

**Minh LUU soutiendra sa thèse**

**"Transport de matières et qualité des eaux  
dans le continuum du bassin du fleuve Rouge au delta :  
bilan et modélisation"**

**le 29 septembre 2010 à l'UPMC-Jussieu à 14h30, Tour 56-46, 2ème  
étage salle de l'UFR 918.**

La soutenance sera suivie d'un pot en salle Darcy-Sisyphé (3ème étage).

## SUMMARY

The Red River Delta (RRD), which is located on the western coast of the Gulf of Tonkin in the South China Sea, is the second largest delta in Vietnam and covers 14,300 km<sup>2</sup> (4.5% of the Vietnamese territory), with a total population of 16,600,000 inhabitants. It is rich in natural resources and plays an important role in the national socio-economic development of the country. It represents a good example of a region with rapid population growth, industrialisation and economic development leading to an increase of resource consumption and environmental degradation.

The aim of this study was to analyze the **input of the upstream basin of the Red River** to the delta and the inputs, transformations and circulation within the delta. The backbone of the work consisted in the implementation of the **Riverstrahler model** which relates the ecological and biogeochemical functioning of any drainage network to the constraints set by the climate, the morphology of the river system and the human activities in its watershed.

For this purpose, at the scale of the whole Red River Delta, from Hanoi to the sea, **water budget** was established for two years with contrasting climatic and hydrological characteristics by reconstructing water discharge at several key stations for five sub-basins of the delta, which were distinguished within the delta to take into account the contrasting dominant land uses (i.e., paddy rice fields in the lower Red River sub-basin and the Day estuary, or forest in the Boi sub-basin) and the heterogeneous distribution of the population (varying from 260 inhabitants/km<sup>2</sup> in the Boi sub-basin to 1,700 inhabitants/km<sup>2</sup> in the Bui sub-basin). The results show that total volume annually delivered to the sea from the RRD was approximately 140 and 100 km<sup>3</sup> for 1996 and 2006, respectively. With budgets evaluate for the five sub-basins within the RRD, it was shown that the water resources were far from evenly distributed within the area. In particular, the Bui sub-basin, which has the highest population density (including Hanoi) and the lowest water resources per unit area, is experiencing a critical situation in terms of pressure on **water resources**.

In order to inventory the **sources and sink of nutrients** (N, P, Si) in the terrestrial and aquatic components of the RRD, **agricultural budgets** has been established in terms of suspended solids, nutrients (N, P, Si) imported to the system and exported, either as agricultural product or by water fluxes at the outlets of the three major branches. Net import of food and feed (i.e., a total of

189.10<sup>6</sup> kg N/year) represents more than the load of the Red River at the outlet of the upstream basin (i.e., 160.10<sup>6</sup> kg N/year), while the amount discharged at the outlets of the delta (i.e., 130.10<sup>6</sup> kg N/year) is approximately 20% lower, showing an quite important nitrogen ‘retention’ role of the delta. Indeed, the delta’s soils and the poorly oxygenated water of a large part of the drainage network both contribute to storing or eliminating the total N loading, thus acting as a rather efficient ‘filter’ for anthropogenic N inputs. As far as phosphorus is concerned, the total discharge at the delta outlets is 32.10<sup>6</sup> kg P/year, showing retention of more than 50%. Thanks to this high retention rate for phosphorus in the most populated sub-basin, not all P brought from domestic effluents reaches the coastal zone. These nutrient fluxes allowed to calculate an indicator of coastal eutrophication potential (ICEP), based on the excess of P and N fluxes compared to Si fluxes. The **N-ICEP** (-10.2 kg C/km<sup>2</sup>/day) and the **P-ICEP** (-19.9 kg C/km<sup>2</sup>/day) at the outlet of the delta both decreased compared to upstream, indicating that the delta has quite a positive effect on coastal zone **eutrophication**, but also drops far below the zero, threshold value showing limited risk of eutrophication, as an efficient filtering effect of the delta is observed on N and P, but not on Si fluxes which is minimally affected.

For a concrete linkage between land use, human activities and nutrient (N, P, Si) transfer from the upstream basin to the delta and further to the coastal zone, the Riverstrahler model was implemented to the Day-Nhue River system, the right bank sector of the Red River Delta, which is the most severely affected by anthropogenic activities, including those of the urban Hanoi area. For the need of implementation of the model, intensive field studies were carried out during these three years in order to understand the hydrological regime, to document the river water quality, and to evaluate the point and non point sources of nutrient in the study area. At this scale, a **georeferenced database** has been built to run the Seneque/Riverstrahler model. The model has been validated for the recent period of 3 years (from 2006 to 2008) and offers a comprehensive picture of water quality at the scale of the whole Day-Nhue drainage network. Finally, by using the Seneque/Riverstrahler model for exploring different, still theoretical **scenarios**, insight for some **management recommendations** can be given.

**Key words:** *Red River Delta, Day urban River, tidal rivers, water budget, nutrient transfers, Seneque/Riverstrahler model, management, human impacts*

## **RESUME**

Le Delta du Fleuve Rouge, un des deux grands deltas du Vietnam, se trouve entre l'agglomération de Hanoi et le Golfe du Tonkin (en Mer de Chine Orientale) au Nord du Vietnam. Il couvre une surface de 14 300 km<sup>2</sup> (4,5% du territoire vietnamien), avec une population totale de 16 600 000 habitants. Avec des ressources abondantes, il joue un rôle important dans le développement socio-économique du pays. A ce jour, l'urbanisation s'accompagne du développement de zones d'agriculture intensive péri-urbaines, de l'industrialisation et plus généralement d'un développement économique, qui ont conduit à des dégradations sévères des eaux de surface et souterraines du delta.

L'objectif de cette thèse est d'analyser les contributions du bassin amont du Fleuve Rouge au delta ainsi que de comprendre les transformations et circulations de matière au sein du delta lui-même. L'épine dorsale du travail réside dans l'implémentation du modèle Riverstrahler – un modèle générique de modélisation de la qualité de l'eau et du fonctionnement biogéochimique des grands réseaux hydrographiques qui a été développé sur la Seine, dans le cadre du programme PIREN – Seine, puis a été appliqué à divers autres bassins fluviaux comme la Moselle, le Danube mais aussi le Fleuve Rouge.

Le bilan hydrologique a été établi pour les 2 années 1996 et 2006, caractérisées par différentes conditions climatiques et hydrologiques, en reconstituant le débit de quelques stations clés dans le delta. Le delta est ainsi divisé en 5 sous-bassins qui se distinguent par l'usage du sol et la densité de population, ce qui permet de mieux comprendre les processus d'échange d'eau et de matière au sein du delta, et avec les systèmes adjacents en amont et en aval. Les résultats montrent que le delta du Fleuve Rouge peut exporter annuellement 100 à 140 km<sup>3</sup> d'eau à la mer. En évaluant la ressource en eau des sous-bassins, il apparaît que la ressource en eau n'est pas répartie uniformément dans le delta. En particulier, le sous-bassin Bui, où la densité de population est la plus élevée et la ressource en eau est la plus basse, montre une situation critique en terme de ressource en eau.

En vue d'évaluer les sources et les transformations des nutriments dans le système du sol ainsi que dans l'hydrosystème du delta, des bilans agricoles ont été établis pour les 5 sous-bassins, en termes de flux entrant et sortant de matière en suspension et de nutriments, de la production

agricole et de consommation. Le bassin amont du Fleuve Rouge exporte  $160.10^6$  kg N/an vers le delta, alors que la consommation alimentaire de la population et de son bétail représente une contribution de  $189.10^6$  kg N/an. Le flux de nutriments exporté à l'exutoire du delta est seulement de  $130.10^6$  kg N/an, ce qui indique un taux de rétention de 43% pour azote. Le sol et la faible concentration en oxygène dans une grande partie du réseau hydrologique contribuent à stocker et à éliminer la charge en azote, le delta jouant ainsi un rôle très efficace de 'filtre' pour l'azote. Le flux de phosphore à l'exutoire du delta est  $32.10^6$  kg P/an, ce qui représente une rétention de 50%. Par contre la rétention de silice est faible, de l'ordre de 8% par an. Les indicateurs de potentiel eutrophisant ont été calculés en tenant compte de l'excès des flux de P et de N par rapport au flux de silice (ICEP). Les valeurs de N-ICEP ( $-10.2$  kg C/km<sup>2</sup>/jour) and the P-ICEP ( $-19.9$  kg C/km<sup>2</sup>/jour) diminuent par rapport à l'amont du delta, montrant un effet bénéfique du delta par rapport à l'eutrophisation; de plus avec de valeurs qui diminuent à l'exutoire du delta bien au dessous du seuil (zéro), les risques d'eutrophication des zones côtières seraient limités.

L'implémentation du modèle Seneque/Rivertrahler pour le système Nhue – Day permet de calculer les variations géographiques et saisonnières (avec une résolution décadaire) du débit, de la qualité de l'eau et du fonctionnement écologique du réseau hydrographique, en fonction des contraintes constituées par la morphologie des cours d'eau, les conditions météorologiques et climatiques, l'usage du sol et les rejets ponctuels des eaux usées. La base de données de ces contraintes a été assemblée sous forme des couches SIG. Pendant 3 années, des campagnes de mesure intensives des caractéristiques hydrologiques, physiques, chimiques, et biologiques ont été effectuées, ainsi qu'une caractérisation des rejets diffus et ponctuels. Le modèle a été validé pour ces trois années récentes (2006, 2007, 2008). Le modèle permet d'offrir une vision d'ensemble de la qualité de l'eau à l'échelle de tout le secteur rive droite du delta, celui qui est le plus affecté par l'activité humaine. Enfin, le modèle a été utilisé pour explorer l'effet, en termes de qualité de l'eau et de fonctionnement biogéochimique, de divers scénarios de possibles changements futurs du delta concernant l'usage du sol et l'agriculture, la population et son régime alimentaire et sa gestion des eaux usées.

**Mots clés:** delta du Fleuve Rouge, rivière Day, marée, bilan hydrologique, nutriment, Seneque/Rivertrahler, activité anthropique

## TÓM TẮT

Đồng bằng sông Hồng nằm ở phía bắc Việt Nam có tổng diện tích tự nhiên khoảng 14,3 triệu km<sup>2</sup> (chiếm 4,5% tổng diện tích của cả nước) với dân số ước tính đến năm 2006 là 16 600 000 người. Đây là một trong hai vùng đồng bằng lớn của Việt Nam, có tài nguyên thiên nhiên phong phú, vị trí địa lý đặc biệt và đóng vai trò quan trọng trong nền kinh tế quốc dân. Trong những năm gần đây, dân số tăng nhanh cùng với việc phát triển kinh tế xã hội một cách mạnh mẽ và quy mô đã đem lại nhiều lợi ích to lớn, góp phần nâng cao đời sống người dân, giải quyết công ăn việc làm cho người lao động. Tuy nhiên, bên cạnh những lợi ích mang lại thì áp lực lên nguồn tài nguyên thiên nhiên cũng gia tăng, tình trạng ô nhiễm môi trường nói chung và môi trường nước nói riêng đã trở thành vấn đề báo động của vùng.

Mục tiêu chung của luận án là phân tích, đánh giá sự chuyển tải hàm lượng phù sa và chất dinh dưỡng từ thượng nguồn sông Hồng vùng núi phía Bắc đến vùng đồng bằng châu thổ, đồng thời nghiên cứu những biến đổi về chất lượng nước trong phạm vi vùng đồng bằng. Điểm mới của luận án là áp dụng mô hình Riverstrahler để mô tả mối quan hệ giữa các chức năng sinh thái và sinh – địa – hóa của hệ thống thủy văn với các điều kiện tự nhiên như khí hậu, địa hình, hiện trạng sử dụng đất cũng như hoạt động của con người trong lưu vực sông Đáy – nơi tập trung đông dân cư nhất của toàn bộ vùng đồng bằng sông Hồng.

Để thực hiện mục tiêu trên, nhiệm vụ đầu tiên được đặt ra là tính toán cân bằng thủy văn của vùng đồng bằng sông Hồng. Toàn bộ vùng đồng bằng được chia thành 5 tiểu lưu vực khác nhau về hiện trạng sử dụng đất và mật độ dân số (cụ thể ở tiểu lưu vực hạ lưu sông Hồng chủ yếu là đất trồng lúa còn ở tiểu lưu vực sông Bôi chủ yếu là đất rừng nên ở tiểu lưu vực sông Bôi mật độ dân số chỉ là 260 người/km<sup>2</sup> trong khi ở tiểu lưu vực sông Bùi là 1700 người/km<sup>2</sup>). Bằng việc tính toán lại lưu lượng nước tại một số trạm quan trọng trong hệ thống thủy văn, chúng tôi đã thiết lập cân bằng thủy văn của năm 1996 và 2006 cho 5 tiểu lưu vực này, đây là hai năm có đặc điểm khí hậu và thủy văn hoàn toàn khác biệt. Kết quả chỉ ra rằng hàng năm vùng đồng bằng sông Hồng có thể chuyển tải khoảng 100 đến 140 km<sup>3</sup> nước ra đến biển. Nguồn nước phân bố không đồng đều trên toàn vùng đồng bằng. Đặc biệt ở tiểu lưu vực sông Bùi, nơi dân số tập trung đông thì lượng nước cấp cho một đơn vị diện tích là thấp nhất, điều đó cho thấy áp lực lên nguồn nước là rất lớn.

Nhiệm vụ tiếp theo của luận án là khảo sát, đánh giá khả năng vận chuyển chất dinh dưỡng (N, P, Si) trong đất cũng như trong nước. Chúng tôi cũng thiết lập cân bằng dinh dưỡng cho 5 tiểu lưu vực và toàn bộ vùng đồng bằng bằng cách tính toán đầu vào (tiếp nhận từ vùng thượng lưu sông Hồng) và đầu ra (bao gồm hoạt động sản xuất nông nghiệp hay dòng chảy ở vùng cửa sông). Vùng đồng bằng đóng vai trò quan trọng trong việc lưu giữ chất dinh dưỡng chảy ra biển. Hàng năm vùng đồng bằng tiếp nhận  $160.10^6$  kg N từ vùng thượng lưu, cùng với khoảng  $70.10^6$  kg N sinh ra từ hoạt động nông nghiệp, công nghiệp, dân sinh nhưng chỉ chuyển tải ra biển  $130.10^6$  kg N, tương đương khả năng lưu giữ nitơ là 43%. Tương tự, khả năng lưu giữ photpho là 50%. Ngược lại, khả năng lưu giữ silic là rất nhỏ, chỉ khoảng 8%. Các chỉ số N-ICEP và P-ICEP (*indicator of coastal eutrophication potential : chỉ số đánh giá tiềm năng phú dưỡng ven biển*) đều nhỏ hơn 0 chứng tỏ chưa thấy hiện tượng phú dưỡng xảy ra ở vùng cửa sông, điều đó có được là nhờ chức năng “*tự làm sạch*” này của vùng đồng bằng sông Hồng.

Để đánh giá cụ thể mối liên quan giữa hiện trạng sử dụng đất, hoạt động của con người và khả năng vận chuyển chất dinh dưỡng từ vùng thượng lưu sông Hồng đến vùng đồng bằng và xa hơn nữa là đến cửa sông, chúng tôi đã áp dụng mô hình Seneque/Riverstrahler cho lưu vực sông Đáy, nơi chịu ảnh hưởng nặng nề của hoạt động con người. Trong thời gian 3 năm thực hiện luận án, chúng tôi đã liên tục tiến hành nghiên cứu hiện trường nhằm xác định tính chất thủy văn, đánh giá chất lượng nước sông và chất lượng nguồn thải trong lưu vực. Bên cạnh đó, hệ dữ liệu GIS mô tả địa hình, địa chất, hiện trạng sử dụng đất, khí hậu, dân số, nguồn thải sinh hoạt, nguồn thải công nghiệp cũng đã được xây dựng. Mô hình Seneque/Riverstrahler được áp dụng cho 3 năm gần đây 2006, 2007, 2008 và đã cho kết quả tốt, mô phỏng được sự biến đổi chất lượng nước theo thời gian và không gian. Sau đó, chúng tôi sử dụng mô hình Seneque/Riverstrahler cùng với những giả thuyết về sự biến đổi dân số, sử dụng đất và chế độ dinh dưỡng để dự báo biến đổi chất lượng nước trong lưu vực sông Đáy trong 50 năm tới theo các kịch bản khác nhau.

**Từ khóa :** Đồng bằng sông Hồng, sông Đáy, thủy triều, cân bằng nước, truyền tải chất dinh dưỡng, mô hình Seneque/Riverstrahler, tác động của con người