

## RECOMMANDATIONS DU WG141 SUR LA CONCEPTION DES VOIES NAVIGABLES - LE CAS DE BRAY-NOGENT

par

*Jean-Marc Deplaix*<sup>1</sup>

Le groupe de travail 141 de l'AIPCN a remis son rapport fin 2017. Il sera publié au début du 2<sup>ème</sup> trimestre 2018.

Un des résultats importants de WG141 est un tableau montrant les dimensions recommandées des voies navigables en fonction de la largeur du bateau (voir **Tableau 10**, et Söhngen, 2015).

Pour le décideur désireux de comprendre ce qu'il signe, pour un ingénieur confronté pour la première fois à une conception de voie navigable, ou pour les béotiens, ce tableau est d'un grand intérêt, mais ils manquent de compréhension sur la façon de choisir une valeur plutôt que l'autre, et comment on en était arrivé à ces chiffres.

### Éléments-clé d'analyse

Il y a quatre éléments essentiels auxquels il faut répondre avant de commencer un projet.

Tout d'abord, quel est le bateau de projet, sa largeur, son tirant d'eau, sa longueur et son "tirant d'air". Presque tous les calculs dépendent de ce bateau de projet. (Mais pour choisir la taille du bateau de projet, vous devrez peut-être étudier le cours d'eau, d'abord, voir ci-dessous).

Deuxièmement, s'agit-il d'une rivière à courant libre, d'une rivière canalisée ou d'un canal? Le tableau à utiliser est différent dans chaque cas, bien que la référence habituelle soit le tableau pour les canaux.

Troisièmement, quel est le trafic de projet, calculé en bateau/année. En effet, alors que les marges de sécurité ne sont pas les mêmes pour un trafic léger ou très élevé, ces tableaux sont souvent utilisés comme si le trafic était de 200Mt/an (qualité A), alors qu'il peut être inférieur à un million (qualité C).

Quatrièmement, en supposant que la voie navigable soit un canal, quelle est sa forme? Trapézoïdal, rectangulaire, RT<sup>2</sup>? Pour chacun, la vitesse obtenue par le bateau de projet pour une même consommation sera différente.

Parfois, nous connaissons la taille de la voie navigable plutôt que la taille du bateau, et nous essayons d'évaluer quel sera le plus grand bateau de conception qui puisse y être logé. Les mêmes tableaux s'appliquent, utilisés en sens inverse.

Il peut arriver que ce soit seulement un goulot d'étranglement qui limitera ou dimensionnera le bateau de projet, un pont ou une écluse; encore une fois, nous pouvons utiliser les mêmes références, lues de manière spécifique, pondérant l'impact du goulot d'étranglement dans le voyage global.

### Application au projet Bray-Nogent

Pour bien expliquer cela, on va appliquer la méthodologie à un exemple précis, le projet de mise à grand gabarit de la liaison fluviale Bray/Seine-Nogent/Seine. Ainsi, il sera facile pour les nouveaux venus d'utiliser pleinement le rapport WG141, où ils trouveront tous les détails des calculs, des formules, du processus de modélisation, etc. La méthodologie appliquée pour déterminer le niveau de qualité et de sécurité nécessaire pour toute voie navigable est assez simple, et peut être appliquée à cette voie d'eau entre Bray et Nogent (Projet Bray-Nogent).

---

<sup>1</sup> Consultant, Paris, [jm.deplaix@free.fr](mailto:jm.deplaix@free.fr). Membre de la Commission CoCom de l'AIPCN

<sup>2</sup> Profils proposés par les recommandations allemandes, vertical d'un côté et trapézoïdal de l'autre.

Il convient d'abord de distinguer les parties du trajet en canal et celles en rivière, et ensuite de déterminer le niveau actuel de qualité et de sécurité. En deuxième lieu, on détermine le niveau nécessaire pour atteindre les objectifs visés sur le plan du gabarit. Enfin, on applique ce niveau dans le tableau synthétique qui permet d'en déduire les dimensions du chenal à respecter sur l'itinéraire, selon que l'on recherche une voie unique ou à double sens.

Il est nécessaire par ailleurs de situer le projet au sein d'un itinéraire, afin d'éviter de se fixer des normes trop élevées par rapport au reste de l'itinéraire, tout en respectant les possibilités d'évolution futures.

Le projet Bray-Nogent comporte 2 trajets en canal, le Canal de Beaulieu et le canal à l'aval de l'écluse de Jaulnes, et 3 trajets en rivière. On se contentera de deux analyses, une en canal, l'autre en rivière.

### Itinéraire Haute Seine

Par contre, il s'intègre dans un itinéraire, la Seine dans Paris, la Haute Seine et la Petite Seine, de Paris Bir-Hakeim à l'écluse de la Grande Bosse, entièrement en rivière, qu'il convient d'analyser en premier, car il conditionne les caractéristiques d'accès au projet.

Dans la méthodologie AIPCN, il y a 3 groupes de critères d'analyse, liés aux conditions nautiques, à la vitesse et au trafic. Leur analyse détaillée est faite dans le powerpoint présenté au Congrès.

Le Tableau 1 synthétise l'analyse.

Suite à des réflexions faites lors de l'application de la méthodologie au réseau de canaux Freycinet, en France, on y a modifié l'un des critères concernant la vitesse, en utilisant la distance parcourue en 6 heures plutôt qu'un critère très technique sur la gamme de vitesse, mais sans modifier dans un premier temps les pondérations du WG141.

HAUTE SEINE & PETITE SEINE / Critères		La facilité de navigation est élevée si les arguments suivants sont vérifiés		Dans les cas suivants, la facilité de navigation est mauvaise		Note	Poids	Poids global	Commentaire
1er groupe de notes: Critères liés à la voie navigable	Règles de notation pour les critères liés à la voie navigable: La note est +1, si l'affirmation dans la colonne de gauche, verte, est vraie, -1 si c'est celle de la colonne de droite, rouge. Si aucun des deux n'est vrai, ou si les 2 sont vrais, la note est 0.								
	1	Profondeur, type de marchandises et de mode d'exploitation	Bateaux vides ou ballastés, pas de marchandises dangereuses, profondeur d'eau suffisante	Bateaux chargés, en particulier de marchandises dangereuses, dans des voies d'eau peu profondes	-0,5	1/7	-0,5	Pied de pilote faible (0,4m), peu de march. dangereuses	
	2	Niveau d'entraînement, habileté et expérience des pilotes	Pilotes hautement qualifiés et expérimentés	Pilotes peu entraînés, mauvaise connaissance des particularités de la voie et de l'infrastructure	1	1/7	1	Peu d'accidents, bons pilotes	
	3	Niveaux d'attention, distraction et stress des pilotes	Faible nombre de manoeuvres, peu de croisements ou de ponts	Longs biefs, navigation lénifiante ou au contraire fréquentes manoeuvres	0	1/7	0	Navigation moyennement difficile	
	4	Largeur, situation, niveaux de danger, dommages possibles	Chenal confortable, berges en pente, murs guides, digues et petits épis	Chenal étroit, immeubles à proximité, berges verticales, bateaux amarrés, danger élevé en cas d'accident	-0,5	1/7	-0,5	Chenal plutôt étroit, berges rocheuses par endroits	
	5	Stabilité et qualité des conditions de navigation	Berges régulières, faites de sable ou de gravier, avec des vents faibles ou abrité	Turbulences, courants traversiers, berges irrégulières, longs épis, lit rocheux, vent et brouillard fréquents	0	1/7	0	Chenal régulier mais rocheux	
	6	Type de trafic, croisements, proximité de la berge	2 ou plus de lignes de navigation, interactions avec la berge acceptées	Voies à sens unique, ou au contraire beaucoup de manoeuvres et de dépassements	1	1/7	1	Chenal à 2 lignes de navigation	
	7	Equipements et instruments de navigation du bateau	Forts boteurs actifs ou passifs, forte puissance, 2 lignes d'arbre, systèmes d'information optimaux	Gouvernail arrière seul, ou trop petit boteur, bateaux de mer, faibles moteurs, pas de systèmes d'information	+0,5	1/7	+0,5	Matériel adéquat mais ancien	
2ème groupe de notes: critères liés à la vitesse du bateau	Règles de notation pour les critères liés à la vitesse, selon la vitesse d'objectif (1 <sup>ère</sup> ligne ci-dessous) ou la gamme de vitesse nécessaire (2ème ligne ci-dessous), appliquez la note qui figure entre parenthèses, ou interpolez si besoin								
	8	Vitesse d'objectif par rapport à la berge	≥ 13 km/h (1)	10 – 12 km/h (0,5)	5 – 9 km/h (0)	< 4 km/h (-1)	1	2/4	2
9	Distance parcourue en 6h, avalant	≥ 75 km (+1; +0,7)	≥ 40 km (+0,69; 0)	≥ 25 km (-0,01; -0,74)	< 25 km (-0,75; -1)	+0,3	2/4	0,6	Présence d'écluses, qui diminuent la distance parcourue en 6h (54km)
3ème groupe de notes: facteurs liés à la densité du trafic	Règles de notation selon la densité de trafic : appliquez la note figurant entre parenthèses ci-dessous								
	10	Gêne due aux bateaux de plaisance, en particulier ceux à rames	Pas d'influence sur la vitesse (+1)	Gêne de faible importance à la navigation commerciale (0)	Fort effet négatif sur la vitesse moyenne (-1)	0	4/9	0	Peu de trafic de plaisance
	11	Limitation de la vitesse en cas de forte densité du trafic commercial	< 5,000 bateaux par an (+1)	5,000 – 15,000 bateaux par an (+0,5)	15,000 – 30,000 bateaux par an (-0,5)	> 30,000 bateaux par an (-1)	+0,5	5/9	+2,5
Score total: somme des notes individuelles multipliées par le poids, à reporter dans la dernière colonne = 7/20 = +0,35									

Tableau 1 : Analyse de l'état actuel du trajet Paris-La Grande Bosse

Dans la méthodologie AIPCN (Tableau 2 ci-dessous), une telle notation correspond à une voie d'eau de qualité A, mais juste à la limite du B, ce qui dénote une voie à grand gabarit de caractéristiques réduites. Ceci correspond assez bien au ressenti des bateliers. On a légèrement modifié les limites des notes, 0,33 au lieu de 0,40 dans le rapport du WG141, afin que chaque qualité couvre une gamme de notes égale à 0,66.

restrictions:															
presqu'aucune				légères à notables				fortes							
<b>A</b>				<b>B</b>				<b>C</b>							
facilité de navigation															
navigation facile				pas vraiment facile				secteur piègeux							
Note															
.+1,0	+0,8	+0,6	+0,34	+0,2	0,0	-0,2	-0,33	-0,6	-0,8	-1					

**Tableau 2 : Classes de facilité de navigation**

Les critères de notation qui ont été suivis pour les interpolations sont les suivants :

Pour le trajet parcouru en 6 heures :

Km/6h	1	90	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20
note	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,25	-0,50	-0,75	-1

La note est la même pour la situation actuelle ou future

**Tableau 3 : Notation détaillée pour le trajet parcouru en 6 heures**

: Pour le niveau de trafic :

Trafic en milliers de bateaux/an	30	25	20	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Note pour situation actuelle	-1	-0,66	-0,33	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Note pour situation future	1	0,66	0,33	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1

**Tableau 4 : Notation détaillée pour le niveau de trafic**

Comme il n'est pas prévu d'améliorer la Haute Seine ni la partie aval de la Petite Seine, de Montereau à la Grande Bosse, il n'est pas nécessaire d'évaluer le niveau de qualité et de sécurité d'un projet futur pour cette voie d'eau.

On peut donc passer directement à l'évaluation de la partie en canal et de la partie en rivière du projet Bray-Nogent (Petite Seine Amont).

### Analyse de l'état actuel de la voie d'eau

Pour se rendre compte des caractéristiques de l'endroit, il est utile de quantifier la qualité de l'infrastructure actuelle. On valide ainsi la pertinence des clés d'analyse. On recherchera ensuite le niveau de qualité et de sécurité nécessaire pour le nouveau projet de voie d'eau Bray-Nogent à grand gabarit. On en déduira ensuite les caractéristiques de dimensionnement à recommander pour respecter ce niveau.

La partie en rivière, lorsqu'elle est évaluée avec les pondérations précédentes, correspond au tableau suivant, qui reviendrait à estimer que la Petite Seine Amont, au milieu de la catégorie A, est infiniment plus facile à naviguer que la Haute Seine, ce qui est assez loin du ressenti des bateliers.

Les notes individuelles des 11 critères ne sont pas en cause :

- La profondeur est très réduite, mais meilleure que celle du réseau Freycinet
- Le niveau d'entraînement des pilotes est le même que celui de la haute Seine

PIANC-World Congress Panama City, Panama 2018

- Le niveau de stress est moyen, car même si la voie est étroite et oblige à une forte attention, le trafic est très faible et ne nécessite que rarement des manœuvres. Il n'y a par ailleurs qu'un seul pont problématique, en virage
- Le chenal est étroit ; par contre il y a peu d'enjeux potentiels et les berges sont sablonneuses
- Les conditions de navigation sont stables, avec brouillard fréquent et forts courants en crue, dans un chenal étroit mais peu dangereux
- Il y a officiellement 2 lignes de navigation, mais avec les grands bateaux qui y passent actuellement seule la faiblesse du trafic permet une navigation aisée, semblable à une navigation unidirectionnelle, car les berges ne sont pas dangereuses et peuvent être touchées sans dommages
- Enfin, les bateaux sont de bonne qualité, bien équipés mais anciens pour la plupart. La note globale de ce groupe de critères est de 0,8 sur 7
- La vitesse autorisée est de 12 km/h
- La distance parcourue en 6 heures est de l'ordre de 40 km. La note globale de ce groupe de critères est ainsi de 1 sur 4
- La gêne due à la plaisance est insignifiante, même s'il existe un stade de vitesse sur l'un des biefs
- Et le trafic inférieur à 5.000 bateaux/an font que ce groupe de critère devient décisif, avec une note de 9 sur 9

PETITE SEINE AMONT - ETAT ACTUEL / Critères		La facilité de navigation est élevée si les arguments suivants sont vérifiés	Dans les cas suivants, la facilité de navigation est mauvaise		Note	Poids	Poids global	Commentaire	
1er groupe de notes: Critères liés à la voie navigable	Règles de notation pour les critères liés à la voie navigable: La note est +1, si l'affirmation dans la colonne de gauche, verte, est vraie, -1 si c'est celle de la colonne de droite, rouge. Si aucun des deux n'est vrai, ou si les 2 sont vrais, la note est 0.						7/20 = 35%	<b>0,8</b>	
	1	Profondeur, type de marchandises et de mode d'exploitation	Bateaux vides ou ballastés, pas de marchandises dangereuses, profondeur d'eau suffisante	Bateaux chargés, en particulier de marchandises dangereuses, dans des voies d'eau peu profondes	-0,9	1/7	-0,9	Chenal étroit et peu profond, peu de march. dangereuses	
	2	Niveau d'entraînement, habileté et expérience des pilotes	Pilotes hautement qualifiés et expérimentés	Pilotes peu entraînés, mauvaise connaissance des particularités de la voie et de l'infrastructure	0,9	1/7	0,9	Peu d'accidents, voie difficile même pour de bons pilotes	
	3	Niveaux d'attention, distraction et stress des pilotes	Faible nombre de manœuvres, peu de croisements ou de ponts	Longs biefs, navigation lénifiante ou au contraire fréquentes manœuvres	0	1/7	0	Navigation assez difficile, oblige à une forte attention	
	4	Largeur, situation, niveaux de danger, dommages possibles	Chenal confortable, berges en pente, murs guides, digues et petits épis	Chenal étroit, immeubles à proximité, berges verticales, bateaux amarrés, danger élevé en cas d'accident	-0,2	1/7	-0,2	Chenal plutôt étroit, berges sableuses, forts virages, faible dommages potentiels	
	5	Stabilité et qualité des conditions de navigation	Berges régulières, faites de sable ou de gravier, avec des vents faibles, ou biefs abrités	Turbulences, courants transversiers, berges irrégulières, longs épis, lit rocheux, vent et brouillard fréquents	0	1/7	0	Chenal régulier, forts courants en crue, vents faibles, brouillard fréquent	
	6	Type de trafic, croisements, proximité de la berge	2 ou plus de lignes de navigation, interactions avec la berge acceptées	Voies à sens unique, ou au contraire beaucoup de manœuvres et de dépassements	0,5	1/7	0,5	Chenal à 2 lignes de navigation, peu de trafic	
	7	Equipements et instruments de navigation du bateau	Forts boteurs actifs ou passifs, forte puissance, 2 lignes d'arbre, systèmes d'information optimaux	Gouvernail arrière seul, ou trop petit boteur, bateaux de mer, faibles moteurs, pas de systèmes d'information	0,5	1/7	0,5	Matériel adéquat mais ancien	
2ème groupe de notes: critères liés à la vitesse du bateau	Règles de notation pour les critères liés à la vitesse, selon la vitesse d'objectif (1 <sup>ère</sup> ligne ci-dessous) ou la distance parcourue (2ème ligne ci-dessous), appliquez la note qui figure entre parenthèses, ou interpolez si besoin						4/20 =20%	<b>1</b>	
	8	Vitesse d'objectif par rapport à la berge	≥ 13 km/h (1)	10 – 12 km/h (0.5)	5 – 9 km/h (0)	< 4 km/h (-1)	0,5	2/4	1
9	Distance parcourue en 6h, avalant	≥ 75 km (+1 ; +0,7)	≥ 40 km (+0.69 ; 0)	≥ 25 km (-0,01 ; -0.74)	< 25 km (-0,75 ; -1)	0	2/4	0	Présence d'écluses, qui diminuent la distance parcourue en 6h (40km)
3ème groupe de notes: facteurs liés à la densité du trafic	Règles de notation selon la densité de trafic : appliquez la note figurant entre parenthèses ci-dessous						9/20 =45%	<b>9</b>	
	10	Gêne due aux bateaux de plaisance, en particulier ceux à rames	Pas d'influence sur la vitesse (+1)	Gêne de faible importance à la navigation commerciale (0)	Fort effet négatif sur la vitesse moyenne (-1)	1	4/9	4	Peu de trafic de plaisance
11	Limitation de la vitesse en cas de forte densité du trafic commercial	< 5,000 bateaux par an (+1)	5,000 – 15,000 bateaux par an (+0.5)	15,000 – 30,000 bateaux par an (-0.5)	> 30,000 bateaux par an (-1)	1	5/9	5	3.000 bateaux/an
Score total: somme des notes individuelles multiplies par le poids, à reporter dans la dernière colonne = 10,8/20 = +0,54									

Tableau 5: Evaluation initiale de l'état actuel du trajet Bray-Nogent

L'application des mêmes coefficients de pondération que ceux retenus par le Groupe d'études de l'AIPCN, notamment celui de densité de trafic, conduit ainsi à des notes de qualité ne correspondant pas au ressenti des navigants. Comme indiqué dans le rapport du Groupe d'études, il convient alors de modifier les pondérations pour pouvoir se rapprocher du ressenti local.

Après plusieurs tests, on en est venu à proposer une pondération inversée entre les critères liés à la vitesse (qui passent de 4 à 9 points) et ceux liés à la densité de trafic (qui



passent de 9 à 4 points). Sans modification des notes individuelles, le tableau (indice « ter ») devient alors (Tableau 6) :

PETITE SEINE AMONT - ETAT ACTUEL ter / Critères		La facilité de navigation est élevée si les arguments suivants sont vérifiés		Dans les cas suivants, la facilité de navigation est mauvaise		Note	Poids	Poids global	Commentaire	
1er groupe de notes: Critères liés à la voie navigable	Règles de notation pour les critères liés à la voie navigable: La note est +1, si l'affirmation dans la colonne de gauche, verte, est vraie, -1 si c'est celle de la colonne de droite, rouge. Si aucun des deux n'est vrai, ou si les 2 sont vrais, la note est 0.									
	1	Profondeur, type de marchandises et de mode d'exploitation	Bateaux vides ou ballastés, pas de marchandises dangereuses, profondeur d'eau suffisante	Bateaux chargés, en particulier de marchandises dangereuses, dans des voies d'eau peu profondes		-0,9	1/7	-0,9	Chenal étroit et peu profond, peu de march. dangereuses	
	2	Niveau d'entraînement, habileté et expérience des pilotes	Pilotes hautement qualifiés et expérimentés	Pilotes peu entraînés, mauvaise connaissance des particularités de la voie et de l'infrastructure		0,9	1/7	0,9	Peu d'accidents, voie difficile même pour de bons pilotes	
	3	Niveaux d'attention, distraction et stress des pilotes	Faible nombre de manoeuvres, peu de croisements ou de ponts	Longs biefs, navigation lénifiante ou au contraire fréquentes manoeuvres		0	1/7	0	Navigation assez difficile, oblige à une forte attention	
	4	Largeur, situation, niveaux de danger, dommages possibles	Chenal confortable, berges en pente, murs guidés, digues et petits épis	Chenal étroit, immeubles à proximité, berges verticales, bateaux amarrés, danger élevé en cas d'accident		-0,2	1/7	-0,2	Chenal plutôt étroit, berges sableuses, forts virages, faible dommages potentiels	
	5	Stabilité et qualité des conditions de navigation	Berges régulières, faites de sable ou de gravier, avec des vents faibles, ou biefs abrités	Turbulences, courants traversiers, berges irrégulières, longs épis, lit rocheux, vent et brouillard fréquents		0	1/7	0	Chenal régulier, forts courants en crue, vents faibles, brouillard fréquent	
	6	Type de trafic, croisements, proximité de la berge	2 ou plus de lignes de navigation, interactions avec la berge acceptées	Voies à sens unique, ou au contraire beaucoup de manoeuvres et de dépassements		0,5	1/7	0,5	Chenal à 2 lignes de navigation, peu de trafic	
	7	Equipements et instruments de navigation du bateau	Forts boteurs actifs ou passifs, forte puissance, 2 lignes d'arbre, systèmes d'information optimaux	Gouvernail arrière seul, ou trop petit boteur, bateaux de mer, faibles moteurs, pas de systèmes d'information		0,5	1/7	0,5	Matériel adéquat mais ancien	
2ème groupe de notes: critères liés à la vitesse du bateau	Règles de notation pour les critères liés à la vitesse, selon la vitesse d'objectif (1 <sup>ère</sup> ligne ci-dessous) ou la distance parcourue (2ème ligne ci-dessous), appliquez la note qui figure entre parenthèses, ou interpolez si besoin									
	8	Vitesse d'objectif par rapport à la berge	≥ 13 km/h (1)	10 – 12 km/h (0.5)	5 – 9 km/h (0)	< 4 km/h (-1)	0,5	5/9	2,5	12 km/h
	9	Distance parcourue en 6h, avant	≥ 75 km (+1 ; +0,7)	≥ 40 km (+0.69 ; 0)	≥ 25 km (-0,01 ; -0,74)	< 25 km (-0,75 ; -1)	0	4/9	0	Présence d'écluses, qui diminuent la distance parcourue en 6h (40km)
3ème groupe de notes: facteurs liés à la densité du trafic	Règles de notation selon la densité de trafic : appliquez la note figurant entre parenthèses ci-dessous									
	10	Gêne due aux bateaux de plaisance, en particulier ceux à rames	Pas d'influence sur la vitesse (+1)	Gêne de faible importance à la navigation commerciale (0)		Fort effet négatif sur la vitesse moyenne (-1)	1	2/4	2	Peu de trafic de plaisance
	11	Limitation de la vitesse en cas de forte densité du trafic commercial	< 5,000 bateaux par an (+1)	5,000 – 15,000 bateaux par an (+0.5)	15,000 – 30,000 bateaux par an (-0.5)	> 30,000 bateaux par an (-1)	1	2/4	2	3.000 bateaux/an
<b>Score total: somme des notes individuelles multipliées par le poids, à reporter dans la dernière colonne = 7,3/20 = +0,365</b>										

**Tableau 6 Evaluation finale de l'état actuel du trajet Bray-Nogent en rivière**

On obtient ainsi une évaluation plus proche du ressenti des bateliers. Bien que facile à naviguer, sa profondeur insuffisante et beaucoup de virages serrés placent la partie en rivière de l'itinéraire Bray-Nogent dans la catégorie A, mais très proche de la catégorie B, une appréciation cohérente avec la note donnée à la Haute Seine.

Pour la partie en canal, ci-après, la nouvelle pondération permet une adéquation correcte de la notation avec l'opinion des bateliers. L'ancienne notation plaçait ce canal dans le haut de la catégorie B, alors que c'est un goulot d'étranglement sur le plan du gabarit et une voie difficile à négocier. La nouvelle pondération le place juste au milieu de la catégorie B, peut-être même légèrement au-dessus du ressenti des bateliers.



**Figure 1 Croisement dans le canal de Beaulieu (Photo Céline Dobbelaere)**

Il est clair qu'aujourd'hui ces canaux ne correspondent pas à la taille des bateaux qui les empruntent, rendant les croisements difficiles pour les bateaux de plus de 7,50 m de large (Canal de Beaulieu, voir **Figure 1** avec bateaux de seulement 8 et 9 m de large). Les croisements sont même impossibles dans la coupure de Jaulnes, en courbe.

Avec ces nouvelles pondérations, on aboutit au tableau suivant :

Parties en CANAL entre BRAY et NOGENT Etat actuel ter / Critères		La facilité de navigation est élevée si les arguments suivants sont vérifiés	Dans les cas suivants, la facilité de navigation est mauvaise		Note	Poids	Poids global	Commentaire			
1er groupe de notes: Critères liés à la voie navigable		Règles de notation pour les critères liés à la voie navigable: La note est +1, si l'affirmation dans la colonne de gauche, verte, est vraie, -1 si c'est celle de la colonne de droite, rouge. Si aucun des deux n'est vrai, ou si les 2 sont vrais, la note est 0.						7/20 = 35%	<b>1</b>		
		1	Profondeur, type de marchandises et de mode d'exploitation	Bateaux vides ou ballastés, pas de marchandises dangereuses, profondeur d'eau suffisante	Bateaux chargés, en particulier de marchandises dangereuses, dans des voies d'eau peu profondes		-1	1/7	-1	Chenal très étroit et peu profond, croisements chargés difficiles	
		2	Niveau d'entraînement, habileté et expérience des pilotes	Pilotes hautement qualifiés et expérimentés	Pilotes peu entraînés, mauvaise connaissance des particularités de la voie et de l'infrastructure		1	1/7	1	Peu d'accidents, bons pilotes	
		3	Niveaux d'attention, distraction et stress des pilotes	Faible nombre de manoeuvres, peu de croisements ou de ponts	Longs biefs, navigation lénifiante ou au contraire fréquentes manoeuvres		0	1/7	0	Navigation peu difficile	
		4	Largeur, situation, niveaux de danger, dommages possibles	Chenal confortable, berges en pente, murs guides, digues et petits épis	Chenal étroit, immeubles à proximité, berges verticales, bateaux amarrés, danger élevé en cas d'accident		0	1/7	0	Chenal très étroit, berges sableuses, peu de danger en cas d'accident	
		5	Stabilité et qualité des conditions de navigation	Berges régulières, faites de sable ou de gravier, avec des vents faibles, ou biefs abrités	Turbulences, courants traversiers, berges irrégulières, longs épis, lit rocheux, vent et brouillard fréquents		0,3	1/7	0,3	Chenal régulier mais étroit, peu de vent, brouillards fréquents	
		6	Type de trafic, croisements, proximité de la berge	2 ou plus de lignes de navigation, interactions avec la berge acceptées	Voies à sens unique, ou au contraire beaucoup de manoeuvres et de dépassements		0,2	1/7	0,2	Chenal peu adéquat pour 2 lignes de navigation	
		7	Equipements et instruments de navigation du bateau	Forts boteurs actifs ou passifs, forte puissance, 2 lignes d'arbre, systèmes d'information optimaux	Gouvernail arrière seul, ou trop petit boteur, bateaux de mer, faibles moteurs, pas de systèmes d'information		0,5	1/7	0,5	Matériel adéquat mais ancien	
2ème groupe de notes: critères liés à la vitesse du bateau		Règles de notation pour les critères liés à la vitesse, selon la vitesse d'objectif (1 <sup>ère</sup> ligne ci-dessous) ou la gamme de vitesse (2ème ligne ci-dessous), appliquez la note qui figure entre parenthèses, ou interpolez si besoin						9/20 =45%	<b>-3</b>		
		8	Vitesse d'objectif par rapport à la berge	≥ 13 km/h (1)	10 – 12 km/h (0.5)	5 – 9 km/h (0)	< 4 km/h (-1)	0	5/9	0	6 km/h
9	Distance parcourue en 6h, avalant	≥ 75 km (+1 ; +0,7)	≥ 40 km (+0.69 ; 0)	≥ 25 km (-0.01 ; -0.74)	< 25 km (-0,75 ; -1)	-0,75	4/9	-3	Présence d'écluses et faible section mouillée, d'où faible distance parcourue (24km)		
3ème groupe de notes: facteurs liés à la densité du trafic		Règles de notation selon la densité de trafic : appliquez la note figurant entre parenthèses ci-dessous						4/20 =20%	<b>2</b>		
		10	Gêne due aux bateaux de plaisance, en particulier ceux à rames	Pas d'influence sur la vitesse (+1)	Gêne de faible importance à la navigation commerciale (0)		Fort effet négatif sur la vitesse moyenne (-1)	0	2/4	0	Peu de trafic de plaisance
		11	Limitation de la vitesse en cas de forte densité du trafic commercial	< 5,000 bateaux par an (+1)	5,000 – 15,000 bateaux par an (+0.5)	15,000 – 30,000 bateaux par an (-0.5)	> 30,000 bateaux par an (-1)	1	2/4	2	3.000 bateaux/an
Score total: somme des notes individuelles multipliées par le poids, à reporter dans la dernière colonne = 0/20 = +0,0											

**Tableau 7 : Evaluation finale de l'état actuel du trajet Bray-Nogent en canal**

On peut noter qu'il apparaît presque impossible, avec un tel tableau d'analyse, que la note baisse jusqu'à la qualité C : il y aura toujours l'un des critères suffisamment favorable pour renforcer la note. Le critère de vitesse paraît en particulier trop favorable : à un seul exemple près, et encore sur une faible longueur, il n'existe pas de voie navigable en Europe de l'Ouest dont la vitesse de parcours soit inférieure à 4 km/h. Le contre-exemple en question, le canal du Rhône à Sète, était fréquenté par des bateaux 2 fois plus gros que son bateau de projet initial, ce qui ramenait la vitesse à 3,5 km/h sur une dizaine de kilomètres. Des travaux ont d'ailleurs été réalisés récemment pour élargir le canal et augmenter la vitesse vers 6 km/h, ce qui a permis d'augmenter sensiblement la taille du bateau de projet, pour l'amener à ce qui se pratiquait déjà, mais avec de meilleures vitesses.

### Niveau de qualité nécessaire pour le futur projet Bray-Nogent

En réalisant cette analyse de l'existant, on a testé la validité des pondérations de notation, et modifié celles qui ne paraissaient pas adéquates. En se basant sur ces pondérations, on peut maintenant estimer quel niveau de qualité devrait être recherché pour le projet à réaliser.

PIANC-World Congress Panama City, Panama 2018

Tout d'abord, il faut signaler que pour définir le degré de qualité nécessaire à un projet de voie navigable, il faut tenir compte en même temps de la voie d'eau actuelle et en même temps de l'objectif souhaité.

Ainsi, dans le tableau suivant, la plupart des cases du premier groupe de critère seront renseignées en se basant surtout sur l'existant d'où l'on part, que l'on souhaite modifier, tandis que les autres groupes prendront surtout en compte l'état futur souhaité, le gabarit ou la situation à obtenir.

Même dans le premier groupe, on retrouve cette dichotomie : par exemple, la largeur du chenal, la plus ou moins grande facilité de croisement, les conditions locales plus ou moins favorables et le type de trafic sont le point de départ pour les travaux qui permettront d'atteindre le gabarit voulu. Ils obligent à une augmentation de qualité proche de A. Par contre, la qualité des pilotes, le niveau de stress, la stabilité des conditions de navigation et les équipements du bateau sont évalués en fonction de la situation future attendue, et peuvent être cotés C si ces éléments sont déjà suffisamment favorables sans travaux.

On obtient alors le tableau suivant :

PETITE SEINE AMONT - ÉTAT PROJETÉ / Critères		Arguments conduisant à augmenter le niveau de qualité des normes de conception		Cas où des normes moins élevées peuvent être appliquées pour la conception		Note	Poids	Poids global		
Règles de notation pour les critères liés à la voie navigable: La note est +1 si l'affirmation dans la colonne de gauche, rouge, est vraie, -1 si c'est celle de la colonne de droite, verte. Si aucun n'est vrai, ou si les 2 sont vrais, la note est 0.										
1er groupe de notes: Critères liés à la voie navigable	1	Profondeur, type de marchandises et de mode d'exploitation	Bateaux chargés, en particulier de marchandises dangereuses, dans des voies d'eau peu profondes, même après projet (fleuves à courant libre)	Bateaux vides ou ballastés, pas de marchandises dangereuses, profondeur d'eau suffisante	0,7	1/7	0,7	7/20=35%	0	
	2	Niveau d'entraînement, habileté et expérience des pilotes	Pilotes peu entraînés, mauvaise connaissance des particularités de la voie et de l'infrastructure	Pilotes hautement qualifiés et expérimentés	-1	1/7	-1		Qualité des pilotes conditionnée par la Haute Seine	
	3	Niveaux d'attention, de distraction et de stress des pilotes	Longs biefs, navigation lénifiante ou au contraire obligation de manoeuvrer sans cesse	Faible nombre de manoeuvres, peu de croisements ou de ponts	0,7	1/7	0,7		Pas de longs biefs, mais fréquentes manoeuvres et 1 pont dangereux	
	4	Largeur, situation, niveaux de danger, dommages possibles	Chenal étroit actuel et/ou dans le projet, immeubles à proximité, berges verticales, bateaux amarrés, danger élevé en cas d'accident	Chenal actuel confortable, berges en pente, murs guides, digues et petits épis	0,9	1/7	0,9		Chenal étroit actuel, quelques enjeux en cas d'accident	
	5	Stabilité et qualité des conditions de navigation	Turbulences, courants traversiers, berges irrégulières, longs épis, lit rocheux, vent et brouillard fréquents	Berges régulières, faites de sable ou de gravier, avec des vents faibles ou biefs abrités	-0,8	1/7	-0,8		Conditions locales favorables, parfois des courants	
	6	Type de trafic, croisements, proximité de la berge	Voies actuellement à sens unique, ou au contraire beaucoup de manoeuvres et de dépassements envisagés	Voies avec actuellement 2 ou plus de lignes de navigation, interactions avec la berge acceptées	0	1/7	0		Croisement et manoeuvres possibles	
	7	Équipements et instruments de navigation du bateau	Gouvernail arrière seul, ou trop petit bouter, bateaux de mer, faibles moteurs, pas de systèmes d'information	Forts bouterous actifs ou passifs, forte puissance, 2 lignes d'arbre, systèmes d'information optimaux	-0,5	1/7	-0,5		Bateaux assez modernes prévus	
Règles de notation pour les critères liés à la vitesse du bateau: Selon la vitesse d'objectif (1ère ligne ci-dessous) ou la distance d'objectif (2ème ligne ci-dessous), appliquez la note qui figure entre parenthèses, ou interpoler si besoin										
2ème groupe de notes: critères liés à la vitesse du bateau	8	Vitesse d'objectif par rapport à la berge	≥ 13 km/h (+1)	10 – 12 km/h (0,5)	5 – 9 km/h (0)	< 4 km/h (-1)	+0,8	5/9	4	Actuellement 12 km/h autorisé l'objectif serait 12 km/h réel
	9	Distance parcourue en 6heures, avalant	≥ 75 km (+1 ; +0,7)	≥ 40 km (+0,69 ; 0)	≥ 25 km (-0,01 ; -0,74)	< 25 km (-0,75 ; -1)	0,5	4/9	2	Amélioration de la distance prévue (40km/6 devient 65km/6h)
Règles de notation selon la densité de trafic: appliquez la note figurant entre parenthèses ci-dessous										
3ème groupe de notes: facteurs liés à la densité du trafic	10	Gêne due aux bateaux de plaisance, en particulier ceux à rames	Fort effet négatif sur la vitesse moyenne (+1)	Gêne de faible importance à la navigation commerciale (0)	Pas d'influence sur la vitesse des bateaux de commerce (-1)	0	2/4	0	Peu d'influence prévue	
	11	Limitation de la vitesse en cas de forte densité du trafic commercial	> 30,000 bateaux par an (+1)	15,000 – 30,000 bateaux par an (+0,5)	5,000 – 15,000 bateaux par an (-0,5)	< 5,000 bateaux par an (-1)	-0,9	2/4	-1,8	6100 en 2025
<b>Note totale: somme des notes individuelles multipliées par le poids, à reporter dans la dernière colonne</b>							<b>4,2/20 = + 0,21</b>			

**Tableau 8 : Niveau de qualité recherché pour le trajet en rivière du projet Bray-Nogent**

Au vu de ce calcul, il ne semble pas nécessaire d'atteindre le niveau de qualité A pour les parties en rivière de l'itinéraire Bray-Nogent : à part plusieurs virages ou passages problématiques, et une profondeur actuelle insuffisante, la navigation sera assez aisée, compte tenu de la faible densité de trafic, et ne nécessite pas des mesures d'amélioration drastiques. C'est d'ailleurs une constatation du même type qui a conduit à écarter, dans le projet, de longues coupures de méandres, qui auraient amené la rivière en catégorie A supérieure, mais qui, par ailleurs, n'étaient pas souhaitables au plan environnemental et hydraulique.

Il est vrai que la largeur de la rivière au miroir n'est pas suffisante pour permettre une circulation dans les deux sens d'après la circulaire. Pourtant, des bateaux de 120 m de



## PIANC-World Congress Panama City, Panama 2018

long circulent actuellement sur ce trajet, malgré un chenal très limité, et cela sans incident notable, sans doute du fait du faible trafic, ce qui fait que la section est pratiquement exploitée comme si elle était unidirectionnelle.

Le même type de calcul donne le résultat suivant pour les parties en Canal de l'itinéraire Bray-Nogent :

Parties en CANAL entre BRAY et NOGENT - Etat projeté bis/ Critères		Arguments conduisant à augmenter le niveau de qualité des normes de conception		Cas où des normes moins élevées peuvent être appliquées pour la conception		Note	Poids	Poids global	
1er groupe de notes: Critères liés à la voie navigable	Règles de notation pour les critères liés à la voie navigable: La note est +1 si l'affirmation dans la colonne de gauche, rouge, est vraie, -1 si c'est celle de la colonne de droite, verte. Si aucun n'est vrai, ou si les 2 sont vrais, la note est 0.								
	1	Profondeur, type de marchandises et de mode d'exploitation	Bateaux chargés, en particulier de marchandises dangereuses, dans des voies d'eau peu profondes, même après projet (fleuves à courant libre)	Bateaux vides ou ballastés, pas de marchandises dangereuses, profondeur d'eau suffisante	0,7	1/7	0,7	7/20 = 35%	1
	2	Niveau d'entraînement, habileté et expérience des pilotes	Pilotes peu entraînés, mauvaise connaissance des particularités de la voie et de l'infrastructure	Pilotes hautement qualifiés et expérimentés	-1	1/7	-1		
	3	Niveaux d'attention, de stress et de distraction des pilotes	Longs biefs, navigation épuisante ou au contraire obligation de manoeuvrer sans cesse	Faible nombre de manoeuvres, peu de croisements ou de ponts	0,7	1/7	0,7		
	4	Largeur, situation, niveaux de danger, dommages possibles	Chenal étroit actuel et/ou dans le projet, immeubles à proximité, berges verticales, bateaux amarrés, danger élevé en cas d'accident	Chenal actuel confortable, berges en pente, murs guidés, digues et petits épis	0,8	1/7	0,8		
	5	Stabilité et qualité des conditions de navigation	Turbulences, courants transversiers, berges irrégulières, longs épis, lit rocheux, vent et brouillard fréquents	Berges régulières, faites de sable ou de gravier, avec des vents faibles ou abrités	-0,7	1/7	-0,7		
	6	Type de trafic, croisements, proximité de la berge	Voies actuellement à sens unique, ou au contraire beaucoup de manoeuvres et de dépassements envisagés	Voies avec actuellement 2 ou plus de lignes de navigation, interactions avec la berge acceptées	+1	1/7	1		
	7	Equipements et instruments de navigation du bateau	Gouvernail arrière seul, ou trop petit bouter, bateaux de mer, faibles moteurs, pas de systèmes d'information	Forts bouterous actifs ou passifs, forte puissance, 2 lignes d'arbre, systèmes d'information optimaux	-0,5	1/7	-0,5		
2ème groupe de notes: critères liés à la vitesse du bateau	Règles de notation pour les critères liés à la vitesse du bateau: Selon la vitesse d'objectif (1ère ligne ci-dessous) ou la distance d'objectif (2ème ligne ci-dessous), appliquez la note qui figure entre parenthèses, ou interpoler si besoin								
8	Vitesse d'objectif par rapport à la berge	≥ 13 km/h (+1)	10 – 12 km/h (0,5)	5 – 9 km/h (0)	< 4 km/h (-1)	+0,5	5/9	2,5	Actuellement 6 km/h; l'objectif serait 10 km/h
9	Distance parcourue en 6heures, avalant	≥ 75 km (+1 ; +0,7)	≥ 40 km (+0,69 ; 0)	≥ 25 km (-0,01 ; -0,74)	< 25 km (-0,75 ; -1)	0	4/9	0	Amélioration de la distance prévue (24km/6h devient 40km/6h)
3ème groupe de notes: facteurs liés à la densité du trafic	Règles de notation selon la densité de trafic: appliquez la note figurant entre parenthèses ci-dessous								
10	Gêne due aux bateaux de plaisance, en particulier ceux à rames	Fort effet négatif sur la vitesse moyenne (+1)	Gêne de faible importance à la navigation commerciale (0)		Pas d'influence sur la vitesse des bateaux de commerce (-1)	0	2/4	0	Peu d'influence prévue
11	Limitation de la vitesse en cas de forte densité du trafic commercial	> 30,000 bateaux par an (+1)	15,000 – 30,000 bateaux par an (+0,5)	5,000 – 15,000 bateaux par an (-0,5)	< 5,000 bateaux par an (-1)	-0,9	2/4	-1,8	6100 en 2025
<b>Note totale: somme des notes individuelles multipliées par le poids, à reporter dans la dernière colonne 1,7/20 = 0,85</b>									

**Tableau 9 : Niveau de qualité recherché pour le trajet en canal du projet Bray-Nogent**

Ici, la pondération ne met pas assez en valeur l'augmentation de largeur du canal, qui permettra un croisement facile en tout point. Il faut se rappeler que, en canal, il est très difficile de dépasser une vitesse de croisière de 8 km/h, le futur projet Seine-Nord y atteint à peine, et que 10 km/h en canal est une valeur qui mériterait d'être classée en catégorie A supérieure. Il faudrait sans doute modifier les valeurs du tableau à l'avenir, en différenciant les vitesses en rivière et celles en canal.

A la lecture de ces 2 tableaux, et compte tenu du faible trafic, il apparaît possible d'atteindre un niveau de sécurité et de facilité de navigation adéquat tout en n'appliquant que des dimensions de voie d'eau relativement restreintes. Ceci est intéressant, car il n'est pas exclu que la mise en alternat ne soit plus nécessaire sur certains tronçons avec ce référentiel.

### Dimensions recommandées pour le projet Bray-Nogent

Une fois ces notes obtenues, reste à en déduire les dimensions à réaliser dans le projet en cause.

Dans la méthodologie du WG141, la correspondance entre niveaux de qualité et dimensions se fait par le biais de 2 tableaux, l'un, très complet, pour les canaux, l'autre, plus lacunaire, pour les rivières.

En ce qui concerne les canaux, les recommandations de l'AIPCN sont les suivantes :



Voie d'eau	Largeur du chenal pour voie unique en alternat				Largeur du chenal pour double sens			
	degré de facilité			Remarques	degré de facilité			Remarques
	C	B	A		C	B	A	
<b>Largeur minimale - <math>W_f</math> section droite en canal</b>	2 B <sup>1)</sup> 1.9.B 2.1.B		2.3.B	pour raisons de sécurité	3 B <sup>2)</sup> 4 B <sup>3)</sup> 2.8.B 3.5.B 4.5.B		2.5 B pourrait endommager le canal	
<b>n minimal</b>	2.5	3.5	4.5	pour améliorer la vitesse	3.5	5	7	pour améliorer la vitesse
<b>profondeur D minimale (sur toute la largeur du fond)</b>	1.3 d			A cause du squat & pour préserver l'efficacité des boteurs	1.3 d		1.4 d	A cause du squat & pour préserver l'efficacité des boteurs
<b>rayon R minimal</b>	4 L	7 L	10 L	$\Delta F$ si $R \neq \infty$	4 L	7 L	10 L	$\Delta F$ si $R \neq \infty$
courant max $V_{flow}$ (longitudinal)	0.5 m/s				0.5 m/s			
courant max $V_{cross}$ (transversal)	0.3 m/s (moyenne sur L)			$\Delta F$ requis si $V_{cross} \neq 0$	0.3 m/s (moyenne sur L)			$\Delta F$ requis si $V_{cross} \neq 0$
vent de projet $V_{W}$ dans les terres	5-6 BF (8.0 – 13.9 m/s; 10.5 m/s <i>normes hollandaises</i> )			$\Delta F$ requis pour bateau vide ou ballasté ou porte-conteneur si $V_{W} \neq 0$	5-6 BF (8.0 – 13.9 m/s; 10.5 m/s <i>normes hollandaises</i> )			$\Delta F$ requis pour bateau vide ou ballasté ou porte-conteneur si $V_{W} \neq 0$
vent de projet $V_{W}$ près des côtes	6-7 BF (10.8 – 17.2 m/s; 13.5 m/s <i>normes hollandaises</i> )			$\Delta F$ requis pour bateau vide ou ballasté ou porte-conteneur si $V_{W} \neq 0$	6-7 BF (10.8 – 17.2 m/s; 13.5 m/s <i>normes hollandaises</i> )			$\Delta F$ requis pour bateau vide ou ballasté ou porte-conteneur si $V_{W} \neq 0$

Tableau 10 : dimensions de base pour les canaux en ligne droite (Source : AIPCN, Groupe d'Etudes 141, traduction de l'auteur)

Les notes sont les suivantes

- 1) Ces largeurs de base intègrent 3 distances de sécurité (2 fois 0,3 B avec les berges et 0,4 B pour l'instabilité directionnelle)
- 2) Les largeurs de base intègrent 4 distances de sécurité (2 fois 0,2 B avec les berges, 0,2 B entre bateaux et  $\sqrt[3]{0,3B}$  pour l'instabilité directionnelle)
- 3) Les largeurs de base intègrent 4 distances de sécurité (2 fois 0,5 B avec les berges, 0,3 B entre bateaux et  $\sqrt[3]{0,4B}$  pour l'instabilité directionnelle)

A noter que B est la moyenne des largeurs des bateaux en cas de trafic à double sens.

Pour la largeur d'un chenal bidirectionnel, on appliquera l'interpolation :

note	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,33	-0,66	-1
Largeur	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	4	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,2	3,0	2,8

Tableau 11 : Interpolation des largeurs en chenal bidirectionnel

Pour la largeur d'un chenal unidirectionnel :

note	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,33	-0,66	-1
Largeur	2,3	2,27	2,23	2,2	2,18	2,15	2,13	2,1	2,08	2,065	2,05	2	1,95	1,9

Tableau 12 : Interpolation des largeurs en chenal unidirectionnel

Pour le coefficient n bidirectionnel

note	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,33	-0,66	-1
Largeur	7	6,8	6,6	6,4	6,2	6	5,8	5,6	5,4	5,2	5	4,5	4,0	3,5

**Tableau 13 : Interpolation de n en chenal bidirectionnel**

Pour le coefficient n unidirectionnel

note	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,33	-0,66	-1
Largeur	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	4	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,16	2,83	2,5

**Tableau 14 : Interpolation de n en chenal bidirectionnel**

Par ailleurs, l'augmentation de largeur dans les courbes suit la formule de Graewe,

$$\Delta F_c = C_c L^2 / R \quad (1)$$

avec les coefficients  $C_c$  suivants :

$C_c = 0,25$  pour bateaux chargés de classe Vb,  $0,5$  pour bateaux lèges.

$C_c = 0,3$  pour bateaux chargés de classe Va,  $0,6$  pour bateaux lèges.

Pour les fleuves, les choses sont plus floues, du fait de l'influence du courant. Le groupe d'étude se limite à ne recommander que 3 grandeurs :

Rivières	Largeur du chenal pour voie unique en alternat			Remarques	Largeur du chenal pour double sens			Remarques
	degré de facilité				degré de facilité			
	C	B	A		C	B	A	
<b>Largeur minimale - <math>W_f</math> en ligne droite <sup>1)</sup></b>	<b>2,8 B <sup>3)</sup></b>	<b>3,2 B <sup>3)</sup></b>	<b>3,4 B <sup>3)</sup></b>	pour raisons de sécurité	<b>4 B</b>	<b>5 B</b>	<b>6 B</b>	3 B pourrait endommager la berge
<b>profondeur D minimale (sur toute la largeur du fond)</b>	<b>1,2 d</b>	<b>1,3 d</b>	<b>≥ 1,3 d</b>	A cause du squat & pour préserver l'efficacité des bouteurs	<b>1,2 d</b>	<b>1,3 d</b>	<b>1,4 d</b>	A cause du squat & pour préserver l'efficacité des bouteurs
<b>rayon R minimal (<math>\Delta F</math> si <math>R \neq \infty</math>) <sup>2)</sup></b>	<b>2 L</b>	<b>3 L</b>	<b>4 L</b>	Selon les conditions locales	<b>2 L</b>	<b>3 L</b>	<b>4 L</b>	Selon les conditions locales

**Tableau 15 : dimensions de base en rivière** (Source : WG 141, traduction de l'auteur)

Ces chiffres sont valables pour un bateau de marchandises normalement équipé et disposant des instruments habituels. Le courant ne doit pas dépasser 1,5m/s et le vent ne doit pas dépasser 5 à 6 BF.

Les notes sont les suivantes :

- 1) Les largeurs de base intègrent 2 ou 3 distances de sécurité (3 fois 0,5 B à vitesse normale pour la catégorie C, 3 fois 0,8 B pour la catégorie B et 3 fois 1,1 B pour les bateaux rapides – catégorie A) : une avec chacune des berges, et une entre bateaux. Ces distances incluent les facteurs humains et l'effet du vent. (...) S'y ajoute une instabilité directionnelle de 0,5 à 0,7 B.
- 2) En ce qui concerne l'augmentation des largeurs de chenal existantes dans les courbes, les largeurs de base devraient être augmentées d'au moins  $\Delta F_c = 0,5 \cdot L^2 / R$  pour une voie et  $1,0 \cdot L^2 / R$  pour un trafic bidirectionnel. Notez que ces largeurs minimales se réfèrent à des bateaux vides, utilisant tous les moyens de navigation disponibles, et que la largeur supplémentaire dans les courbes dépend fortement du style de conduite, des moyens de navigation disponibles et de d/D (ou T/h).
- 3) B indique la largeur du bateau de projet pour le trafic à une seule voie, ou la moyenne de largeur des deux bateaux en cas de circulation dans les deux sens. Les

multiplicateurs de largeur (2.8, 3.2 et 3.4) ont été obtenus en multipliant les valeurs en canal par un facteur 3/2.

L'augmentation des diverses distances de sécurité entre les canaux et les rivières correspond à un doublement de ces sécurités. Les coefficients qui en résultent aboutissent à des valeurs trop élevées pour le projet actuel, où la vitesse est limitée, ainsi que pour la plupart des rivières canalisées européennes. On rappelle que la Circulaire française ne prévoit qu'un facteur de 1,1 pour la largeur du chenal en rivière par rapport aux valeurs en canal, alors que dans la proposition du WG141 ce facteur est supérieur à 1,5.

On propose donc de créer un autre tableau, spécifique aux rivières canalisées, généralement plus étroites et plus tranquilles que les rivières à courant libre.

Au cas où une telle catégorie ne serait pas acceptée de façon universelle, elle a en tous cas vocation à s'appliquer en France, puisque la circulaire 76-38 prévoit ce facteur de 1,1 entre les dimensions à prévoir en rivière par rapport à celles en canal, et que toutes les rivières naviguées en France sont canalisées<sup>3</sup>.

On obtient alors le tableau suivant :

Rivières Canalisées	Largeur du chenal pour voie unique en alternat				Largeur du chenal pour double sens			
	degré de facilité			Remarques	degré de facilité			Remarques
	C	B	A		C	B	A	
<b>Largeur minimale - <math>W_f</math> en ligne droite</b>	$2 B^{1)}$	$2,3 B^{2)}$	$2,5 B^{3)}$	pour raisons de sécurité	$3,3 B^{1)}$	$3,9 B^{2)}$	$5 B^{4)}$	3 B pourrait endommager la berge
<b>profondeur D minimale au plafond</b>	$1,15 d$	$1,2 d$	$\geq 1,3 d$	À cause du squat & pour préserver l'efficacité des bouteurs	$1,15 d$	$1,25 d$	$1,4 d$	À cause du squat & pour préserver l'efficacité des bouteurs
<b>Rectangle de navigation</b>	$W_f \times d$				$W_f \times d$			
<b>rayon R minimal (<math>\Delta F</math> si <math>R \neq \infty</math>)</b>	$2 L$	$3 L$	$4 L$	Selon les conditions locales	$2 L$	$3 L$	$4 L$	Selon les conditions locales

**Tableau 16 : dimensions de base en rivière canalisée (proposition de l'auteur)**

Ici, les notes correspondent à :

- 1 Ces largeurs de base intègrent 3 ou 4 distances de sécurité (2 fois 0,3 B avec les berges, 0,3 B entre bateaux et 0,4 B pour l'instabilité directionnelle)
- 2 Les largeurs de base intègrent 3 ou 4 distances de sécurité (2 fois 0,4 B avec les berges, 0,6 B entre bateaux et 0,5 B pour l'instabilité directionnelle)
- 3 La largeur intègre 3 distances de sécurité (2 fois 0,5 B avec les berges, et 0,5 B pour l'instabilité directionnelle)
- 4 La largeur intègre 4 distances de sécurité (2 fois 0,65 B avec les berges, 0,7B entre bateaux et 1 B pour l'instabilité directionnelle)

A noter que B est la moyenne des largeurs des bateaux en cas de trafic à double sens.

On atteint environ un facteur de 1,1 par rapport aux valeurs en canal, ce qui semble adéquat aux vitesses actuelles et projetées, et correspond à la pratique française actuelle.

Si l'on traduit les notes de qualité calculées pour Bray-Nogent avec les mêmes multiplicateurs, il faudrait les dimensions suivantes (profil trapézoïdal à 3/1), d'après les interpolations des tableaux 11 à 14 :

<sup>3</sup> A l'exception de la Loire, de la Seine Maritime et d'une partie du Rhin, fleuve frontalier

Bateau 110x11,40x2,8m	Note	Largeur W (m)	Mouillage T (m)	Miroir (m)	Plafond (m)	Ac (m <sup>2</sup> )	n	$\Delta W$ (m) R=220
Rivière bidirectionnelle	0,21	47,08	3,2	63,88	33,68	173,7	5,42	49,5
Rivière unidirectionnelle	0,21	26,70	3,635	43,50	21,69	118,5	3,71	33
Canal bidirectionnel	0,085	40,87	3,5	57,67	36,67	165,09	5,17	41,25
Canal unidirectionnel	0,085	23,51	4,075	40,31	15,86	114,46	3,58	27,5

Tableau 17 : Dimensions recommandées pour le Projet Bray-Nogent

La surlargeur à appliquer a été calculée pour le bateau de projet, grand rhéna de 110 m de long et 11,40 m de large, à 2,80 m d'enfoncement, et pour la courbe la plus serrée, de 220 m de rayon, correspondant à deux fois la longueur du bateau de projet. Ces valeurs sont très trompeuses :

Les seules valeurs exactes sont celles des canaux unidirectionnels, mais on ne peut pas y additionner la surlargeur avec la largeur du chenal : en effet, les bateaux qui nécessitent le plus d'espace sont les bateaux légers, mais ils disposent d'une plus grande largeur disponible, puisque leur enfoncement n'est que de 1,10 à 1,30 m, voire 1,80 m pour les très grands Rhénans ballastés.

En Petite Seine, on retiendra 1,30m d'enfoncement, ce qui permet de disposer de 9 m de chenal unidirectionnel supplémentaire dans la voie d'eau, à déduire donc du miroir nécessaire. Dans le virage le plus limitant, au lieu de 67,80 m, il suffira d'un miroir de 58,80 m dans un canal unidirectionnel, pour un bateau léger ballasté et de 67,50 m au lieu de 76,50 m dans une rivière unidirectionnelle, en franchissement du virage le plus serré de l'itinéraire par un bateau léger ballasté.

Les largeurs nécessaires au miroir pour un bateau chargé sont sensiblement plus faibles, et dans le même virage ne devraient pas dépasser un miroir de 54,06 m en canal unidirectionnel et 60 m en rivière unidirectionnelle.

Cela revient en quelque sorte à diminuer le chenal nécessaire de 9 m.

Pour les chiffres en bidirectionnel, il est également superflu d'ajouter, comme traditionnellement, les surlargeurs nécessaires à un bateau chargé dans un sens et un bateau léger dans l'autre. L'expérience montre en fait que les bateaux manoeuvrent instinctivement pour minimiser l'espace nécessaire au moment du croisement. On a observé que, généralement, l'un des bateaux se remet dans l'axe du chenal le temps du croisement, ce qui est équivalent à offrir à l'autre bateau sa propre surlargeur. Une analyse poussée de ce phénomène a été menée (Eloot, 2013), il en résulte une diminution de la piste balayée d'environ un tiers grâce à ces manoeuvres, sans qu'une règle précise ait été proposée.

Par contre, en bidirectionnel, on ne peut utiliser que la moitié des 9 m précédents, car le bateau chargé occupe l'autre moitié du chenal.

largeur de chenal nécessaire  $W_{F,Tmin}$  pour un bateau léger

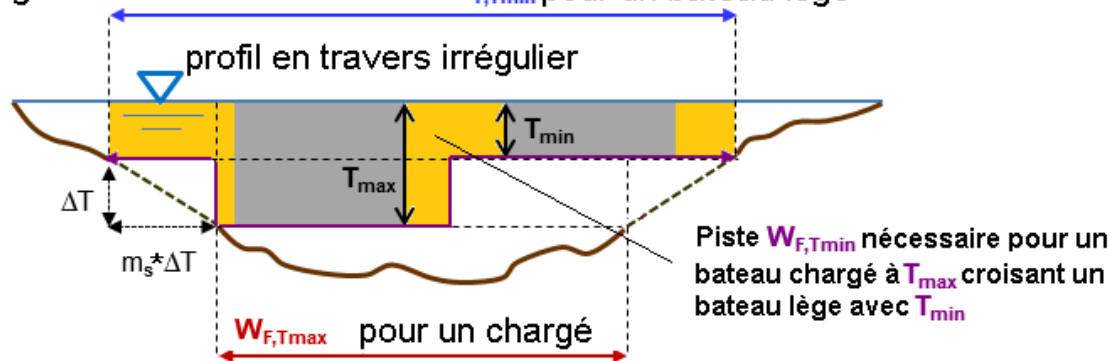


Figure 2 : Coupe d'une voie d'eau lors du croisement d'un bateau chargé et d'un bateau léger (source : WG141, traduction de l'auteur)



Grâce à ces diminutions, et comme la rivière a souvent plus de 60 m au miroir, on propose un calcul approché de la largeur en rivière bidirectionnelle pour vérifier si un alternat pourrait être évité, en supposant une réduction de 30% des valeurs théoriques, et en déduisant la moitié des 9 m signalés plus haut.

Les chiffres sont les suivants en voie d'eau bidirectionnelle :

Type/ dimensions (m)	Courbe de Rayon 220m	Courbe de Rayon 550m	Courbe de Rayon 850m	Courbe de Rayon 1000m	Courbe de Rayon 1500m
ΔW Rivière légère	33	13,2	8,54	7,26	4,84
ΔW Rivière chargé	16,5	6,6	4,27	3,63	2,42
Total ΔW -30%	34,65	13,86	8,96	7,62	5,08
Piste totale	77,23	56,44	51,55	50,20	47,66
ΔW Canal légère	27,5	11	7,12	6,05	4,03
ΔW Canal chargé	13,75	5,5	3,56	3,02	2,02
Total ΔW -30%	28,88	11,55	7,47	6,35	4,24
Piste totale	65,24	47,92	43,84	42,72	40,60

**Tableau 18 : Grandeurs caractéristiques d'une voie d'eau bidirectionnelle**

On voit que, sauf dans les cas extrêmes, une piste de 60 m est suffisante pour inscrire un croisement de bateaux de 110 m dans tous les virages du trajet Bray-Nogent. La limite se calcule, elle se situe à un rayon de 437 m en rivière et 268 m en canal.

Il se trouve d'ailleurs qu'avec une méthodologie différente, l'application de la circulaire française 76-38 aboutit à des chiffres assez voisins<sup>4</sup>.

Par contre, le trajet Ecluse de la Grande Bosse-Bray sur Seine présente aujourd'hui plusieurs courbes d'un rayon inférieur à 220 m. La piste utilisée par les bateaux légers d'aujourd'hui, ayant jusqu'à 120 m de long dans des courbes très serrées, est cependant plus large que celle qui sera nécessaire aux bateaux légers du projet, qui auront le même enfoncement léger qu'aujourd'hui, alors même que les courbes seront rectifiées pour respecter 220 m de rayon. Ce seront donc seulement les bateaux chargés à 2,80 m (au lieu de 2 m) qui nécessiteront un recalibrage de cette partie du trajet.

Il est alors particulièrement intéressant de constater que cette succession de courbes serrées est parcourue par les bateaux actuels sans qu'aucun incident n'y soit signalé. Le niveau de trafic actuel, et la présence d'une écluse à l'une des extrémités, rend cela possible. L'écluse agit en effet comme un cadenceur d'alternat, en ne laissant entrer un bateau dans cette section qu'une fois toutes les 30 minutes, au mieux, ce qui correspond exactement à la durée du parcours Bray-La Grande Bosse. Il suffit donc aux bateaux avalants de vérifier l'heure de passage des bateaux montants dans l'écluse pour être sûrs de ne croiser personne. Cette particularité pourra être mise à profit dans le projet en cours de réalisation pour diminuer les dragages sur cette partie du trajet, sans qu'il soit besoin d'instaurer un alternat officiel, toujours pénalisant.

Pour diminuer encore les reprises de berges, il serait possible d'utiliser un profil RT<sup>5</sup>, tel que réalisé en Belgique sur la Lys dans le cadre du projet Seine-Escaut (Eloot, 2013). Ce profil, qui présente une berge verticale sur un côté et une pente à 3/1 de l'autre, a l'avantage de permettre une meilleure interaction entre les bateaux lors de leur croisement. Il n'a besoin que d'un miroir égal à la largeur de piste plus 3,90 m.

## Conclusions sur l'utilisation des recommandations du WG141

Comme le rapport lui-même le précise, il est nécessaire d'adapter les recommandations mondiales au réseau étudié.

Par rapport aux tableaux proposés dans le rapport du WG141, on a procédé aux ajustements suivants :

<sup>4</sup> Sans doute parce que la surlargeur  $L^2/2R$  y est implicitement calculée en voie d'eau unidirectionnelle.

<sup>5</sup> Profil proposé par les recommandations allemandes

- Remplacement du critère « gamme de vitesses praticables » par un critère « distance parcourue en 6 heures »
- Modification du poids des critères, le groupe de critère « trafic » n'ayant plus qu'un poids de 4, et le groupe de critères « vitesse » obtenant un poids de 9
- Utilisation de tableaux d'interpolation, pour faciliter l'estimation des notes (tableaux 3, 4, 11, 12, 13 et 14)

On a présenté également des suggestions d'amélioration des tableaux, en proposant que le critère « vitesse d'objectif par rapport à la berge » soit apprécié différemment en rivière et en canal, une vitesse d'objectif supérieure à 10 km/h n'étant possible en canal qu'au prix d'investissements très élevés.

On pourrait envisager une interpolation comme suit :

note	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,33	-0,66	-1
Vitesse (km/h)	>12	11	10	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	<4

**Tableau 19 : Interpolation de vitesse en canal**

A comparer avec celle pour la vitesse en rivière

note	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,33	-0,66	-1
Vitesse (km/h)	>13	13	12,5	12	11,5	11	10,5	10	9	8	7	6	5	<4

**Tableau 20 : Interpolation de vitesse en rivière**

Chaque pays, voire chaque voie d'eau, devra procéder ainsi à un réglage fin des pondérations et des critères pour obtenir une bonne adéquation avec les conditions locales.

Grâce à cette souplesse, la méthodologie du Groupe d'Etude 141 peut être d'application mondiale. Cela été l'un des critères qui a guidé ses travaux tout du long, ainsi que l'avait souhaité la Commission CoCom de l'AIPCN.

## REFERENCES

Eloot, 2013 : Eloot, K., Verwilligen J., Vantorre M. 2013. Workshop Design Guidelines for Inland Waterways - Detailed Design for Inland Waterways: The Opportunities of Real-Time Simulation, *Smart Rivers Conference 2013, Maastricht*  
 Söhngen, 2015: Söhngen, B. Workshop Design Guidelines for Inland Waterways, Application of WG 141 approach including elaboration of field data and fast time simulation for Class Va-vessel passing narrow Jagstfeld bridge in the German Neckar River, *Smart Rivers Conference 2015, Buenos Aires*

## MOTS CLE

Navigation fluviale  
 Chenal navigable  
 Dimensions des voies navigables  
 WG 141  
 Classification des voies navigables