Les Berges naturelles et semi-naturelles

Magali REY, Sandrine SAMSON, Port Autonome de Rouen

Chargée de l'environnement

Le génie végétal est une technique de plus en plus utilisée pour l'aménagement de berges. Dans la vallée de la Seine, cette technique apparaît délicate à mettre en œuvre et a souvent échoué. Une étude des paramètres physiques conditionnant le développement végétal est nécessaire. Ce travail a ainsi permis d'étudier la composition floristique et les paramètres pédologiques de certains secteurs. Cette étude a également appréhendé les contraintes hydrauliques naturelles ou liées au passage de bateaux. Il en est ressorti que les ceintures végétales ne se développent qu'à la cote de 7 m CMH sur des substrats riches en silts et en sels nutritifs. Les contraintes hydrauliques apparaissent être le paramètre sélectif prépondérant.

Cote ; flore ; contrainte hydraulique ; pédologie ; profil ; profil végétal

Vegetal engineering is a technique that is more and more used to create bank. In the Seine's valley, this technique seems delicate to implement, and it has often failed. A study of physical parameters that determine floral composition is necessary. Thus, this work was dedicated to study of flora and pedological parameters in specific sectors. It also took into account natural hydraulic pressures, as well as waves created by boat-induced waves. The conclusions of this study are that vegetal belts are only present at 7 m CMH on substrates that are rich in silts and nutritive elements. Hydraulical pressures appear to be the main selective parameter.

Sea level ; flora ; hydraulic pressure; pedology, profile ; vegetal profile

Introduction

Les berges de la Seine sont depuis longtemps aménagées afin de créer et maintenir les conditions hydrauliques favorables à la navigation. Tenant compte de la moins-value environnementale des ouvrages classiques de Génie Civil, les gestionnaires du fleuve ont envisagé des techniques alternatives à ces ouvrages, notamment le génie végétal. Les contraintes hydrauliques de l'estuaire sont telles que cette technique n'a pas répondu aux attentes escomptées. Elle est désormais combinée à des ouvrages classiques en pied de berge afin d'amoindrir les paramètres hydrauliques. Le profil adopté est alors constitué d'un enrochement et d'une risberme, avec des plantations à 9 m CMH (Cote Marine au Havre). Les échecs du Génie Végétal soulèvent plusieurs interrogations, notamment sur la possibilité d'aménager par cette technique des tronçons de la Seine. Si oui, dans quelles conditions peut-on envisager cette technique ? Quelles espèces doit-on planter, et à quelle cote ? L'objet de cette étude est d'apporter des éléments de réponse à ces questions par le diagnostic complet de l'écotone formé par les différents types de berges de la Seine. Dans ce travail, sont analysés plus précisément la composition floristique et les paramètres sélectifs, notamment la pédologie et la durée d'immersion. Les paramètres hydrauliques, comme les courants de marée et ceux liés au passage de bateaux sont empiriquement estimés afin de pouvoir apprécier la résistance des végétaux à ces contraintes.

1) Le secteur d'étude

La zone d'étude (Figure 1) s'étend de Tancarville à Poses. Six sites représentatifs des différents types de berges rencontrés sur la Seine ont été sélectionnés. Chaque tronçon a fait l'objet de relevés topographiques, à marée basse, afin de connaître la pente et de déterminer les cotes auxquelles se rencontre chaque association végétative identifiée. Quatre étages sont identifiés. L'étage A correspond à l'étage supérieur à 8 m CMH, l'étage B celui situé entre 7 à 8 m CMH, l'étage C entre 6 à 7 m CMH et l'étage D, celui inférieur à 6 m CMH. Les étages les plus bas peuvent être absents de certains tronçons car ils sont rarement émergés. D'autres étages ne présentent pas de couvertures végétales : ils sont considérés comme nus.

Figure 1: Localisation des tronçons étudiés

Cricquebeuf-sur-Seine est un des sites « témoin » de l'étude. Cette berge sableuse (46% de sables moyens) a une pente de 18 %. Les étages A, B et C y sont présents. L'étage D est absent car cet étage n'est jamais émergé. Jumièges (berge rocailleuse) est le type de berge caractéristique de l'estuaire. Sa pente est de 15 %. La couverture végétale est faible et se limite aux secteurs où les phénomènes érosifs sont amoindris, au niveau des pieds des saules (étage B). Ces secteurs sont constitués à 49 % de silts. Les étages A, B et C y sont présents. Le D est considéré comme nu car ne présentant pas de couverture végétale. Villequier, second site témoin, d'une pente de 22%, est constitué à 63 % de silts. Sur cette berge, aucune végétation ne se développe. Vatteville-la-Rue est une vasière (88 % de silts), formée à l'arrière d'un ouvrage en ruine. Sa pente est de 11 %. Les quatre étages y sont différenciés. La vasière de Vieux-Port (88% de silts), s'est formée à l'arrière d'une digue submersible. Sa pente est de 7 %. Les étages A, B, et C se rencontrent à nouveau, l'étage D correspond à la digue submersible. La vasière de Petitville, à l'aval de Vieux-Port, est formée à 80 % de silts. Sa pente est de 4%. Les 4 étages végétatifs (étages A, B C et D) sont présents.

2) Méthodes et Matériels

2.1 Les contraintes hydrauliques « naturelles »

2.2.1 La hauteur d'eau et le temps d'immersion

La hauteur d'eau et le temps d'immersion sont des facteurs sélectifs des espèces végétales et de leur cote d'implantation. Afin d'estimer ces paramètres au niveau de chaque tronçon, les données des marégraphes les plus proches des sites sont utilisées.

2.2.2 Les courants

Différentes études, notamment celles de Guézennec⁽¹⁾ (1999) et celles du Port Autonome de Rouen ont démontré que la vitesse de courant la plus importante est celle enregistrée au flot. Afin d'estimer la contrainte d'arrachement maximale exercée par la vitesse des courants de surface au flot sur les végétaux, une mesure au droit des berges est faite. Cette mesure, effectuée lors des marées de coefficient 60 (coefficient moyen des marées dans la vallée), permet d'estimer la contrainte à laquelle les végétaux sont le plus fréquemment soumis. Le flotteur est alors déposé au pied de la berge (à environ 5 m CMH), avant l'arrivée du flot. La distance parcouru est effectuée à l'aide des repères posé pour les levés topographiques. Effectuée pendant 1 min, elle permet d'estimer la vitesse de courant de surface au moment du flot. La contrainte d'arrachement est appréhendée à l'aide de l'équation présentée dans le guide de Lachat⁽²⁾ (1999). Ne pouvant estimer la hauteur d'eau sous le flotteur, il a été utilisé l'équation prenant en compte la pente du cours d'eau au droit des tronçons.

$$\tau \equiv K_S^{-2} I^{-1/3} V^2 \rho \quad (1)$$

I : pente du cours du lit du fleuve **V** : vitesse du courant au droit des berges (m/s)

ρ : masse volumique de l'eau (1 000 kg/m³) **K_S** : coefficient de Strickler (inverse du coefficient de Manning) prenant en compte la rugosité du cours d'eau.

Les valeurs de coefficient de Strickler seront calculées de la manière présentée par Lachat⁽²⁾ considérant la largeur du cours d'eau et la régularité de la section. Les valeurs de K_S sont alors de 29 et 10.

2.2 Les sollicitations dues au passage de bateaux

Au regard de la bibliographie actuelle et de l'absence de données et d'études sur ces phénomènes dans l'estuaire de la Seine, et étant donné que les modèles disponibles ne répondent pas aux caractéristiques du chenal de la Seine (mais plutôt à ceux des canaux rectilignes), seuls l'abaissement du plan d'eau et le front de courant de retour liés au passage de bateaux seront étudiés. Ces paramètres seront estimés à l'aide de la théorie de Schiffj et de l'abaque correspondant⁽³⁾ (1986). L'abaissement du plan d'eau peut être déterminé en reportant la valeur du coefficient n (rapport de la section mouillée du bateau par la section mouillée du canal) sur la courbe z/h, où z correspond à l'abaissement du plan d'eau et h à la hauteur d'eau moyenne du canal.

Le courant de retour créé par le déplacement d'eau pour compenser l'avancement du bateau et la vitesse limite sont calculés par l'équation suivante présentée par Schiffj :

$$V_R \equiv \frac{S_b V_b}{S - S_b} \quad (2)$$

V_R : vitesse du courant de retour (m/s), **V_b** : vitesse du bateau (m/s),

S_b : le maître couple du bateau S : section mouillée du canal (m^2).
(largeur fois tirant d'eau) en m^2 ,

La contrainte de cisaillement sera ensuite calculée à l'aide de la formule (1).

Une étude statistique permet de regrouper en classes les navires empruntant cette voie, selon leur volume (largeur x longueur x tirant d'eau).

2.3 Les paramètres édaphiques (pédologiques)

Sur chaque étage, des prélèvements de 100 cm^3 , à 30 cm de profondeur (profondeur limite pour le développement des racines), ont été effectués à l'aide d'une tarière et d'une pelle. Ce mode d'échantillonnage n'aura pas d'incidence sur le résultat des analyses car ces dernières peuvent être faites sur des sols remaniés. Sur ces échantillons, la granulométrie et le taux d'humidité ont été déterminés au laboratoire du Port Autonome de Rouen. Les données granulométriques obtenues sont exprimées en pourcentage et les fractions granulométriques sont rangées dans les classes de tailles : silts, sables fins, sables moyens, sables grossiers, graviers et cailloutis. Des analyses ont également été faites afin d'estimer la capacité agronomique des substrats rencontrés sur nos berges. Ainsi le pH, les concentrations en azote total, phosphore, magnésium, potassium et calcium ont été déterminés par un laboratoire normalisé.

2.4 L'inventaire floristique

Le mode de relevé est le transect. Celui-ci consiste à tendre une corde perpendiculaire au fleuve du pied vers le haut du talus. De part et d'autre de cette corde, une bande de 70 cm de chaque côté a été matérialisée ; le taxon a été déterminé à l'intérieur de celle-ci et à chaque étage. Le recouvrement et l'abondance sont notés par les coefficients de Braun et Blanquet (+ = un pied ; 1 = moins de 5% de recouvrement ; 2 = 5 à 25 % de recouvrement ; 3 = 25 à 50 % de recouvrement ; 4 = 50 à 75 % de recouvrement ; 5 = 75 à 100 % de recouvrement).

3) Les résultats

3.1 Les contraintes hydrauliques naturelles

3.3.1 La hauteur d'eau et la durée d'immersion

Comme pour les résultats de Guézennec⁽¹⁾ (1999), les données des marégraphes considérés (Tableau 1) démontrent qu'une variation de la hauteur d'eau selon les coefficients et selon les stations est observable. Le marnage est plus important pour de forts coefficients et pour les sites de l'aval. La cote de basse mer, pour des coefficients de 65, augmente en direction de Poses. Elle passe pour Aizier et Elbeuf, de 3,20 m CMH à 5,71 m CMH.

Cette augmentation de la cote de basse mer, d'aval en amont, s'accompagne d'une variation des effets du marnage. Ceci se traduit par une variation du temps d'immersion. Ils diminuent en direction de l'embouchure et du haut de la berge.

	Elbeuf	Heurteauville	Vatteville-la-Rue Villequier	Vieux-Port Aizier
A	225	10	20	10
B	350	150	170	200
C	500	490	290	310
D	650	525	450	410

Tableau 1 : Temps d'immersion sur chaque étage par cycle de marée (en min)

3.3.2 Le courant

Les mesures de courant (tableau 2) sont inférieures à celles présentées dans les travaux de Verney et al. ⁽³⁾ (2004) et de Guézennec ⁽¹⁾ (1999) mais sont dans le même ordre de grandeur. Les vitesses de courant au flot diminuent en direction de l'amont. Les résultats, obtenus par Guézennec ⁽¹⁾ (1999), démontrent que la morphologie de la Seine joue un rôle sur la vitesse de courant. En effet les vitesses et donc les contraintes sont plus importantes dans les parties linéaires (Jumièges) et sur les rives externes des boucles de la Seine (Villequier).

	ρ	V (m/s)	I	Γ min (N/m²)	Γ max (N/m²)
Cricquebeuf	1000	0,08	0,0040	0,36	1,80
Jumièges	1000	0,3	0,0008	1,74	8,60
Vatteville-la-Rue	1000	0,1	0,0018	0,42	2,06
Villequier	1000	0,4	0,0018	3,34	16,48
Vieux-Port	1000	0,5	0,0010	4,03	19,88
Petiville	1000	0,5	0,0017	4,57	22,59

ρ : masse volumique de l'eau (1 000 kg/m³) et Γ : contrainte.

Ks min : 29 et Ks max : 10

Tableau 2 : Vitesse du courant au flot

3.3.3 Les contraintes hydrauliques engendrées par le passage des bateaux

Les résultats permettent de constater que l'abaissement du niveau du plan d'eau et la vitesse du courant de retour augmentent avec les caractéristiques des bateaux. Ces paramètres sont également conditionnés par la morphologie de la voie d'eau. Ainsi, pour les sites en aval de Rouen, les valeurs diminuent de l'amont à l'aval, pour toutes les classes de bateaux : la comparaison des résultats pour Cricquebeuf-sur-Seine avec les autres tronçons étudiés permet de relever que les petits bateaux (comme les péniches) exerceraient une contrainte de cisaillement dix fois plus importante sur ce tronçon que sur les autres (0,27 N/m² contre 0,02 N/m²). Les paramètres du canal semblent être les principaux facteurs conditionnant les effets des passages des bateaux.

	Cricquebeuf -sur-Seine	Jumièges		Vatteville-la- Rue Villequier		Vieux-Port		Petitville	
Largeur du bateau (m)	13	13	32	13	32	13	32	13	32
Tirant d'eau (m)	4	4	8	4	8	4	8	4	8
Largeur de la Seine (m)	167	250	250	495	495	296	296	475	475
Profondeur (m)	10	16.8	16.8	13.7	13.7	20.9	20.9	14	14
Section mouillée de la Seine (m²)	1670	4200	4200	6781.5	6781.5	6186.4	6186.4	6650	6650
Section mouillée du bateau (m²)	52	52	256	52	256	52	256	52	256
Z (m)	1,2	1.34	2.69	1.1	1.92	1.67	2.93	1.12	1.96
VI (m/s)	8	11.53	9.49	10.4	8.5	12.9	10.6	10.5	8.614
Vr (m/s)	0.19	0.08	0.39	0.05	0.24	0.05	0.26	0.05	0.24
τ min (N/m²)	0.27	0.08	1.93	0.29	0.68	0.02	0.66	0.02	0.57

Z : abaissment du plan d'eau, VI : vitesse limite des bateaux, Vr : vitesse de courant de retour et Ks : 29

Tableau 3 : Tension de cisaillement aux passages des bateaux

3.2 Les paramètres édaphiques

Les résultats des différentes analyses montrent une variation verticale des paramètres pédologiques. Pour le site de Vieux-Port, le taux d'humidité de l'étage C est de 70% et le haut du talus (étage A) a un taux d'humidité de 10%. Le diamètre des particules augmente vers le haut de la berge. Ces paramètres sont aussi distribués longitudinalement dans l'estuaire. Les sites à proximité de l'embouchure, sont constitués à 88 % de silts et cette proportion diminue vers l'amont. Cette distribution granulométrique va conditionner les paramètres chimiques. Les berges proches de l'embouchure de la Seine et celles à l'intérieur des courbes sont essentiellement formées d'éléments fins et donc riches en éléments nutritifs. Le site de Petitville a une concentration en azote total de 3 g/kg alors que celle de Cricquebeuf-sur-Seine est de 1,5 g/kg. De cette analyse, il apparaît que les paramètres édaphiques sont inter-reliés, et que les berges composées de particules fines sont riches en éléments nutritifs.

3.3 Les relevés floristiques

Les ceintures végétales des berges étudiées sont constituées d'espèces liées aux milieux humides. Une répartition verticale est soulignée par ces relevés. Ainsi, les pieds des berges (étages D et C) sont occupés par des végétaux hygrophiles ; les hauts de berges (A et B) par des espèces mésohygrophiles. Les étages B et C sont des étages de transition où l'on rencontre des espèces des milieux hygrophiles à mésohygrophiles. La comparaison des coefficients de Braun-Blanquet sur l'abondance permet de constater que la diversité augmente en direction du haut de talus, mais diminue en direction de l'amont de l'estuaire. Il a également été mis en évidence l'omniprésence de certaines

espèces comme le Faux roseau (*Phalaris arundinacea*), la Rorippe aquatique (*Rorippa palustris*), et le Poivre d'eau (*Polygonum hydropiper*) ; et la spécificité de certaines espèces à un milieu comme la Laîche hérissée (*Carex hirta*), caractéristique des berges sableuses. L'Oenanthe safranée (*Oenanthe crocata*), la Salicaire commune (*Lythrum salicaria*), le Scirpe trigone (*Scirpus triquetus*) et le Scirpe des marais (*Eleocharis palustris*) sont caractéristiques des vasières et des milieux halins et sont présentes sur les berges proches de l'embouchure.

4) Discussion et conclusion

Ce travail a mis en évidence une variation longitudinale et verticale des paramètres étudiés. Les secteurs à proximité de l'embouchure subissent l'influence du bouchon vaseux et sont plus riches en silts et en sels nutritifs alors que ceux en amont sont composés de sables et de graviers. Cette variation résulte également des phénomènes hydrodynamiques, notamment les courants de marée. Ces paramètres sont amoindris soit par une pente faible (moins de 10 %), soit par des ouvrages de type « brise-lame ». La durée d'immersion se traduit par une variation verticale des paramètres. Les pieds de berges sont immergés plus longtemps, permettant ainsi la chute des éléments fins et fertiles. Il se développe alors une strate homogène monospécifique adaptée à des durées d'immersion importantes. En remontant vers le haut de berge, la durée d'immersion diminue engendrant une augmentation de la granulométrie, ceci se traduira par le développement d'une ceinture de transition avec des espèces hygrophiles et des espèces des milieux plus secs supportant des durées d'émersion longues. Les courants de marées sont également des facteurs sélectifs de la composition floristique : les espèces des pieds de berges sont des espèces élastiques, ayant une reproduction essentiellement végétative, et supportant le remaniement de leur substrat, alors que les espèces végétales en haut de berge cassent et ont une reproduction sexuée.

Ce travail permet de relever que les phénomènes hydrauliques liés aux marées ont plus d'incidences que les phénomènes liés aux passages de bateaux. Les paramètres calculés pour les tronçons de Petitville et de Cricquebeuf-sur-Seine sont de même ordre de grandeur. Ainsi, les phénomènes hydrauliques « naturels » constituent le facteur sélectif direct et indirect de la composition floristique des berges.

Pour les autres paramètres hydrauliques étudiés (courant et abaissement du plan d'eau), il est important de discuter quelques points sur la méthode mise en œuvre pour la mesure de la vitesse de courant, et sur les résultats obtenus. Tout d'abord, la mesure n'a pas été reproduite, ainsi les erreurs liées à l'environnement n'ont pas été amoindries. Ensuite, l'équation n'est pas vraiment adaptée à la Seine mais plutôt aux cours d'eau non tidaux. Cette inexactitude est démontrée pour les contraintes d'arrachement extrêmes, notamment sur le tronçon de Petitville. Par cette approche, on trouve 22 N/m² alors que lors des travaux de Verney et al ⁽⁴⁾ (2004), la valeur maximale observée est de 4 N/m². Cette valeur extrême est essentiellement due à une faible valeur du coefficient de Strickler. Pour les phénomènes liés aux passages de bateaux, des critiques peuvent également être émises. La théorie de Schiffj est simple, mais elle ne prend pas en compte la forme de la coque des bateaux et néglige les frottements sur celle-ci, ainsi que la vitesse des bateaux dans le chenal. Les résultats obtenus doivent donc être analysés avec prudence. Depuis l'élaboration de ces théories, différents travaux, notamment ceux du

laboratoire de Delft et d'Arlinghaus ⁽⁵⁾ (2004) ont démontré que les valeurs des paramètres liés aux passages de bateaux augmentent parallèlement avec la vitesse, la puissance ou la charge des bateaux, mais également avec le rapprochement de la berge. L'ensemble des observations présentées dans cet article et rappelées dans les résultats de cette étude permettent de proposer des bases pour la mise en œuvre d'un dispositif d'aménagement de berges végétales. L'une des principales actions est d'adopter une pente inférieure à 10%, permettant de diminuer l'opposition de la berge à l'énergie développée par les différents phénomènes hydrauliques, et créant les conditions propices pour la mise en place d'un substrat fin, riche en éléments nutritifs. Il sera alors possible d'adopter un profil complètement naturel (figure 3), avec les espèces végétales aux cotes et aux durées d'immersion correspondantes.

Figure 2 : profil type naturel des berges de la Seine

Plusieurs difficultés apparaissent, notamment celle de l'emprise foncière. En effet, une pente de 10% nécessite une largeur importante (20 m de large pour 2 m de haut). Il apparaît plus judicieux d'adopter des profils semi-végétaux combinant des ouvrages du génie civil qui constitueront des brises vagues. Au terme de cette étude, il serait certainement intéressant de quantifier ou d'estimer les paramètres hydrauliques au niveau de chaque étage végétatif, mais également d'étudier les effets du passage des bateaux sur les berges et de les comparer aux effets des paramètres naturels. Les paramètres mécaniques et la nature du substrat devront également être approfondis pour améliorer l'explication de la fragilité des berges (érosion).

Bibliographie

- 1 Guézennec L., (1999), Hydrodynamique et transport en suspension du matériel particulaire fin dans la zone fluvial d'un estuaire macrotidal : exemple de l'estuaire de la Seine (France), Thèse, Univ. Rouen et Caen, 222p
- 2 Lachat B., (1994), Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales. Ministère de l'Environnement, Rhône-Alpes, 143 p.
- 3 Laboratoire Central Hydraulique de France, (1986), Sollicitations hydrodynamiques du talus sous fluvial des berges, 167p.
- 4 Verney R. et al, (2004)
- 5 Arlinghaus R., (2004), A model of Navigation-Induced Currents in Inland Waterways and Implications for Juvenile Fish Displacement, Environmental Management, 34 (5), 656-668.