

3. REGLES GENERALES D'INSERTION

3.1 Caractéristiques de la plateforme et des stations

3.1.1 Principes généraux de la plateforme tramway




L'impact de la voie dans la conception générale d'un projet tramway est primordial. Les choix effectués en termes de plateforme doivent répondre aux exigences :

- d'optimisation des dépenses d'investissement et de maintenance,
- de confort du passager et du riverain.

La voie doit s'adapter aux exigences de l'insertion du tramway. Elle doit s'intégrer à l'environnement et permettre toutes les créations de paysage urbain de qualité. Elle doit également subir les exigences du matériel roulant en assurant les meilleures conditions de roulement, de confort et de sécurité. Son entretien doit être le plus réduit possible. Les techniques proposées sont compatibles avec une ligne aérienne ou une alimentation par le sol.

Dans le cadre de ce projet, des sections à voie unique sont proposées. Par essence, une plateforme à voie unique est moins consommatrice d'espace qu'une plateforme classique et peut offrir des solutions d'insertion d'un tramway sur des voiries de gabarit réduits ou alors sur lesquelles de multiples fonctions doivent être maintenues. Toutefois, le croisement de rames en station nécessite un doublement de voie. Ainsi, le recours à la voie unique peut être indiqué lorsque l'emprise disponible pour le tramway est limitée et à condition que les distances inter-stations soient plus élevées qu'à l'accoutumée.

Il est néanmoins impossible de présager de manière certaine de l'évolution d'un territoire sur la durée de vie d'une infrastructure tramway (densification, modifications successives du plan local d'urbanisme, création d'équipements publics à vaste rayonnement, modifications du plan de circulation, modification du partage de l'espace public, tramway lui-même démultiplicateur d'effets urbains...) ou de l'évolution du réseau et des schémas d'exploitation (une branche prolongée peut devenir une ligne à part entière...). En conséquence la voie unique doit pouvoir être doublée par ajout d'une seconde voie et non pas par reconstruction d'une infrastructure à voie double. L'évolutivité de la voie unique est donc prise en compte en terme d'insertion puis de conception (piquetage des poteaux LAC, position de la multitubulaire...)

	<p>Voie unique axiale « évolutive » <i>Disposition laissant ouvert le champ des possibles</i></p> <p><i>Sur cet exemple, les fonctionnalités sont données à titre indicatif (on pourrait imaginer une piste cyclable bidirectionnelle à la place d'une des voies de circulation générale ici représentées).</i></p>
	<p>Conversion de la plateforme en voie double à emprise constante <i>la seconde voie peut être banalisée (illustré ici) ou alors le plan de circulation peut être revu de manière à passer la voirie à sens unique et à préserver la plateforme en site propre (non illustré)</i></p>
	<p>Conversion de la plateforme en voie double Avec élargissement d'emprise <i>Maintien de l'ensemble des fonctionnalités</i></p>

Ainsi, l'évolutivité peut être prise en compte à différents niveaux. Il s'agit d'anticiper le positionnement de la future seconde voie et de l'intégrer dans la conception comme notamment au piquetage des poteaux LAC (positionnement des massifs), les déviements de réseaux et le positionnement de la multitubulaire. L'évolutivité peut être intégrée facilement en section courante. Il demeure toutefois impossible d'anticiper l'ensemble des composantes d'un futur projet à voie double. Des adaptations demeureront nécessaires, comme les reprises de carrefours par exemples. Il sera également nécessaire de déplacer certains poteaux LAC et il pourra être envisagé de différer certains déviements de réseaux « lourds ».

La voie ferrée utilisée par la majorité des réseaux de tramway ces dernières années adopte les grands principes suivants :

- utilisation de rails à gorge afin de présenter une surface de roulement ne présentant pas d'aspérités, et donc permettant l'insertion de la voie en site banalisé
- écartement standard des rails, à la valeur internationale de 1,435m entre nus intérieurs de files de rails,
- utilisation des rails comme chemins de retour de courant, les rails étant reliés au négatif des sous stations.

Les rails sont des profils particuliers créés pour s'insérer en voirie sur les réseaux de tramway. Ils ont été élaborés pour répondre aux exigences suivantes :

- Gorge à largeur et profondeur réduite afin de favoriser l'interface avec les utilisateurs du domaine public, notamment les deux roues.

- Surface supérieure de roulement inférieur à la largeur d'un pneu de voiture pour éviter toute glissade en cas de pluie, d'un véhicule en freinage.
- Hauteur suffisante pour intégrer une large gamme de revêtements, tout en limitant son déversement.
- Bavette épaisse, jouant le rôle d'un contre rail dans les courbes.
- Recherche du meilleur contact rail-roue.

Le rail répondant aux critères précédents et retenu sur les lignes précédentes du tramway Bordelais est le rail 35 GP R 10mm.

3.1.2 Critères d'établissement du tracé

3.1.2.1 Présentation

L'élaboration dans les trois axes de la topographie de la voie répond à des contraintes liées à la résistance mécanique des matériaux employés, aux spécifications géométriques des matériels roulants et à leurs caractéristiques dynamiques.

3.1.2.2 Tracé en plan

3.1.2.2.1 Entraxe de voies

L'entraxe des voies sera fonction d'une part du gabarit du matériel roulant, et donc variable selon les rayons de courbure, et d'autre part de l'implantation des poteaux supportant la ligne aérienne de contact.

Dans le cas de poteaux latéraux, l'entraxe est défini dans le tableau ci-dessous.

CITADIS TGA 402 (largeur : 2,40 m , longueur : 44 m)				
RAYON	ENTRAXE SANS POTEAU	ENTRAXE AVEC POTEAUX	LARGEUR PLATEFORME SANS POTEAUX	LARGEUR PLATEFORME AVEC POTEAUX
25	3,35	3,65	6,70	7,00
30	3,27	3,57	6,54	6,84
35	3,22	3,52	6,43	6,73
40	3,18	3,48	6,35	6,65
45	3,144	3,44	6,29	6,59
50	3,12	3,42	6,24	6,54
70	3,054	3,35	6,11	6,41
100	2,98	3,28	5,96	6,26
200	2,935	3,24	5,87	6,17
500	2,91	3,21	5,82	6,12
AD	2,90	3,20	5,78	6,08

3.1.2.2.2 Le tracé des voies

Le tracé d'une voie est constitué d'une succession d'alignements et de courbes où la voie est généralement posée sans dévers afin de respecter les fonctionnalités des voies urbaines. Certaines parties de ligne, implantées en site propre, peuvent permettre l'installation de la voie avec un dévers.

Clothoïde et cercle raccordé

Les courbes sont généralement constituées d'un arc de cercle et de deux clothoïdes qui sont implantées au début et à la fin de ce dernier. Les clothoïdes permettent d'assurer une progression de l'accélération transversale non compensée supportée tant par les voyageurs et le matériel roulant que par les installations de la voie ferrée.

Elles sont caractérisées par les paramètres suivants :

- Le rayon R de l'arc de cercle,
- Le dévers d en pleine courbe circulaire, mesuré en mm,
- L'insuffisance I de dévers et sa variation, respectivement exprimées en mm et en mm/s.
- La longueur L des clothoïdes de raccordement.

Ces paramètres sont calculés afin de satisfaire aux conditions de confort des voyageurs et de limiter les efforts exercés sur le matériel roulant et sur la voie.

Cercle tangent

Le raccordement est constitué par un arc de cercle de rayon donné situé entre deux alignements sans courbe de transition. Ce type de raccordement est utilisé pour les voies secondaires parcourues à faible vitesse et sans voyageur. Son utilisation est possible sur voie principale pour les très grands rayons (R>5000 m).

Courbe en « S » et courbe en « Ove »

La courbe en « s » permet de joindre deux raccordements successifs de rayon donnés et de sens contraire, par un point d'inflexion.

Le courbe en « ove » permet de raccorder deux arcs de cercles de même sens et de rayons donnés par une portion de clothoïde que l'on appelle communément une « ove ».

La courbe en « s » et la courbe en « ove » peuvent prendre toutes les dispositions décrites ci-dessus : clothoïde – cercles raccordés, cercles tangents.

3.1.2.2.3 Le tracé de la plateforme

Les gabarits définissent les règles d'implantation des obstacles par rapport aux voies et des voies entre elles.

Ces règles doivent prendre en compte :

- Les caractéristiques du matériel roulant existant ou appelé à circuler, à l'arrêt et en mouvement (jeux, usures, affaissements des différents organes...),
- Les caractéristiques de la voie, de ses tolérances de pose et de son entretien (déplacement, usure).

3.1.2.2.4 Tracé en plan

Entraxe des voies

L'entraxe des voies sera fonction d'une part du gabarit du matériel roulant, et donc variable selon les rayons de courbure, et d'autre part de l'implantation des poteaux supportant la ligne aérienne de contact.

Courbes en plan

Les rayons de courbure sont sujets à des limites liées aux possibilités d'inscription en courbe du matériel roulant. Pour le présent projet, les rayons minimaux seront de 25m, sauf exception liée aux conditions d'insertion.

Afin de ne pas appliquer brutalement une accélération transversale à une rame en mouvement, les courbes seront raccordées aux parties en alignement droit par des clothoïdes, dont la caractéristique principale est la continuité de la dérivée tierce en fonction de la distance parcourue. Leur tracé correspond à la formule : $A = \sqrt{LR}$.

Typiquement, une courbe sera donc constituée d'une portion en arc de cercle, encadrée par deux clothoïdes assurant le raccordement avec les alignements droits. La longueur minimale de ces clothoïdes sera de 10 m, afin d'assurer une transition optimale entre l'alignement droit et l'arc de cercle.

Dans certains cas, les clothoïdes peuvent être de longueur différente de part et d'autre de la courbe. Ce cas peut être intéressant lorsqu'une courbe est implantée à proximité d'une station : lorsqu'une rame quitte la station, la clothoïde de sortie de courbe peut être allongée afin que la rame puisse accélérer plus tôt.

Dans le cas de deux courbes proches de même sens, le raccordement entre les deux cercles pourra être réalisé par une portion de clothoïde appelée ove.

En revanche, pour deux courbes de sens opposé, il convient de respecter un alignement de 30 m entre les deux courbes, afin d'éviter les interférences d'une courbe à la suivante.

Les valeurs maximales d'accélération transversale sont limitées afin de ne pas nuire au confort des voyageurs.

L'accélération doit être inférieure à 1 m/s²,
La variation d'accélération latérale doit rester inférieure à 0.4 m/s³.

3.1.2.3 Vitesse de passage

Le tracé privilégiera des rayons de courbure importants dans les limites des possibilités d'insertion, afin de ne pas pénaliser la vitesse commerciale. Les vitesses de passage en courbe des rames sont limitées aux valeurs ci-dessous afin de respecter les contraintes d'accélération transversales :

Rayon en courbe R (m)	Vitesse maximale en courbe sans dévers V (km/h)
25,0	18,0
50,0	25,5
75,0	31,2
100,0	36,0
125,0	40,2
150,0	44,1
175,0	47,6
200,0	50,9
250,0	56,9
300,0	62,4
350,0	67,3
400,0	72,0

3.1.2.4 Profil en long

La pente maximale continue sera prise égale à 6%, cette valeur constituant le maximum acceptable par les rames en fonctionnement nominal.

Afin de ne pas engendrer d'accélération verticale trop importante, susceptible d'apporter à la voie des efforts mécaniques déformants, les raccordements entre deux pentes successives se feront par une parabole telle que l'accélération verticale n'excède pas 0,2 m/s². Les rayons correspondants au sommet de la parabole ne seront pas en règle générale inférieurs à 1000m.

Toutefois, lorsque la topologie du terrain ne le permet pas, les rayons de raccordements peuvent être réduits à :

- 350 m pour un rayon en creux
- 840 m pour un rayon en bosse.

3.1.2.5 Profil en travers

Les voies sont généralement implantées sans dévers. Ce n'est que dans certaines courbes sur des portions en site propre qu'un dévers peut être appliqué afin de compenser partiellement l'accélération centrifuge au passage d'une courbe, et donc de relever la vitesse de passage pour un effort latéral donné.

Le dévers est réalisé par élévation progressive de la file de rail extérieure par rapport à la file intérieure, cette dernière suivant le profil en long théorique de la ligne. Cette élévation inclut en entrée et en sortie de clothoïde un cercle de raccordement en profil, appelé doucine, destinée à effacer la rupture de pente de la file de rail.

La valeur du dévers sera retenue en fonction de la vitesse de passage des rames et du rayon de courbure, afin de compenser l'accélération centrifuge correspondant à la vitesse nominale de circulation des rames.

Ce dévers sera au maximum de 160mm, soit une pente transversale de 11%. Cette valeur maximale, issue des normes UIC, répond à la nécessité de maintenir une stabilité de la voie et des véhicules en cas d'arrêt en pleine courbe.

Ce dévers maximum permet de compenser une valeur d'accélération centrifuge de 1 m/s², et autorise ainsi une vitesse de passage en courbe supérieure.

Pour des raisons d'adhérence, de puissance installée et de confort de voyageurs, on évite au maximum d'implanter des raccords paraboliques en profil dans les zones de raccordement circulaires et de clothoïdes. De plus, la mise en place des voies est très délicate dans ces conditions. Si vraiment la topographie des lieux ne le permet pas, on peut accepter pour rattraper des variations de déclivités faibles les combinaisons suivantes :

Rayon en plan de 40 à 70 mètres R = 3000 m

Rayon en plan de 70 à 200 mètres : R = 1500 m

3.1.3 Contraintes associées à la plateforme tramway

La voie ferrée tramway doit répondre à un certain nombre de contraintes :

- contraintes dynamiques :

les éléments de la voie devront supporter la charge dynamique correspondant à une rame à pleine charge dans les conditions de suspension les plus défavorables.

- contraintes liées à l'énergie

la pose de voie prévoira les interfaces et les réservations pour l'alimentation des rames par le sol (APS) et le retour de courant par les rails.

- contraintes climatiques :

Une plage de température de -20 à +40° sera prise en compte pour les appareils de dilatation.

- contraintes d'insertion et de circulabilité

Le revêtement doit être compatible avec le type d'insertion retenu, banalisé, site protégé ou site propre. Ce point est traité plus loin.

En site urbain, pour des raisons d'insertion, la structure de voie et son armement doivent être visuellement le plus discret possible et très souvent circulables ou franchissables (piétons, deux roues, véhicules divers).

En conséquence, les voies sont revêtues de revêtements de diverses natures selon l'effet recherché. D'un point de vue esthétique, la pose de voie béton avec revêtement de surface fait perdre l'image traditionnelle de la plateforme ferroviaire lourde.

Les revêtements de surface doivent être compatibles avec le type de pose de voie. Les pathologies sur les plateformes Tramway en attestent et obligent à une conception raisonnée. Les revêtements envisageables peuvent être par exemple des pavés (pierres naturelles, béton ...), des dalles (pierres naturelles, béton ...), de l'enrobé, du béton désactivé (armé ou non), des graviers, du végétal (gazon, vivaces ...).

Le choix des revêtements est effectué en fonction du trafic supporté, et notamment dans les carrefours à fort trafic.

- contraintes vibratoires et acoustiques

Ces contraintes sont importantes dans un environnement urbain dense.

Bruit

Le bruit émis par le passage d'une rame est la somme de bruits de différentes origines :

- bruit de roulement émis au contact rail - roue ;
- bruit rayonné par les caisses et les bogies ;
- bruit des auxiliaires (compresseurs, moteurs, réducteur) ;
- bruit réverbéré par la plateforme.

Le bruit de crissement imputable à la roue apparaît en courbe de faible rayon : l'origine provient des oscillations de torsion qui prennent naissance lors du glissement de la roue sur le rail. Il en résulte une émission de bruit à haute fréquence gênante pour les riverains.

Pour pallier cette nuisance, le rail reçoit un traitement sur le champignon qui facilite le glissement du bandage, compatible avec l'adhérence nécessaire à la traction et au freinage du matériel roulant.

Par ailleurs, le matériel roulant doit intégrer un graissage modéré du boudin de roue asservi aux courbes de rayon serrées.

Dans la suite du document, il est développé spécifiquement le traitement anti-usure et anti-crissement du rail.

Vibrations

Le roulement d'un matériel sur des rails (roulement fer / fer) est à l'origine de vibrations dues à l'excitation dynamique de la roue sur le rail. Ces vibrations se propagent à travers la structure de pose de voie dans le sol jusqu'aux fondations des bâtis environnants, ce qui peut éventuellement provoquer des nuisances pour les riverains.

Il n'existe aucune réglementation qui puisse être directement appliquée au ferroviaire. Il est toutefois préconisé de ne pas dépasser 66 dBv (niveau de sensibilité ressenti) de vitesse vibratoire, réf. 5.10-8 m/s au seuil des bâtiments d'habitation si on se réfère à la norme ISO 2631/2 (Evaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps – Partie 2, Vibrations dans les bâtiments).

Les vibrations d'origine ferroviaire ont généralement une énergie importante ; de l'ordre de 80 à 85 dBv dans les 1/3 d'octaves situées entre 40 et 125 Hz. Ces vibrations s'amortissent avec la distance.

On admet empiriquement 1 dBv/m d'amortissement pour les ondes de surfaces et de volume, soit environ 12 à 14 dBv pour une distance de 12 m.

En fonction de ces exigences et critères, il est nécessaire d'adopter des solutions techniques garantissant un environnement vibratoire de qualité, dont l'énergie est inférieure au seuil ressenti.

Il est à noter que la détermination du type de pose de voie à mettre en œuvre sur le projet en termes d'amortissement vibratoire s'est faite à partir de la connaissance actuelle de l'environnement immédiat de la voie (proximité du bâti connu). Dans le cas où des bâtiments viendraient à être construits à proximité de la voie, il faudrait prévoir une distance minimum de 12 m entre la façade du bâtiment et l'axe de voie pour ne pas prévoir de dispositions particulières vis-à-vis des vibrations. En dessous de cette valeur il faudra se rapprocher du concepteur de la voie et, selon les cas, des dispositions devront éventuellement être prises au niveau des bâtiments pour limiter les niveaux de transmission vibratoire induits par la proximité des voies.

Confort

Le tracé des voies est constitué d'alignements droits et de courbes.

Les raccordements en plan entre alignements droits et courbes circulaires sont réalisés à l'aide de clothoïdes qui permettent une variation linéaire de la courbure, donc un accroissement linéaire de la force centrifuge.

En conséquence, l'accélération transversale ressentie par les voyageurs se trouve « lissée », ce qui offre un meilleur confort.

Certaines courbes sont en dévers. La mise en dévers se fait par un gauchissement de la voie sur la section en clothoïde. Le dévers est limité à 160 mm.

Contact rail roue :

Le rail préconisé, est le rail 35GP R10mm. Ce choix permet de maîtriser au mieux le profil d'usure de la roue.

L'écartement des rails, mesuré à la cote de -14mm par rapport au plan de roulement, est de 1435 mm avec une tolérance de +2/-2mm. Cette valeur d'écartement est unique en alignement droit comme en courbe.

Cette valeur d'écartement est conforme aux standards UIC.

Elle permet :

- d'inscrire correctement le profil d'une roue tramway dans une gorge de 35mm sans toucher la bavette en courbe serrée ;
- de stabiliser l'essieu autour de sa position médiane en réduisant l'angle d'attaque ;
- la possibilité d'utiliser des appareils de voie figurant au catalogue des appareils de voie unifiés ;
- d'utiliser les composants standards d'une voie fer classique.

Dans le cas du rail à gorge, la bavette joue un rôle de contre-rail et limite donc les risques de déraillement.

- Contraintes liées à la géophysique des sols et des ouvrages enterrés :

La définition de la structure de voie est fonction des charges roulantes appliquées, du type de pose de voie et également des caractéristiques géotechniques du sol d'assise de la plateforme ferroviaire.

Pour une pose de voie sur béton, la couche de fondation de la plateforme ferroviaire est sollicitée en flexion par les charges roulantes. Des contraintes de traction s'exercent alors en partie inférieure de la fondation comme dans une couche routière classique.

Ce fonctionnement implique des bétons de fondation ayant de bonnes caractéristiques de résistance à la traction par flexion et une plate-forme support de fond de terrassements ayant une portance minimale.

Les valeurs requises, de portance minimale du sol support, sont précisées dans la suite du document.

- Contraintes liées à la maintenance :

La maintenance est fonction du trafic, de la configuration du tracé compte tenu de son insertion topographique et environnementale et des modalités d'exploitation du réseau.

La conception de la voie et des appareils de voie est menée dans l'optique de réduire au minimum la maintenance. Les opérations de maintenance telles que le rechargement du rail ou le changement d'une aiguille d'appareil de voie doivent être réalisées sans pénaliser outre mesure l'exploitation.

Les voies noyées n'étant pas visitables, leur conception doit garantir en permanence la géométrie et l'écartement des rails ainsi que la stabilité en plan comme en profil des voies.

Tout au long de sa durée de vie, la structure béton de la plateforme voie ferrée ne doit pas nécessiter de gros entretien, renouvellement qui impacterait lourdement l'exploitation.

- Contraintes liées aux ouvrages d'art :

La voie doit permettre la libre dilatation des ouvrages d'art au droit de leurs appuis. Cette fonction est assurée par des appareils de dilatation de rail.

Sur les ouvrages existants dont les charges admissibles sont limitées il est nécessaire de recourir à des techniques de poses de voie allégées.

Les principes généraux d'implantation de la voie au droit des ouvrages d'art sont :

- implantation en alignement droit de préférence ;
- prolonger l'alignement droit de 10m de chaque côté de l'OA (après les joints de dilatation de l'ouvrage) pour l'implantation des appareils de dilatation de rail ;
- l'OA peut être en courbe, de grand rayon, mais la zone des culées devra être en alignement droit (joints de dilatation de l'OA, joints de dilatation de rail) ;
- en profil en long : pente unique sur la longueur de l'ouvrage + 10m de chaque côté pour l'implantation des appareils de dilatation de rail ;
- possibilité de profil en long en courbe parabolique, de grand rayon, mais la zone des culées devra être en pente unique (joints de dilatation de l'OA, joints de dilatation de rail).

- Contraintes liées à l'exploitation :

Elles sont dictées par le schéma général d'exploitation de la ligne et des centres de maintenance.

Elles visent à l'obtention d'une vitesse commerciale la plus élevée possible, au respect de la fréquence d'exploitation.

Ainsi une fiabilité maximum des équipements de voies est recherchée, associée à un entretien minimum. Pour la voie ferrée, les exigences portent essentiellement sur la structure de plateforme, les zones d'appareils de voies, les courbes serrées et les profils en long.

La vitesse du matériel roulant n'a pas d'incidence sur le dimensionnement de la voie pour les vitesses d'exploitation envisagées.

- Contraintes d'assainissement :

L'exigence fonctionnelle caractéristique des ouvrages d'évacuation des eaux pluviales porte sur le niveau de service, ou période de retour d'insuffisance. La période de retour prise en compte pour le dimensionnement est de 10 ans minimum.

Le dimensionnement de l'assainissement de la plate-forme est réalisé suivant la méthode des temps d'équilibre (Recommandation pour l'assainissement routier – LCPC et SETRA – 1982).

3.2 Caractéristiques de la voirie

La qualité du maillage constitué par le réseau viaire est garante du bon fonctionnement de la ville. Ainsi, la hiérarchie des voies établie au vu des enjeux de fonctionnalité et de vie urbaine se doit d'être maintenue afin de conserver le bon fonctionnement de la ville, dans ses déplacements, et par « effet cascade » de son activité économique.

Les déplacements doivent être assurés en termes de continuité, sécurité et confort pour tous les usages, motorisés ou non. Ainsi, on cherchera, en respect du Règlement Général de Voirie de la CUB, à partager l'emprise de la voirie de manière à réserver, tant que possible, un espace propre (identifiée comme tel avec emprise minimale et signalisation adéquate) pour chaque usage, à savoir, outre les transports en commun, l'automobile, les deux-roues, les piétons et le stationnement.

Lorsque l'emprise ne le permet pas et en fonction des trafics, un type de circulation pourra être orienté vers un itinéraire alternatif, ou cohabiter avec d'autres circulations sur un même espace.

Une attention particulière sera également portée au niveau des zones de conflits potentiels, à savoir les secteurs où plusieurs types de circulation se retrouvent comme les carrefours, les traversées piétonnes, les arrêt et stations de transport en commun, etc.

Les préconisations générales adoptées pour chaque circulation sont présentées ci-après.

3.2.1 Voirie – Espace véhicules

Les voies de circulation, consacrées aux circulations de véhicules motorisés, doivent assurer l'écoulement du trafic dans des conditions de confort et de sécurité, tout en évitant d'inciter à la vitesse. Ainsi, les largeurs de voies retenues sont de :

- 3 m à 3,50 m pour une file de circulation. 3,50 m sont choisis en cas d'absence d'aménagement cyclable, et donc d'espace partagé entre véhicules et cycles,
- 5,60 m à 6,40 m pour deux files de circulation. Les 6,40 m sont choisis en cas de circulation bus ou PL et concernent des itinéraires structurants locaux à intercommunaux.

Pour les grandes voies d'agglomération, les voies circulées par les bus et les voies avec des accès PL, les files de circulation sont de 3,50 m. Au-delà d'une file, la largeur peut être abaissée à 3,20 m. Aussi, une file dédiée peut être réduite jusqu'à 2,80 m pour une voie de catégorie 4 (desserte locale) voire 3 (structurante locale) sous réserve d'un trafic adapté (3 m seront toutefois un minimum en cas de circulation de bus).

Ces dimensions sont comprises hors bordures ou signalisation délimitant l'aménagement cyclable.

Les dévers mis en place sont de 5 % maxi, et en profil en long, la pente est de 0,5 % mini et de 6 % maxi. Le plus souvent, la voirie suit le profil en long du tramway.

3.2.2 Stationnement/accès riverains

Le stationnement est un élément indispensable à intégrer au stade de la réflexion sur les principes d'aménagement liés à l'insertion du tramway. Il apparaît sous deux formes principales dans le cadre du projet :

a) le stationnement de proximité et de desserte commerciale

Il s'implante généralement le long des trottoirs, à droite de la circulation générale (sauf cas particuliers des voiries à sens unique). Il sera globalement restitué par rapport à l'existant dès lors que la demande demeure ou lorsqu'il devient indispensable, si les emprises disponibles le permettent le long du tracé.

b) les parcs relais et les pôles d'échanges

Ce sont des équipements de stationnement automobile et deux roues organisés en surface ou en superstructure de taille variable de l'ordre de quelques centaines de places. Ils permettent le rabattement, généralement sur les terminus, des usagers du tramway des communes desservies ou voisines.

La localisation des emprises réservées à ce type d'équipement se fait selon deux critères :

- une localisation optimale dans le réseau de déplacement individuel et collectif de l'agglomération ;
- une première estimation de l'attractivité des parcs se traduisant en volume de stationnement.

Les pôles d'échanges, outre les capacités propres de stationnement, combinent d'autres fonctionnalités qui sont :

- l'organisation des complémentarités des connexions avec les autres modes de transport ;
- la réorganisation des transports en commun et la promotion des aménagements afin de favoriser l'effet d'une chaîne de déplacements ;
- l'aménagement de points d'échange avec le réseau ferroviaire ;

Le dimensionnement du stationnement (épi, longitudinal, perpendiculaire) répondra aux prescriptions de la Communauté Urbaine de Bordeaux.

On retiendra que le principe général préconisé est le stationnement en files longitudinales, le long des chaussées. Il peut s'envisager selon deux configurations :

- configuration sur chaussée, le long des trottoirs, matérialisée par un marquage au sol,
- configuration de type « Lincoln », qui permet de bénéficier de sur-largeurs de trottoirs au droit des passages piétons notamment. Cette disposition permet alors d'assurer une meilleure sécurité tout en permettant aussi l'implantation des mobiliers urbains ou de plantations.

Les dimensions des places de stationnement sont de :

- longueur : 5,00 m en file courante, et de 5,50 à 6,00 m en place unique entre obstacle. Elle est recommandée de 7 à 8 m pour les places de stationnement pour Personnes à Mobilité Réduite,
- largeur : 2,00 m minimum dans le cas courant (possibilité de réduire à 1,90 m en site contraint). Une surlargeur de 0,80 est tant que possible à prévoir au droit des places de stationnement pour Personnes à Mobilité Réduite.

Les pentes et dévers sont identiques à ceux employés sur chaussée.

Le stationnement pour personnes à mobilité réduite est prévu, à concurrence d'une place pour 50 projetées dans le cadre d'un projet global, et est conforme à l'arrêté réglementaire du 31 août 1999.

Le stationnement 2-roues est également prévu :

- sur trottoir dans les règles d'implantation des mobiliers urbains,
- ou dans des files de stationnement de type « Lincoln », ou, plus largement, clairement séparé de la chaussée courante par des bordures.

Ce type de stationnement est disposé de manière à faciliter le fonctionnement local (au droit des écoles, stades et centre d'études, etc.) mais aussi à privilégier l'intermodalité des déplacements.

Des dispositifs seront également mis en place pour pallier le stationnement sauvage, qui outre les effets néfastes sur la circulation des autres usagers de l'espace public et l'image véhiculée par ce type d'envahissement, risque d'inciter la circulation sur plateforme, lorsque celle-ci est accessible.

L'ensemble des accès riverains sera maintenu, avec des dimensions conformes aux préconisations de la Communauté Urbaine de Bordeaux, à savoir 3 m dans le cas général, 2.4m minimum et 5.0m en largeur maximale (suivant le nombre de places à l'intérieur de la parcelle).

3.2.3 Trottoirs et cheminements piétons

La recherche des cheminements et des traversées piétonnes occupe une place importante pour l'orientation des partis d'aménagement dans chaque contexte d'insertion du tramway. Les grands axes de la réflexion sur ce thème s'articulent autour de quelques idées clés comme la recherche naturelle des trajets les plus directs et la maîtrise des temps d'attente aux carrefours.

La sécurité piétonne doit être assurée le long de tous les cheminements possibles, et différents dispositifs de sécurité seront nécessaires en tant qu'outils de repérage et d'éveil à la vigilance pour les personnes aveugles, malvoyantes ou distraites (dalles podotactiles et mobilier urbain par exemple).

Les cheminements seront confortables avec un nivellement et des types de matériaux et revêtements facilitant la marche et le roulement pour les personnes à mobilité réduite.

La continuité des cheminements est en outre un objectif prioritaire, avec une attention particulière à porter aux traversées de voies de circulation (véhicules motorisés, tramway) sur lesquelles la sécurité devra être spécifiquement assurée (critère de visibilité réciproque à assurer, signalétique, etc.)

Les largeurs minimales pour les cheminements piétons (trottoirs, îlots refuges, etc.) seront respectées, compte tenu des difficultés ponctuelles qui peuvent apparaître dans un contexte urbain existant. Les données de base en termes de largeur sont les suivantes :

- 1,50 m sur trottoir (minimum réglementaire d'1,40 m) ; 2,00 m seront recherchés tant que possible afin de faciliter l'implantation des candélabres,
- 4,00 m de large pour les traversées piétonnes (variable entre 2,50 et 5,00 m suivant les possibilités d'implantation).

La pente maximum est de 4 % (avec des valeurs supérieures admises à condition de mettre en place des paliers de repos), et le dévers de 2 % maximum (1 % préférable).

3.2.4 Pistes et bandes cyclables

Le schéma directeur des itinéraires cyclables montre l'intérêt de la Communauté Urbaine pour développer activement la circulation des 2 roues.

Concernant la Ville de Bordeaux, un réseau principal est établi pour assurer le développement du réseau cyclable ; celui-ci concerne les grands espaces publics qui font l'objet d'un projet de réaménagement et de requalification, mais aussi les jardins, les parcs publics, etc.

Parallèlement, le PDU affiche sa stratégie concernant le report de déplacements courts en automobiles vers les modes les moins polluants, le confort, la sécurité, la continuité et la convivialité des itinéraires cyclistes, la volonté de ne pas séparer systématiquement les différents usages sur voirie.

Les actions à programmer en ce sens pour les cyclistes mettent en avant le développement du réseau d'itinéraires cyclables et l'amélioration du stationnement pour les cyclistes.

Les réflexions préalables axées sur les deux-roues légers, et les cyclistes particulièrement, permettent de s'interroger globalement et conjointement à l'insertion urbaine et en particulier :

- sur les vitesses relatives des différents usagers ;
- sur les origines et destinations (accès aux parcelles, etc.) ;
- sur les conflits entre cyclistes et stationnement ;
- sur l'intérêt d'une cohabitation (entre bus / vélos, vélos / voitures, ou cohabitation plus large entre modes au droit des stations).

Il semble toutefois indispensable de favoriser en tout état de cause l'itinéraire présentant les trajectoires les plus directes et les plus sûres à la fois pour s'affranchir des mouvements anarchiques dans le déplacement des deux-roues quelles que soient la réglementation et la signalisation apparente.

L'implantation du site cyclable se fera de préférence à droite de la chaussée, afin de ne pas créer de sites axiaux dangereux.

L'aménagement cyclable est de plusieurs types :

- la bande cyclable : espace propre au cycle, sur la chaussée. Sa largeur est de 1,50 dans le cas courant. Elle peut exceptionnellement être réduite à 1,20 m (marquage et caniveau au sol compris), et est de 1,80 m maximum (au-delà, il y a risque d'utilisation de la bande pour du stationnement). Elle est généralement unidirectionnelle et se situe à droite de la chaussée,
- la piste cyclable : espace propre isolé de la chaussée roulable. Lorsqu'elle est séparée de la chaussée et du trottoir, elle a une largeur d'1,50 m dans la configuration unidirectionnelle, et de 2,50 à 3,00 m dans la configuration bidirectionnelle, entre obstacles.

Des espaces mixtes accueillant cycles et piétons peuvent également être mis en place. La nouvelle réglementation (juin 2008) leur donne le statut de « voie verte » (aménagement en site propre réservé aux déplacements non motorisés), toutefois, dans un souci de cohérence avec les

aménagements existants, ils gardent le statut actuel « d'aire piétonne » avec une largeur conseillée de 4 m (3 m minimum).

3.2.5 Gestion des carrefours et des passages piétons

3.2.5.1 Typologie des carrefours :

La gestion des conflits avec le tramway peut s'effectuer selon trois types différents :

- gestion par des feux permanents (fonctionnement par des feux tricolores R11 y compris en l'absence du tramway) ;
- gestion par feux uniquement lors d'un passage du tramway (fonctionnement selon le régime de priorité "normal" en l'absence de tramway). Les feux utilisés ici sont de type R24 (feu unique rouge clignotant) et ne gèrent que le conflit tramway/automobile (implantation au droit de la plateforme). Ils peuvent être utilisés sur des giratoires (selon le guide de conception "Franchissement d'un carrefour giratoire par une ligne de tramway – V9.2", CERTU/STRMTG) ou des carrefours à trois branches sous certaines contraintes de positionnement de la plateforme (visibilité du conflit et stockage minimal des automobiles lors du passage du tramway à garantir) ;
- gestion sans feux (en général gestion par stop) sans signal de passage du tramway (gestion valable pour des accès riverains /privés de très faible importance (<10 véh./h)).

D'une manière générale, la multiplication du nombre de carrefours à feux à chaque accès riverains/privés n'est pas souhaitable, notamment pour éviter les risques de remontées de files d'un carrefour sur l'autre. La coordination des flux (onde verte) n'est pas une réponse à ce problème, car :

- la coordination est généralement monodirectionnelle, par conséquent des risques de remontées sont toujours possibles dans le sens non coordonné ;
- le tramway, sollicitant une priorité aux feux, va "casser" la coordination (notamment si aucune phase automobile compatible n'est envisagée avec le tramway).

3.2.5.2 Principes d'exploitation par mode

a) Objectifs généraux :

Les principaux objectifs varient en fonction de l'échelle de réflexion :

- l'échelle du carrefour :
 - prioriser le tramway ;
 - sécuriser la traversée du carrefour pour l'ensemble des usagers ;
 - assurer la capacité d'écoulement des flux selon les charges de dimensionnement retenues ;
 - limiter les temps d'attente de l'ensemble des usagers (maximum 120 secondes selon la réglementation).
- à l'échelle du quartier :
 - protéger les secteurs sensibles du trafic automobile (favoriser le confort des riverains notamment) ;
 - encourager l'usage de voiries adaptées (selon la hiérarchie définie).
- à l'échelle de la ville :
 - maîtriser les flux d'accès ;
 - encourager l'usage des voies de contournement ;
 - favoriser le report modal, notamment via les P+R (Parcs Relais).

b) Objectifs vis-à-vis du tramway :

Le principe de base est d'offrir une priorité « maximale » au tramway dans le franchissement des carrefours. La priorité du tramway consiste à ce que le temps d'attente de chaque rame avoisine zéro seconde pour le franchissement d'un carrefour.

La définition du Certu est la suivante : « la priorité maximale garantit le passage au vert des tramways sans arrêt ni ralentissement, en l'absence cependant d'interférence entre plusieurs demandes de priorités antagonistes (demandes successives rapprochées de plusieurs tramways ou délai anormalement long dans le délai d'arrivée aux feux) ».

Une détection judicieusement placée en amont du carrefour doit ainsi permettre d'optimiser le passage du tram au carrefour (annonce). L'impact sur les usagers antagonistes au tram doit être limité par la prise en compte de la fin du franchissement du carrefour par le tramway (acquiescement).

Ainsi, la priorité au tramway pourrait être accordée soit par prolongation (durée de vert accrue des mouvements compatibles), soit par anticipation (fermeture prématurée des mouvements antagonistes au tramway) des mouvements compatibles avec le tramway, soit par l'insertion d'une lucarne « tramway » (phase de feux spéciale tramway) entre la succession de deux mouvements antagonistes.

Il est à noter que la signalisation lumineuse du tramway pourrait être gérée par sens. Ainsi l'ouverture d'un sens du tramway n'imposerait pas l'ouverture du feu dans l'autre sens (permet d'optimiser les temps de dégagement et donc de limiter les temps d'attente inutiles).

c) Objectifs vis-à-vis du trafic général :

Le trafic général (automobile, poids lourds ou transports en commun hors tramway) doit pouvoir s'écouler de manière satisfaisante avec le souci d'optimiser la capacité utilisée aux heures de pointe. Afin de cerner en temps réel la demande automobile, le fonctionnement pourrait être adaptatif, c'est à dire que :

- le temps de vert s'adapterait à chaque cycle à la demande réelle ;
- certains mouvements ne s'ouvriraient qu'à la demande ;
- les mouvements qui ne seraient plus demandés se fermentaient rapidement.

Ces principes permettraient de maximiser la capacité aux heures de pointe et de diminuer les temps d'attente aux heures creuses.

d) Objectifs vis-à-vis des piétons et des vélos :

Dans la plupart des cas, les traversées piétonnes et vélos sont données « gratuitement » (même en l'absence d'usagers), celles-ci s'ouvrant en parallèle des flux automobiles compatibles.

Sur certains carrefours, des traversées piétonnes et/ou vélos pourraient être équipées de matériel de détection (boutons-poussoirs notamment), lorsque la demande est peu importante et/ou lorsque la longueur de la traversée pénalise le fonctionnement. Ce principe limiterait l'impact sur la capacité du carrefour.

3.2.5.3 Principes détaillés de dimensionnement des carrefours

a) Principes de fonctionnement de la SLT (Signalisation Lumineuse Tricolore) :

Les principes de fonctionnement proposés sont les suivants :

- absence de durée de cycle prédéfinie et gestion par un programme unique pour tous les carrefours non coordonnés ;
- multiprogramme avec cycle défini selon les zones de régulation actuelles ou redéfinies ;
- temps de vert variable en fonction de la demande (microrégulation de toutes les lignes de feux au trafic important (supérieur à 300 véhicules par heure)) ;
- ouverture sur demande des mouvements à très faible demande (inférieure à 50 véhicules par heure) ;
- fonctionnement cyclique (l'ordre des phases est prédéfini) ;
- absence de phase de repos pour les carrefours les plus chargés (les mouvements se succèdent à temps vert minimum) ou vert sur l'axe pour les carrefours avec des transversales à faible demande.

b) Principes de gestion des mouvements tournants :

Pour la gestion des mouvements tournants en conflit avec le tramway, les principes suivants sont proposés :

- en cas de mouvements tournants faibles :
 - les véhicules se stockent à l'intérieur du carrefour (capacité de stockage à vérifier) ;
 - en terme de fonctionnement, les flux stockés s'évacuent pendant le temps de basculement entre les deux phases (interphases).
- en cas de mouvements tournants importants d'un seul côté :
 - les mêmes principes sont appliqués. Toutefois, un décalage à la fermeture des flux (fermeture d'un des deux sens) est envisagé ;
 - une voie spéciale de tourne à gauche peut-être envisagée si l'espace de stockage à l'intérieur du carrefour est insuffisant.
- en cas de mouvements tournants importants des deux côtés :
 - si des risques d'autoblocage sont possibles entre les mouvements tournants stockés au milieu du carrefour, un gestion en phase spéciale (utilisation possible de R14) est donc souhaitable ;
 - le stockage est réalisé totalement à l'extérieur du carrefour, des voies de préselection sont alors nécessaires (minimum 30 mètres).

c) Principes de gestion des traversées piétonnes :

En dehors des carrefours à feux, les traversées piétonnes ne sont habituellement pas gérées par des signaux lumineux (y compris à proximité d'une station), hormis dans les cas suivants :

- longueur de traversée importante sans îlot (supérieure à 8 mètres) ;
- flux piétons importants (nécessité de maîtriser les flux piétons) ;
- nécessité de protéger les usagers (scolaires par exemple).

Dans les carrefours à feux, toutes les traversées piétonnes doivent être gérées par une signalisation lumineuse (R12).

Dans tous les cas, la longueur d'une traversée piétonne régulée ne pourra pas excéder 12 mètres sans îlot.

Plusieurs possibilités de gestion des traversées piétonnes régulées sont envisageables :

- **gestion sans îlot** : la traversée est assurée en une fois sans arrêt et le temps de dégagement prend en compte la totalité de la traversée (à éviter compte tenu des implications importantes en termes de capacité et de l'augmentation de la distance nécessaire de la détection du tramway) ;
- **gestion avec îlot** : la traversée est également assurée en une fois, mais le temps de dégagement prend en compte uniquement une demi-traversée. Un arrêt sur l'îlot est donc possible pour un piéton parti dans les dernières secondes de vert.

Il est à noter que la dimension minimale réglementaire d'un îlot est de 1,5 m, avec toutefois une recommandation à 2 mètres afin d'assurer convenablement les besoins liés aux Personnes à Mobilité Réduite.

La gestion de la traversée piétonne de la plate-forme tramway est régulée lors du passage du tramway (feux R25 déjà en service).

3.2.6 Un projet de marquage fonctionnel :

Sur les phases une et deux du tramway, le réseau a permis de révéler l'unité géographique que constitue l'ensemble du territoire de la communauté urbaine.

Pour ce faire, des éléments forts transversaux capables de se marier à la diversité des territoires rencontrés ont été développés.

Les déclinaisons fonctionnelles multiples de la fonte d'aluminium ont structuré le développement du réseau par un dessin en surimpression venant s'inscrire en filigrane sur l'histoire de l'agglomération.

Cette esthétique particulière liée au marquage fonctionnel est un principe que nous poursuivons en phase trois.

Seul le matériau unique proposé en phase une est abandonné.

Ainsi, pour délimiter, border, signaler, baliser, sécuriser...le projet déclinera des matériaux allant de l'acier, au béton en passant par les bandes de résines ou le verre.

Les éléments de rive :

Les deux lignes latérales marquant l'emprise de la plateforme seront composées d'éléments en béton permettant d'identifier clairement le Gabarit Limite d'Obstacle (« GLO »).

Ces éléments posséderont un gabarit identique à une bordure classique, permettant de faciliter le mode de pose.

La composition des bétons proposés variera en fonction de la sollicitation des éléments ou non au trafic routier.

La juxtaposition du marquage du « GLO » avec les bordures viaires sera supprimée.



>Déclinaison physique de la limite du « GLO » à travers les différents matériaux utilisés depuis la phase une du projet tramway, de la fonte d'aluminium aux éléments en béton préfabriqués

Les éléments de balisage :

Le balisage des franchissements piétons sur la plateforme s'effectuera à l'aide de clous.

Si ce principe est directement dérivé des phases précédentes, l'implantation de ces éléments différera de façon significative puisque qu'elle ne se fera qu'en rives des traversées dans un souci d'économie. Des implantations similaires ponctuelles sur la phase deux du projet donnent ainsi satisfaction.

Les clous sur voirie au droit des stations sont abandonnés. Des bandes de résines viendront marquer le traitement en plateau sur les enrobés.

Sur chaussée, les pistes cyclables seront marquées par de la peinture réfléchissante, avec l'implantation ponctuelle de catadioptrés sur des secteurs particuliers.



Les éléments de signalisation :

En station, des inserts lumineux seront associés au dispositif global d'éclairage, selon un pas moins dense qu'en phases une et deux, et uniquement en axe de plateforme.

Seul ce principe d'éclairage statique en station est maintenu, la mise en place d'un dispositif annonçant l'approche et l'éloignement des stations étant abandonné, dans un souci d'économie.

Afin de conserver une lecture évidente de la plateforme lors des franchissements de nuit, des plots de verre routiers seront disposés en rive de carrefours, permettant aux véhicules de se repérer plus aisément.

Ces plots de verres pourraient également être utilisés ponctuellement pour offrir une meilleure lisibilité des sites complexes, comme les secteurs banalisés par exemple.



3.2.7 Les revêtements :

Les principes de revêtements dépendent du contexte d'insertion de la plateforme et des partis d'aménagement retenus à ce stade des études préliminaires. Ils concernent la plateforme, les surlargeurs éventuelles, les chaussées, les trottoirs, et le stationnement.

Un travail particulier sera conduit sur la plateforme, toujours dans un souci de lisibilité.

Ainsi, le travail sur les limites du « GLO » serait étendu sur les six mètres de gabarit grâce au calepinage ou au marquage des bétons.

- Dans le cas de calepinages, ce sont les finitions des bétons qui seraient susceptibles de varier (passage de la conservation de la laitance à la désactivation...).
- Dans le cas de marquage, ce sont des matrices aux dessins épurés et adaptables qui seraient appliquées sur le béton lui-même.

Ce vocabulaire, simple dans sa mise en œuvre, sera modulé en fonction des typologies des sites, pour permettre à chacun d'évoluer en toute sécurité, grâce à une identification spécifique à chaque type de plateforme. D'un traitement renforcé sur les sites banalisés, le marquage serait allégé en site protégé, voire minimaliste en site propre.

Le domaine d'application de la thématique du marquage dans le projet est polymorphe. Outre cette faculté à perpétuer l'unité du réseau, il rend lisible les constantes sécuritaires du tramway.

Il permet aussi, plus ponctuellement, si cela est nécessaire, d'affirmer, de faire muter, ou de rénover les espaces traversés plus largement, tout en respectant les identités locales.

Parallèlement au marquage de surface, le projet décline une palette de matériaux volontairement limitée pour être lisible, dont les constituants s'articulent de façon graduelle en fonction du statut et de l'identité des espaces traversés.

Nous avons ainsi identifié trois familles de revêtements, intimement liées les unes aux autres :

- La première famille de revêtements identifie les espaces emblématiques. Elle privilégie les pavages naturels (granit, grès, cales...).
- La deuxième famille de revêtements s'accorde aux rues secondaires, aux tissus urbains plus hétérogènes et aux espaces élargis. Elle met l'accent sur l'utilisation de matériaux coulés (béton, enrobé fin, asphalte...), cernés par des bordures architecturées en béton.



- La troisième famille de revêtements définit les espaces ouverts et/ou naturels, souvent périphériques à l'échelle du territoire communautaire. Elle s'appuie sur des matériaux à forte connotation naturelle (stabilisé, bétons poreux sur trottoirs, tapis végétaux sur plateforme...), ou respectueux de la simplicité du contexte d'insertion (ballast avec ou sans platelage, bordures béton classique...).

A ces trois familles seront associés **trois niveaux d'aménagement**, respectivement :

- niveau emblématique ;
- niveau courant ;
- niveau simplifié.

3.2.8 Le mobilier urbain en ligne

Les modèles des mobiliers urbains en ligne utilisés seront conformes à chacune des chartes de mobiliers urbains des différentes communes traversées. La poursuite d'un RAL unique (9007) permettra de préserver une certaine unicité de traitement au réseau.

Les implantations de mobiliers seront raisonnées et se limiteront autant que faire ce peut, au droit des carrefours, à proximité des stations, et aux abords des zones à fortes pressions de stationnement.

Ces positionnements ponctuels permettront de simplifier la lecture de l'espace public tout en minimisant les coûts de mise en œuvre et de maintenabilité.



3.2.9 L'éclairage public

Afin d'assurer la continuité des aménagements, et de garantir la lisibilité de la logique de réseau des aménagements du tramway, les implantations seront similaires à celles proposées en phase deux. Dans ce même objectif, l'intégralité des mâts recevra une finition peinte RAL 9007 (« gris tramway »).

L'implantation des points lumineux dépendra directement de la position de la plateforme. Le projet d'éclairage devra ainsi tenir compte des risques électriques liés à la présence de la LAC (Ligne aérienne de contact), et des contraintes de maintenance que cela implique (consignation des lignes et interruption du service).

Les principes généraux de positionnement des points lumineux le long du tube tramway prévoient :

- l'implantation systématique des points lumineux sur les trottoirs (sauf cas particuliers) ;
- la mise en œuvre de mâts bas (< 4,50m) sur les trottoirs attenants à la plateforme. Dans ce cas, l'interdistance moyenne des points lumineux sera de 13.50 à 16.00m, pour garantir un bon niveau d'éclairement ;
- la mise en œuvre de mâts voirie simples (> 4.50m) sur les trottoirs attenants à la voirie. Dans ce cas, l'interdistance moyenne des points lumineux sera comprise entre 3 et 3.5 fois la hauteur des mâts ;
- la mise en œuvre de mâts mixtes voirie/piéton (> 4.50m) sur les trottoirs larges, en bordure de voirie. Dans ce cas, l'interdistance moyenne des points lumineux sera comprise entre 3 et 3.5 fois la hauteur des mâts. Des mâts piétons simples (< 4.50m) intermédiaires pourront être nécessaires.

Dans la logique de « corridor écologique », porteuse du projet tramway en troisième phase, le plan d'éclairage participera au confortement d'une politique de développement durable, par l'optimisation des interdistances et la réduction de la facture énergétique globale.

Cette démarche n'est cependant viable qu'en maintenant des niveaux d'éclairement suffisants, qui garantissent la qualité des déplacements nocturnes et la sécurité des usagers.

Il s'agira ainsi de définir le plan d'implantation sur la base des recommandations de l'AFE (Association Française de l'Eclairage) et du Syndicat de l'Eclairage, en application de la norme européenne EN-13201.

Ces recommandations prévoient ainsi une hiérarchisation de l'éclairage des voies, par des objectifs photométriques (niveau d'éclairement moyen minimal à maintenir) différenciés selon les usages :

- 20 lux sur les voies urbaines importantes (boulevard, avenue) ;
- 15 lux sur les voies urbaines secondaires (rue) ;
- 10 à 15 lux pour les trottoirs et les pistes cyclables adjacents à la route.

3.2.10 Le paysage

Les préoccupations liées à l'amélioration de notre cadre de vie s'affirment en filigrane dans notre réflexion, et constituent un point de convergence majeur des différentes constituantes de notre proposition d'aménagement.

La mise en relation du choix d'un transport en commun respectueux de l'environnement, conjugué à l'analyse macro géographique du territoire de la Communauté Urbaine, nous conduit donc à proposer d'inscrire le nouveau réseau du tramway dans des « corridors écologiques », espaces verts linéaires valorisant l'agglomération.

En fil rouge, notre projet s'approprie la géographie de l'agglomération, et formalise un parti végétal prégnant, révélant et confortant des corridors écologiques, qui s'insinuent dans le tissu urbanisé en grandes pénétrantes vertes depuis les boisements de pins périphériques.

Lorsque les emprises disponibles sont particulièrement limitées, les plantations linéaires de grande ampleur cèdent la place aux ponctuations végétales en lanières cadencées.

Il s'agira alors de suggérer la notion de « corridor écologique » en confortant le patrimoine végétal des villes traversées par des interventions ciblées.

La plantation dès que possible des quais de stations poursuivra cette logique, et créera un lien visible entre la fonctionnalité du tramway et le paysage dans lequel il s'inscrit.



>A droite : Image de synthèse : Source MISTRA – TISYA - ARTEFACTO

3.2.11 Signalisation

3.2.11.1 Généralités

La plateforme du tramway, s'insérant dans un contexte routier existant, est amenée à franchir à plusieurs reprises les axes routiers à proximité.

Pour assurer la sécurité des usagers au droit de ces points singuliers est mise en place une signalisation lumineuse de trafic ou statique.

Cette dernière correspond à :

- une signalisation horizontale à savoir le marquage au sol,
- une signalisation verticale qui se décompose en 2 thèmes :
 - o signalisation de police,
 - o signalisation de direction.

Cette signalisation doit répondre au cadre réglementaire en vigueur en terme de choix de panneau et d'implantation, et doit être mise en place de manière à ce qu'elle soit perceptible, lisible, claire et suffisante, sans surcharger le site en terme de quantités de panneaux, ce qui aurait pour effet néfaste de noyer voire décrédibiliser l'information parmi d'autres.

Les principes proposés reposent sur la réglementation actuellement en vigueur. Néanmoins, la réglementation ayant été récemment modifiée (novembre 2008), certains principes de la réglementation antérieure de 2002 seront conservés dans un souci de cohérence avec l'aménagement existant.

3.2.11.2 Rappels réglementaires

3.2.11.2.1 Signalisation horizontale

Le document de référence pour l'emploi et la mise en place de la signalisation horizontale est le Livre 7 de l'Instruction Interministérielle de la Signalisation Routière de novembre 2008.

Dans le cas présent, la signalisation au sol consiste essentiellement :

- à différencier la plateforme du tramway de la chaussée supportant la circulation générale, et plus précisément au niveau des carrefours (en section courante, la mise en place d'éléments de séparation (lisse) permet de bien distinguer les 2 espaces),
A noter toutefois que les différences de traitement en termes de matériaux employés permettent de distinguer les différents espaces et ainsi d'alléger la signalisation.
- à indiquer les traversées piétonnes,
- à mettre en place sur la chaussée courante le marquage au sol de circonstance : Stop, Cédez-le-Passage, Ligne d'effet des feux, délimitation des voies, passages surélevés, etc.

Un marquage au sol propre à la piste cyclable est également à mettre en place.

3.2.11.2.2 Signalisation verticale de police

Le document de référence pour l'emploi et la mise en place de la signalisation horizontale est l'Instruction Interministérielle de la Signalisation Routière, consolidée en novembre 2008 (Livres 2, 3, 4 et 5).

La signalisation à mettre en place concernera la circulation générale qui devra être informée:

- de la traversée de la plateforme du tramway sur la chaussée courante,
- que la plateforme est un espace réservé à une certaine catégorie d'usage,
- d'événements spécifiques tels que les passages surélevés,
- de la gestion des priorités aux carrefours.

3.2.11.2.3 Signalisation verticale de direction






Aujourd'hui, malgré l'apparition de nombreux décrets, le texte de référence en vigueur reste l'Instruction Interministérielle relative à la signalisation de direction – adressée par circulaire n°82-31 du 22 mars 1982.

Les panneaux directionnels au niveau de chaque intersection ont été implantés à partir d'un schéma directeur établi aux échelles locales et départementales par les services compétents.

3.2.11.2.4 Signalisation lumineuse de trafic

Le document de référence pour l'emploi la mise en place de la signalisation lumineuse tricolore est le Livre 6 de l'Instruction Interministérielle de la Signalisation Routière.

Les principaux signaux employés sont :

Signal tricolore circulaire	R11	
Signal piétons – traversée de voirie	R12	
Signal piétons – traversée de plateforme tramway	R25	
Signal pour tramway	R17	
Signal d'arrêt	R24	

Le signal R24, marque une interface simple et unique avec la plateforme. Afin de faciliter sa compréhension, il est assorti d'un panneau C20C et d'un panonceau indiquant « rouge clignotant arrêt absolu ».

Le signal classique R11 est utilisé dans tous les autres cas.

L'implantation des feux se fait au droit ou immédiatement à l'aval de leur ligne d'effet et, a minima, sur la droite de la voie lorsque celle-ci est à double sens.

3.2.11.3 Principe de signalisation

3.2.11.3.1 Signalisation horizontale

3.2.11.3.2 Différenciation site propre / chaussée courante

L'un des objectifs de la signalisation horizontale est de différencier les deux espaces, et plus précisément au niveau des carrefours où les deux espaces sont au même niveau.

Néanmoins, la différenciation se faisant au niveau de la lisse ou du matériau choisi pour le traitement du site propre, il n'est pas nécessaire d'y ajouter un marquage spécifique.

3.2.11.3.3 Traversées piétonnes

Les passages pour piétons sont délimités par des bandes rectangulaires blanches parallèles à l'axe de la chaussée, d'une longueur de 2,50 à 4 m.

La largeur de ces bandes est de 0.5 m et leur interdistance de 0.5 à 0.8 m

Le marquage axial (délimitation des voies) est interrompu de part et d'autre du passage pour piétons, à une distance de 0.5 m.

Ce marquage sera nécessaire sur les voies courantes, en revanche, aucun marquage de traversées piétonnes ne devra être réalisé sur le site propre du tramway. Une matérialisation spécifique du cheminement sera néanmoins réalisée sur la plateforme, au droit des stations.

3.2.11.3.4 Marquage au sol sur chaussée courante

Délimitation des voies

Elle se fera au moyen d'une ligne discontinue, dont le type sera choisi de manière à rester homogène avec les voies alentours (ligne T1, T'1 ou T3), et de largeur 2u, à savoir 12 cm.

Du fait de la bonne perception de l'aspect « terre-plein » constitué par le site propre au tramway (éléments séparateurs, différenciation contrastée des espaces par l'emploi de matériaux spécifiques), il n'est pas nécessaire de mettre en place de ligne continue le long de l'aménagement.

Marquage au sol des carrefours

Trois cas peuvent être envisagés :

- le STOP : la ligne complétant le panneau est continue, de largeur 0.50 m et s'étendant sur toute la largeur des voies affectées à la circulation des véhicules qui doivent marquer l'arrêt. L'implantation est choisie en fonction de la visibilité,
- le Cédez-le-Passage : la ligne complétant le panneau est discontinue de largeur 0.50 m et de modulation T'2 (éléments de 0.50 m de longueur et espacés de 0.50 m),
- la ligne d'effet des feux : elle est de type T'2 et de largeur 15 cm. Cette ligne est tracée lorsqu'elle n'est pas accolée au passage protégé.

Marquage au sol de l'aménagement cyclable

Les pistes cyclables ne jouxtent pas directement les voies de circulation générale. Le seul marquage au sol à mettre en place est la ligne axiale des pistes à double sens de circulation : celles-ci sont continues de largeur 2u (soit 6 cm) ou discontinue de type T'1.


Ce marquage sera complété par des figurines au sol, le fond vert est fortement recommandé en début et fin de voies cyclables.


Pour les bandes cyclables, un marquage au sol spécifique de délimitation de l'espace dédié aux véhicules et de l'espace cyclable est à prévoir. Il consiste en une ligne discontinue de type T3 et de largeur 5u (15 cm) ainsi que de figurines disposées à intervalles régulier.

3.2.11.3.5 Signalisation verticale

3.2.11.3.6 Traversée de la plateforme du tramway



La signalisation mise en place à destination des conducteurs de véhicule est de deux types : la signalisation avancée et la signalisation de position.

- **la signalisation avancée** : panneau A9  implanté à distance comprise entre 0 et 50 m. Ce panneau est implanté différemment selon la gestion du carrefour :
 - o dans le cas des carrefours traversés par le tramway et gérés par des feux R11. Ce panneau prend le relais en cas de fonctionnement défaillant de la signalisation lumineuse : le tramway est prioritaire puis les véhicules selon la règle de la priorité à droite. Ce panneau est implanté au droit de chaque R11,
 - o dans le cas des carrefours gérés par R24, le panneau est positionné en amont, idéalement à 50m de l'intersection.

- **la signalisation de position** : panneau C20c  implanté au plus près de la traversée, en règle générale au plus près du GLO. La mise en place de ce panneau est obligatoire sous les R24. Il peut doubler l'information du A9 dans des carrefours larges ou peu lisibles. Ce panneau est aussi implanté au droit des accès riverains directement en interface avec la plateforme, en sortie d'accès il est souvent renforcé d'un « stop ».

A noter : la version consolidée de l'Instruction Interministérielle de la Signalisation Routière de novembre 2008 prévoit une révision de l'implantation de ces panneaux, les rendant non obligatoires en cas de signalisation lumineuse de trafic. Toutefois, afin de rester conforme avec ce qui est déjà en place, l'application du même principe utilisé jusqu'à présent est choisie.

3.2.11.3.7 Site réservé


Concernant les aménagements propres cyclables, les panneaux C113  et C114  seront mis en place de manière à informer les cyclistes des débuts et fins des aménagements cyclables.


Les aires piétonnes sont quant à elles signalées par les panneaux C109  et C110



. Ce principe est conservé afin de rester homogène avec la signalisation actuellement en place.




On retiendra toutefois que l'arrêté du 11 juin 2008 donne à ces espaces le statut de voie verte,

signalée en début et fin d'aménagement par les panneaux C115  (nouveau panneau

défini par arrêté du 11 juin 2008) et C116 .

3.2.11.3.8 Passages surélevés

Les plateaux surélevés (positionnés essentiellement en station et en carrefours) sont signalés conformément aux recommandations du guide sur les « Ralentisseurs de type dos d'âne et trapézoïdal », à savoir :

- en signalisation avancée (environ 30 m avant l'événement) :
 - o panneau réglementaire : un panneau B14  limitant le secteur à 30 km/h,
 - o panneau nécessaire : le panneau A2b 
- en signalisation de position :
 - o panneau recommandé : Panneau C27 .

3.2.11.3.9 Gestion des carrefours

Le long d'un site propre, il peut exister des carrefours secondaires, auxquels il n'est pas envisageable d'associer systématiquement une signalisation lumineuse tricolore (rues à faible trafic, impasse, etc.)

Dans ce cas-là, les panneaux courants sont mis en place :



B2A



AB4



B2B



AB3A



B25

3.2.11.3.10 Signalisation directionnelle

Le schéma directeur établi est la base de toute signalisation directionnelle car il précise quelle direction indiquer, à quel endroit et sous quelle forme. Il précise en outre le type de mention (mention verte, mention blanche) selon un certain nombre de critères et le type de signalisation à mettre en place.

Ainsi, dans la mesure où le projet s'insère sur de l'existant, on cherchera à conserver la signalisation directionnelle mise en place (les travaux consisteraient alors essentiellement à déplacer des panneaux le cas échéant, voire à les remplacer s'ils sont dégradés).

En revanche, dans le cas où le TCSP modifie un plan de circulation actuel (par exemple suppression d'un mouvement de tourne-à-gauche en cas de plateforme axiale), un jalonnement modificatif sera à rechercher par les Services de la CUB de manière à rester cohérent avec le Schéma Directeur.

3.2.11.3.11 Signalisation lumineuse de trafic

Dans le cas général d'équipement d'une installation (carrefour, giratoire, passage piétons isolé), la signalisation lumineuse tricolore se décompose de la manière suivante :

- la circulation générale est informée au moyen de feux R11, renforcés de répéteurs de trafic placés à mi-hauteur. L'ensemble est placé sur poteau ou fût de potence. En cas d'installation de ce type de support, l'information est complétée par un feu supplémentaire placé en bout de crosse.
- dans le cas d'un giratoire, carrefour à faible trafic ou franchissement simple, la circulation générale ne dispose d'information qu'en provenance de signaux R24 (feu unicolore rouge clignotant). Les traversées piétonnes placées aux entrées de giratoire ne sont dotées que d'une signalisation statique.
- En cas de matérialisation de traversées piétons sur un carrefour équipés de feux tricolores, l'information de ces usagers est assurée au moyen de caissons type R12 à figurines vert et rouge placés en vis-à-vis de part et d'autre de la chaussée à franchir.
- La signalisation de la traversée de la plateforme du tramway à destination des piétons est assurée par la signalisation R25,
- Chaque sens de circulation du tramway est doté de feu spécifique R17 composé de 3 lentilles placées verticalement et complétées chacune d'informations différentes réalisées par :
 - o Une barre verticale blanche sur fond noir – autorisation de franchissement,
 - o Disque blanc sur fond noir allumé pendant 3 secondes – feu d'avertissement,
 - o Une barre horizontale blanche sur fond noir – interdiction de franchissement.

Cette signalisation est complétée par une quatrième lentille autonome (dotée d'un point d'exclamation sur fond noir), servant à signaler au conducteur de la rame, la prise en compte effective de son arrivée par le SAE (Système d'Aide à l'Exploitation) et le contrôleur de carrefour. Cette 4ème lentille est placée en partie supérieure ou inférieure du même support. Elle ne relève pas de la signalisation de police mais de la signalisation dite d'exploitation.

Cet ensemble d'informations est disposé sur un poteau latéralement à la plateforme, sur le terre-plein.