, *Objectifs de développement durable 2030*, 2020
4. Parlement de la République de Moldova, *Loi sur l'eau 272*, 2011 modif. 2020)
5. Décision du gouvernement de la République de Moldova no. 932, *Règlement sur la surveillance de l'état des eaux de surface et des eaux souterraines*, 2013.
6. MARUSIC Galina, maître de conf., dr, *Etude sur la modélisation numérique de la qualité de l'eau dans les systèmes à « rivertype »*, 2013.
7. MARUSIC Galina, professeur associé, PhD, *Techniques logicielles pour la simulation dynamique de la qualité de l'eau dans les systèmes de type « rivière »*, 2013.
8. U.S. Environmental Protection Agency, *Environmental Modeling Community of Practice*, <https://www.epa.gov/ceam/modeling-products-assess-exposures>, 2021