



Guide de conception d'une infrastructure de recharge des VE pour la gare-pôle d'échange Principes / Bases pour le dimensionnement / Réglementation

Matteo Porrino, Bruno Dalmais

► To cite this version:

Matteo Porrino, Bruno Dalmais. Guide de conception d'une infrastructure de recharge des VE pour la gare-pôle d'échange Principes / Bases pour le dimensionnement / Réglementation. [Rapport Technique] ENSA Paris-Malaquais; Université Paris-Est; Efficacy. 2016. <hal-03752740>

HAL Id: hal-03752740

<https://hal.science/hal-03752740v1>

Submitted on 17 Aug 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Guide de conception d'une infrastructure de recharge des VE pour la gare-pôle d'échange

Principes / Bases pour le dimensionnement / Réglementation

Matteo Porrino, ENSA Paris-Malaquais

Bruno Dalmais, VINCI Energies

**Guide de conception d'une infrastructure de recharge des VE
pour la gare-pôle d'échange
Principes / Bases pour le dimensionnement / Réglementation**

Sommaire

1. Introduction	4
1.1. Spécificités de la mobilité électrique dans la ville contemporaine	4
1.2. Objectif de la recherche dans le cadre du Lot 1.1.1.	11
2. Les VE dans l'environnement de la gare pôle d'échange	15
2.1. Usages des infrastructures de recharge des VE à proximité des stations et des gares	15
2.2. Décomposition des usages des VE, définition des besoins en fonction des usages	17
2.3. Exemples de scénarios sur 24 heures (B. Dalmais)	20
2.4. Détermination des scénarios par usage (B. Dalmais)	22
3. Éléments pour le dimensionnement électrique d'une IRVE	25
3.1. Types de bornes et configurations de l'infrastructure	25
3.2. Dimensions et nombre de points de charge d'une infrastructure de recharge des VE	28
3.3. Les sources d'énergie, le stockage d'énergie et la gestion de l'énergie (B. Dalmais)	30
4. Éléments pour le dimensionnement architectural de la station	34
4.1. Réglementation et normes	34
4.2. Bases pour le dimensionnement	37
4.3. Éléments pour le dimensionnement des espaces de stationnement et recharge	41
4.4. Le cas des bus standard 12 mètres	44
4.5. Station de recharge en parking souterrain	48
4.6. Station de recharge sous abri ou sous ombrière photovoltaïque	49
4.7. Signalétique et marquage au sol des espaces de stationnement et recharge	54

4.8. Fonctions principales, services annexes, éléments auxiliaires	61
4.9. Éléments pour le dimensionnement des espaces techniques	63
5. Perspectives	65
6. Bibliographie	69
7. Annexes	72
- A1, Réglementation et normes	
- A2, Diagramme future gare RER Noisy-Champs	
- A3, Diagramme future gare GPE Clichy-Montfermeil	
- A4, Extraits du Guide déploiement du service Autolib' - version juillet 2015	

1. INTRODUCTION

1.1. SPECIFICITES DE LA MOBILITE ELECTRIQUE DANS LA VILLE CONTEMPORAINE

La diffusion de la voiture électrique suppose la création d'un réseau étendu de points de recharge, sous forme de bornes distribuées en bordure de voirie ou de stations de recharge comportant plusieurs places, éventuellement couvertes, et dont à la fonction principale d'une infrastructure de recharge peuvent être associées les fonctions de gestion intelligente de la distribution électrique propres au nœud d'un *smart grid* local - de secteur ou de quartier.

L'attractivité des véhicules électriques et l'augmentation de leur nombre dépendent en effet étroitement de l'existence d'une infrastructure de recharge diffuse, efficace et fiable, mais seule la présence d'un nombre important de véhicules électriques sur le réseau routier est à même de justifier les investissements significatifs requis pour la création d'une telle infrastructure.

Cette situation, dans laquelle l'hésitation des usagers va de pair avec les actions d'incitation menées par les administrations publiques en vue de promouvoir et favoriser la mobilité électrique, caractérise la phase actuelle.

Les objectifs des schémas d'aménagement durable de la région Île-de-France correspondent à une baisse de 20% des émissions du trafic routier d'ici 2020, et plus largement à une diminution de 22% de la pollution (kteqCO₂¹) par rapport à 2005 dans les transports. On prévoit à la même échéance la présence de 400 000 véhicules électriques ou hybrides rechargeables sur le réseau routier francilien. Pour 2030, les prévisions indiquent 1 000 000 de véhicules électriques ou hybrides rechargeables présents sur les routes franciliennes, entraînant une augmentation des besoins électriques de 500 MW, et impliquant le déploiement sur le territoire de 2 000 000 de points de recharge. Pour 2050, l'objectif est de parvenir à une diminution de 83% de la pollution (kteqCO₂) par rapport à 2005 dans les transports, grâce notamment à une baisse du nombre de véhicules circulants de 35 millions actuels à 22 millions et à la coprésence sur les routes françaises de véhicules électriques, hybrides et thermiques dans les proportions d'1/3 pour chacune de ces catégories².

À l'échelle européenne, la comparaison 2014-2015 permet de photographier la situation actuelle (véhicules circulants) et de formuler des prévisions d'ici cinq ans sur l'augmentation de la production et sur la composition future du parc automobile. Le nombre des voitures électriques immatriculées est

¹ Milliers de tonnes équivalent CO₂.

² Cf. sur ces prévisions les contributions présentées lors du séminaire « Réussir le Grand Paris des véhicules électriques », organisé le 28 janvier 2015 par la Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie d'Île-de-France (DRIEE), ainsi que le Plan des déplacements urbains de la région Île-de-France (PDUIF).

augmenté de 51%, passant de 64 000 à 115 000 unités, et le nombre des voitures hybrides est augmenté de 29% (de 141 000 à 170 000 voitures immatriculées)³. D'ici cinq ans, en 2021, les fabricants prévoient de produire pour le marché européen jusqu'à 2 200 000 voitures, électriques et hybrides confondues, soit cinq fois de plus qu'en 2014, où elles étaient 400 000.

Le squelette de la future infrastructure de recharge des VE coïncide avec le réseau national de distribution électrique, lequel n'a cessé d'évoluer depuis sa création, devenant quasi omniprésent dans les villes et les territoires. Ce réseau peut être adapté et augmenté pour répondre aux exigences de la mobilité électrique et de la nouvelle infrastructure de recharge.

Les recherches actuelles portent sur la capacité des batteries et sur les modalités permettant de transférer de la manière la plus efficace l'énergie depuis le réseau vers les batteries des véhicules⁴. Le corpus existant sur la mobilité électrique est en effet centré sur les aspects inhérents au véhicule lui-même, les infrastructures de recharge apparaissant pour l'heure reléguées en arrière-plan.

Si les questionnements sont d'abord de nature technologique, la résolution des problèmes posés par le développement de la mobilité électrique se situe à l'intersection de plusieurs champs, dont les études urbaines, architecturales et socio-économiques, ainsi que les analyses sur les comportements et les usages.

Le thème de la distribution électrique destinée à la recharge des véhicules électriques ne recoupe que très partiellement celui de la distribution de l'essence pour les véhicules à moteur thermique (tab. 1).

V à essence	V électrique
Combustible stocké sur certains sites	Courant él. quasi omniprésent
Distribution ponctuelle – stations-service	Distribution capillaire – bornes de recharge
Essence transférée rapidement dans le réservoir des voitures	Énergie él. transférée lentement vers les batteries des voitures
Nombre illimité de pleins	Nombre limité de recharges
Emissions de CO ₂ et autres polluants	Aucune émission

Tab. 1, Comparaison schématique des deux technologies de traction thermique et électrique.

Pour des raisons de sécurité, de respect environnemental et d'économie d'échelle, le combustible de ces véhicules est stocké dans certains lieux et transféré périodiquement, grâce à des camions citernes, vers les stations-service jalonnant le réseau routier. L'énergie électrique est quant à elle

³ Les croissances en pourcentage sont très élevées car le volume des véhicules produits et vendus reste aujourd'hui relativement faible. Étude PwC, Autofacts, Analyst Note « Europe: Electrification and beyond », janvier 2016.

⁴ Cf. sur ces arguments, M. Glachant (dir.), M.-L. Thibault, L. Fauchaux, *Recharger les véhicules électriques et hybrides*, Paris, Presses des Mines-Transvalor, 2013.

disponible presque partout grâce aux réseaux existants, et la connexion avec eux se réalise simplement et directement par liaison câblée ; le transfert d'une faible quantité d'énergie demeure économique et la distribution des points de recharge peut devenir capillaire et dense.

Une autre différence relève plus clairement des modes et du rythme d'utilisation du véhicule électrique. En effet, le rechargement de ses batteries s'effectue lors du stationnement, ce rechargement nécessitant au minimum un arrêt d'une demi-heure (recharge rapide), plus généralement de quelques heures (recharge normale), alors que l'utilisateur d'une voiture thermique s'arrête expressément pour en remplir le réservoir, une opération qui ne réclame que quelques minutes. Le trajet n'est donc interrompu que par une courte pause, éventuellement renouvelée durant le parcours effectué, mais sans obligation de stationnement, et les longues files d'attente aux stations-service peuvent exister mais restent exceptionnelles.

L'écart entre les deux technologies tient à un dernier aspect, lui aussi étroitement lié aux modes et au rythme d'utilisation du véhicule. Le réservoir d'une voiture à essence peut être rempli un nombre illimité de fois tandis que les batteries d'un véhicule électrique ne peuvent supporter qu'un nombre fini de cycles de décharge et de recharge ; au-delà de ce nombre la batterie cesse de fonctionner correctement et doit être remplacée. Par ailleurs, les habitudes de l'utilisateur peuvent contribuer substantiellement à déterminer la durée de vie d'une batterie : les batteries sont en effet très sensibles aux modalités selon lesquelles la recharge est effectuée - temps et type de recharge - et au rythme des recharges. La gestion du remplacement des batteries usées et de leur recyclage constitue donc un sujet clé du développement et de la diffusion du véhicule électrique.

Dans la perspective de la définition des critères de conception des *infrastructures de recharge des véhicules électriques* (IRVE), un certain nombre de considérations se réfèrent à la dimension urbaine et territoriale du problème.

La longueur du trajet qu'un véhicule électrique est en mesure de parcourir avant que le niveau de charge n'oblige à s'arrêter pour recharger les batteries est une donnée variable⁵. Les véhicules circulants appartiennent à des typologies variées offrant des autonomies diverses, et les progrès dans le développement de batteries lithium-ion et lithium-métal-polymère (ou autres technologies) de capacité augmentée sont constants, cette industrie bénéficiant actuellement d'investissements considérables.

⁵ La nouvelle Nissan LEAF 2016, par exemple, est disponible avec une batterie de 30 kWh (24 kWh précédemment), ce qui permet à cette voiture d'augmenter son autonomie de +26% par rapport au modèle précédent, soit de parcourir environ 250 km entre chaque recharge (données du fabricant). Remarquons cependant que les données communiquées par les fabricants se réfèrent à des mesures prises dans des conditions idéales et peu réalistes : de façon générale, on peut retenir une autonomie réelle moyenne égale à 75% de l'autonomie officielle fournie par le fabricant.

Dans le cas où la majorité des véhicules circulants possède une bonne autonomie, les points de recharge peuvent être relativement éloignés entre eux ; toutefois, précisément dans ce cas, le temps moyen nécessaire pour repérer et atteindre le point de recharge le plus proche sera plus long. Si les véhicules circulants ne peuvent bénéficier d'une bonne autonomie - ce qui correspond à la situation actuelle -, les points de recharge doivent être proches les uns des autres et leur densité tend donc à augmenter.

Dans un cas comme dans l'autre, les aspects d'usage du sol en contexte urbain et extra-urbain, de réalisation des travaux de connexion au réseau électrique existant, ainsi que le modèle économique des gestionnaires des points de recharge, entrent en jeu dans la définition du modèle de distribution spatiale des bornes et des stations.

En outre, les politiques urbaines relatives à l'espace public et aux espaces privés seront confrontées au jeu complexe des acteurs industriels qui, tout en rivalisant entre eux, déploient, depuis quelques années déjà, des points de recharges réservés à leurs propres clients⁶.

S'agissant de la localisation des points de recharge, apparaissent d'emblée les endroits où les voitures passent la majorité de leur temps de stationnement comme les plus propices au déploiement des bornes et à la réalisation des stations.

Ces lieux sont en règle générale les parkings des habitations, ou les rues des quartiers résidentiels, les lieux de travail, les centres commerciaux ; les voitures y sont très fréquemment garées pour une durée non inférieure à trente minutes (de fait pour une durée moyenne de plusieurs heures). Au moment de la journée correspondant à l'activité connexe avec ces lieux (la nuit à proximité des habitations, en journée près des lieux de travail), les véhicules peuvent donc être rechargés avec la plus grande facilité, et la capacité technique de rechargement d'un territoire y est exploitée au mieux.

Les analyses sur les habitudes des automobilistes prennent en compte l'origine et la destination des déplacements dans la journée et la fréquence de ces déplacements durant la semaine. Or l'interprétation de ces données se révèle beaucoup plus complexe qu'à première vue. Toute modification du système de mobilité urbaine entraîne en effet une modification des comportements des individus et des familles, et les résultats des analyses sur les déplacements peuvent perdre une partie de leur validité dès lors qu'on les applique à des scénarios de mobilité électrique diffuse. À cet

⁶ Voir par exemple les réseaux de stations mis en place dans plusieurs pays par Nissan ou Tesla. Rappelons que l'ensemble des postes de recharge déployés sur le territoire français est publié par le gouvernement sous la forme de données ouvertes (Open Data) ; le répertoire national des IRVE est notamment constitué du *Fichier consolidé des Bornes de Recharge pour Véhicules Électriques (IRVE)*, régulièrement actualisé, et de la *Carte des Bornes de Recharge pour Véhicules Électriques* s'appuyant sur les jeux de données du fichier. (Voir <https://www.data.gouv.fr/fr/>).

élément d'incertitude s'ajoute la tendance contemporaine aux usages urbains mixtes, qui a pour effet d'estomper les contours trop nets des zones considérées comme purement résidentielles, commerciales ou productives, et de réduire la distance moyenne des déplacements ainsi que la durée moyenne des stationnements. La diffusion de l'auto-partage et du covoiturage, enfin, pousse dans la même direction, en réduisant les temps moyens de stationnement près de l'habitation du propriétaire du véhicule.

Le temps de recharge représente un autre élément clé dans la définition d'un modèle de distribution des points de recharge, ainsi que dans la détermination de la typologie des stations (programme). L'autonomie des véhicules électriques, donc le temps entre recharges successives, est par ailleurs très fortement influencée par le type de conduite et par les conditions environnementales.

Les voitures actuellement sur le marché disposent de trois modalités de recharge différentes : la recharge dite domestique s'effectue à partir d'une prise domestique de 220 V en 10 heures environ (recharge en 10 A) ; la recharge normale (recharge mode 3) s'effectue à partir d'une *wallbox*⁷ installée sur une ligne dédiée à domicile ou sur le lieu de travail, ou depuis les bornes publiques. La recharge rapide, enfin, s'effectue à partir des bornes de recharge rapide déployées par les constructeurs automobiles et leurs partenaires, ou par les concessionnaires des services publics (futurs stations de recharge publiques) ; cette recharge n'est disponible que pour les véhicules disposant d'un connecteur pour chargeur rapide (par ex. de type CHAdeMO)⁸. Nous reviendrons dans les chapitres suivants sur les différents types de recharge (§ 3.1).

La recharge lente suppose que des points de recharge existent là où les véhicules stationnent pour une longue durée, environ 8 heures ou une nuit (habitations, lieux de travail) ; la recharge rapide en revanche ne dessert qu'occasionnellement des utilisateurs passant à proximité d'une borne ou d'une station, qui peuvent alors interrompre leur trajet en faisant une courte pause - dans ce cas le rechargement est aléatoire et « opportuniste » -, ou ceux dont le véhicule est proche de la limite de son autonomie et, ses batteries étant presque épuisées, nécessite d'être rechargé.

Un autre aspect susceptible d'influencer le modèle de distribution des bornes et des stations de recharge tient à leur coût d'achat, de mise en œuvre et d'entretien. Si le coût de ces équipements est élevé, les investissements alloués ne peuvent se justifier qu'à la condition d'un usage intensif de

⁷ À titre indicatif, ce dispositif de recharge fournit un courant en 16A ou 32A, ce qui permet de recharger une voiture en 8 heures environ ou, pour les véhicules équipés de chargeur embarqué, en 4 heures seulement.

⁸ Les bornes de recharge rapide délivrent 43 kWh en courant continu, ce qui permet de recharger la batterie d'une voiture à 80% en moins de 30 minutes (le temps d'un déjeuner).

chacun des points ; ainsi bornes et stations auront tendance à se concentrer en un nombre limité de sites, à l'intersection des flux du trafic. À contrario, un coût réduit de ces équipements favorise une meilleure diffusion et une plus haute densité des points de recharge sur le territoire.

La distribution des bornes et des stations est également influencée par la présence relative sur le réseau routier des différentes typologies de transports, de services ou d'usagers, chacune étant caractérisée par une longueur moyenne du trajet quotidien et par un temps moyen pour parcourir ce trajet. L'aller-retour entre habitation et lieu de travail, correspondant par hypothèse à environ 50 km⁹ (donc bien en-deçà de l'autonomie actuelle des véhicules électriques) et une heure et demi de fonctionnement du véhicule, permet de concentrer la recharge durant la nuit, près de l'habitation.

La diffusion de l'auto-partage (conventionné ou non) provoque en règle générale une augmentation du nombre des voitures dont l'usage est intensif. Ces véhicules passent en effet d'un utilisateur au suivant, si l'état de charge des batteries le permet, et alternent marche et rechargement selon un rythme soutenu (ce qui permet par ailleurs de recueillir des données précieuses sur la durée de vie des batteries et des équipements de recharge) ; cela suppose soit l'existence de batteries de bonne capacité, offrant une plus longue autonomie (la recharge est alors concentrée dans les heures nocturnes), soit la possibilité de recharger les batteries rapidement et à plusieurs reprises durant la journée.

« La conception de l'infrastructure s'inscrit donc dans un changement culturel qu'implique l'usage du véhicule électrique : il ne s'agit plus de *faire le plein à la station-service* quand la batterie est vide mais de le brancher autant que possible chaque fois que l'on s'arrête et spécialement tous les soirs. La batterie n'étant ainsi déchargée que très partiellement, la recharge reconstitue en un temps réduit l'autonomie du véhicule. Cet usage est en outre le plus adéquat pour l'efficacité énergétique et favorable à la durée de vie des batteries de nouvelle technologie. Seuls les trajets exceptionnels ou de longue distance nécessitent des arrêts spécifiques pour recharger »¹⁰.

Enfin, la dimension psychologique de la localisation du point de recharge le plus proche ne doit pas être négligée. Le modèle de distribution des bornes ou des stations de recharge devrait pouvoir évoluer dans le temps en fonction de l'état de l'art de la voiture électrique, dont il accompagne et structure la diffusion sur le territoire. Dans l'idéal, l'utilisateur ne devrait jamais éprouver l'inconfort lié à la préoccupation de l'épuisement des batteries du véhicule avant d'avoir croisé une borne ou une

⁹ L'enquête IPSOS réalisée du 22 au 29 août 2014 pour le compte d'AVERE-France et Mobivia Groupe établit que 78 % des automobilistes effectuent un parcours journalier inférieur à 50 km et que la distance moyenne parcourue quotidiennement est de 31 km, soit bien en-deçà de l'autonomie actuelle des véhicules électriques.

¹⁰ *Guide technique pour la conception et l'aménagement des infrastructures de recharge pour véhicules électriques et hybrides rechargeables*, décembre 2014, p. 5.

station. Son sentiment de sécurité provient soit de la capacité accrue des batteries, dont l'autonomie couvre l'intervalle maximum entre les points de recharge (bornes recharge normale), soit d'une haute densité de points de recharge offrant la possibilité d'une recharge rapide. Le maintien en bon état de fonctionnement des stations de recharge est donc un impératif pour la crédibilité de l'*écosystème* du véhicule électrique.

1.2. OBJECTIF DE LA RECHERCHE DANS LE CADRE DU LOT 1.1.1.

- Objectifs généraux

- Les gares et les stations en tant que lieux où s'entrecroisent plusieurs modes de transport constituent des éléments structurants du développement urbain. Ces lieux interagissent différemment avec le contexte selon leur rang hiérarchique et en fonction des caractéristiques de leur localisation. Les pôles d'échange se révèlent ainsi être prescripteurs de nouveaux usages. Prévoir une infrastructure de recharge des VE dédiée à la gare permet donc de compléter et de valoriser les possibilités d'échange entre moyens et services de transport, tout en accompagnant la diffusion des nouvelles pratiques liées à la mobilité électrique : auto-partage, covoiturage, déploiement des lignes bus électriques, adoption du transport électrique pour la distribution des marchandises en tant que maillon intermédiaire de la logistique urbaine (dernier kilomètre).
- Développer une station de recharge en tant qu'élément d'un système de plusieurs stations, appartenant à une même famille, reliées entre elles ; contribuer à l'intégration de ce système dans le réseau de distribution électrique existant.
- Les stations de recharge, intégrées avec les systèmes de gestion de l'énergie et de contrôle à distance des réseaux, permettront non seulement de recharger les véhicules électriques, mais aussi d'optimiser les puissances mises à disposition, tout en assurant une meilleure utilisation du réseau de distribution.
- Les nouvelles stations de recharge ponctuant le réseau routier et les infrastructures du transport public, contribuent à l'efficacité énergétique d'un territoire, à la réduction de la production de CO₂ et de la pollution, à la minimisation des coûts et de l'impact environnemental du système électrique.

- Développement d'une station de recharge pour la gare à haute efficacité énergétique

- Elle complète la gare métro/RER/TER/TGV pôle d'échange entre différents moyens de transport, permettant d'accéder rapidement aux véhicules électriques du service public ou de l'auto-partage conventionné.
- Elle constitue un nouvel objet architectural à proximité de la gare : il s'agit d'un nouvel équipement situé sur l'espace public et prioritairement destiné au service public (auto-partage conventionné, navettes marchandises, bus), éventuellement en tant qu'annexe d'un parking public existant.

- Elle utilise l'éventuel surplus d'énergie¹¹ provenant de la gare (connexion directe station de recharge - système de stockage d'énergie de la gare, si présent).
- Elle peut fournir un abri aux véhicules et aux usagers → ombrière photovoltaïque ; si la mise en œuvre d'un nouvel espace couvert est envisageable, sa couverture sera au moins en partie opaque et intégrera des panneaux photovoltaïques (énergie solaire destinée en priorité aux besoins propres de fonctionnement de la station et non à la recharge des véhicules).
- Elle est inspirée par des critères de simplicité, de confort et de sécurité pour l'utilisateur ; la station de recharge est un espace accessible aux personnes à mobilité réduite, son usage est intuitif et sûr.
- Elle sera technologiquement avancée et innovante ; la station de recharge répond à des normes et standards techniques européens¹² ; elle anticipe autant que possible les évolutions technologiques sur les modes de recharge des batteries.
- Elle anticipe autant que possible les besoins futurs : souplesse dans la conception de l'équipement permettant avec un coût contenu la meilleure couverture possible des besoins sur un territoire, et de leur évolution dans le temps.

¹¹ Énergie de freinage résiduelle des rames du métro/RER (récupération d'énergie fatale) ; énergie photovoltaïque (énergie renouvelable).

¹² Cf. *Directive 2014/94/EU on the deployment of alternative fuels infrastructure* ; Projets de loi sur la transition énergétique ; *Conférence environnementale*, novembre 2014 ; *Livre Vert sur les infrastructures de recharge des véhicules électriques*, mai 2011, mis à jour pour sa partie technique en janvier 2015.

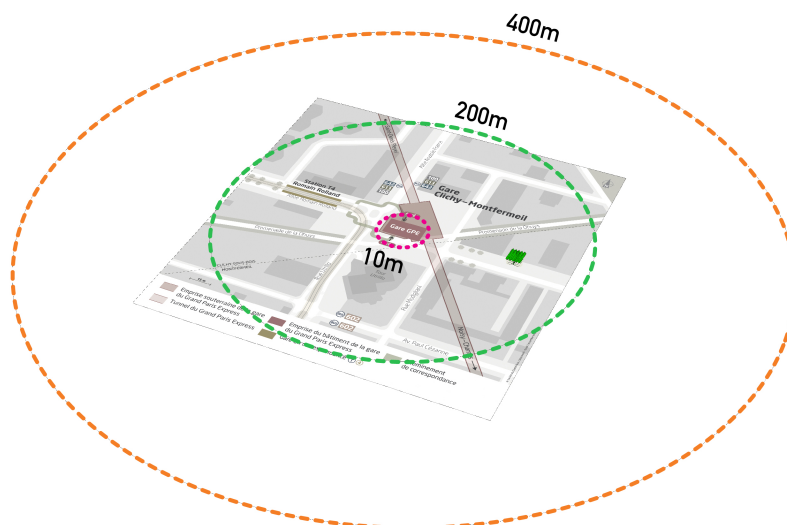


Fig. 1, L'hypothèse d'une infrastructure destinée en partie à la recharge des véhicules du service public et ouverte en partie aux usagers privés, nous permet d'envisager un équipement de type modulable, dont le programme varie en fonction de sa distance par rapport à la gare (mais toujours situé à l'intérieur de l'*aire de rabattement* de la gare). La station de recharge contigüe ou proche de la gare sera entièrement ou majoritairement dédiée à la recharge des véhicules des services de transport public (navettes et bus électriques, taxis électriques, auto-partage). Cette option permet notamment de valoriser la nouvelle station de recharge en tant qu'élément complémentaire de la gare, accentuant ses fonctions de pôle d'échange entre RER, métro, tramway et les nouveaux services de l'électro-mobilité (navettes et bus électriques, taxis électriques, auto-partage). La station de recharge éloignée de la gare ($200\text{ m} < r < 400\text{ m}$) sera quant à elle majoritairement dédiée à la recharge des véhicules privés, tout en fournissant un point de relai pour le transport public ; cette option se réfère donc à un modèle éclaté de l'objet gare, dans lequel une partie des services offerts sont disséminés au sein de son quartier.

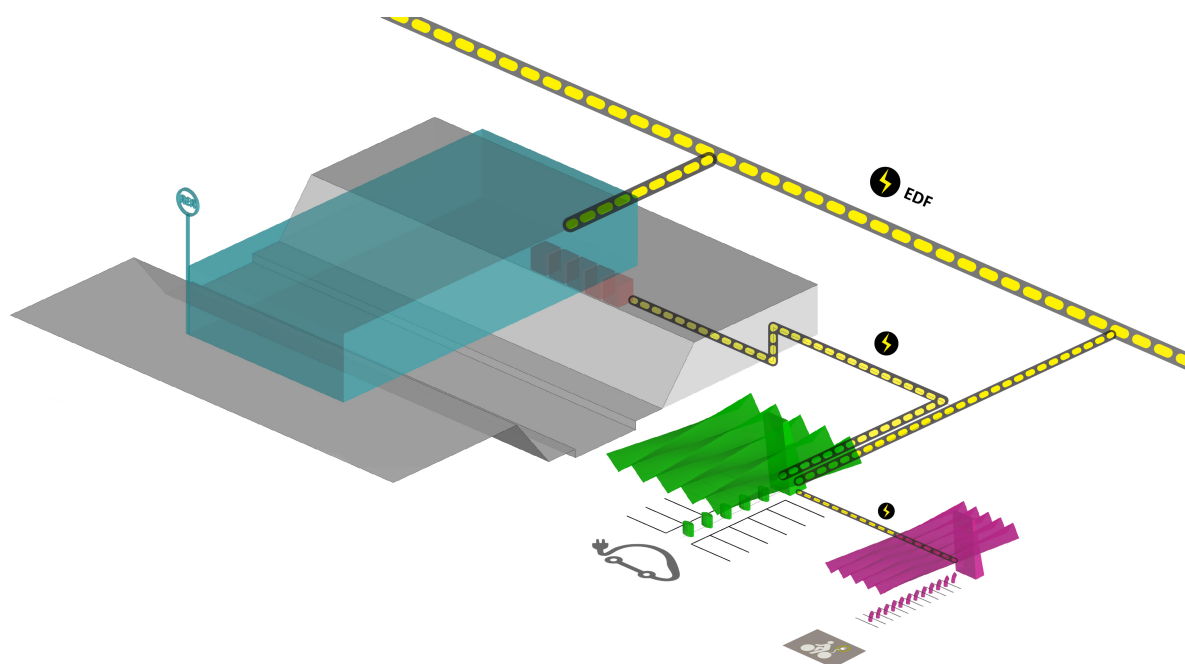


Fig. 2, Diagramme de principe des connexions électriques entre la station de recharge, le réseau de distribution et la gare pôle d'échange (hypothèse de travail pour un démonstrateur). L'équipement peut être complété par une station dédiée à la recharge des vélos à assistance électrique, sur la droite dans le schéma.

2. LES VEHICULES ELECTRIQUES¹³ DANS L'ENVIRONNEMENT DE LA GARE POLE D'ECHANGE

2.1. USAGES DES INFRASTRUCTURES DE RECHARGE DES VE A PROXIMITE DES STATIONS ET DES GARES

Par rapport à leur destination et aux usages connexes, les infrastructures de recharge peuvent appartenir à deux catégories : celle des stations réservées à certains services particuliers (auto-partage conventionné, bus, navettes marchandises) et celle des stations entièrement ou partiellement ouvertes au public (véhicules privés, parkings des habitations, parkings des lieux de travail, de commerce, de loisir, gares et stations).

L'une et l'autre catégorie de stations peuvent, en relation avec l'organisation du service, lui-même fonction de l'espace et de l'équipement, entraîner deux types d'usages. Dans un cas on se dirige vers la station pour recharger la batterie rapidement et on quitte ensuite le lieu, dans l'autre la recharge est liée à un stationnement de longue durée.

Comme nous l'évoquions précédemment, hors parkings publics, ce deuxième type doit être envisagé dans les zones résidentielles pour permettre aux utilisateurs de voitures électriques qui ne disposent pas d'un garage annexe à l'habitation de pouvoir recharger la batterie pendant la nuit. Une telle configuration publique pourrait également être envisagée dans les zones d'activité afin de permettre aux salariés de recharger leur voiture pendant les heures de travail, dans la mesure où les entreprises ne disposent pas toujours des espaces nécessaires.

En fonction des usages, la recharge normale standard (3,7 kW ou 7 kW) devrait être envisagée pour les lieux où le stationnement de longue durée (plusieurs heures) est autorisé, par ex. pour le stationnement de nuit. En effet, cette puissance est suffisante pour regagner une autonomie d'environ 20 km par heure de recharge.

Inversement, la recharge rapide à courant continu ou alternatif (43/50 kW) suppose une organisation de l'espace dans laquelle le stationnement est limité à la durée maximale utile d'une borne rapide (environ 30 minutes), ce qui permet d'optimiser le taux de rotation des utilisateurs et d'amortir ainsi plus efficacement le coût de l'équipement. (Cette puissance est suffisante pour recouvrer une autonomie complète en une demi-heure de recharge).

¹³ Dorénavant nous engloberons sous une même formule, véhicule ou voiture électrique, à la fois les véhicules électriques et les véhicules hybrides rechargeables.

(La recharge normale accélérée en courant alternatif (22 kW, permettant de regagner plus de 100 km par heure de recharge) doit être considérée comme une option alternative à la recharge normale standard. Les bornes de ce type peuvent fournir toutes les puissances entre 3,7 et 22 kW, permettant de charger tous les véhicules qui se chargent en mode 3, à la puissance dont est capable chaque véhicule).

2.2. DECOMPOSITION DES USAGES DES VE, DEFINITION DES BESOINS EN FONCTION DES USAGES (→ TYPOLOGIES DES STATIONS)

- Services liés aux véhicules électriques

Usages	Type de véhicules	Utilisation bornes	Type de bornes	Contraintes
Terminus ligne bus électrique	2 Bus 12 m (250 km d'autonomie / 324 kWh)	Appoint 10mn Charge : 13,3 kWh Ajout de 10 km	Borne DC à caténaire ou dans le futur par induction électromagnétique, P = 80 kW	Zone en propre Prévoir un espace en hauteur pour le pantographe ou une réservation dans la chaussée pour l'induction. Les recharges de courte durée seront de préférence prévues en surface.
Navettes transport public	Petit bus type bluebus 22 personnes, 6 m (120 km d'autonomie / 90 kWh)	Appoint 15mn Charge : 12,5 kWh Ajout de 16 km	P = 50 kW tri-standard	Zone en propre
Parking VE journée	Voitures particulières	Sur 10h la journée Charge maxi : 37 kWh Ajout de 250 km	P = 3,7 kW	Prévoir 10% du parking public avec possibilité d'augmentation à 50% dans les années à venir
Parking VE nocturne	Voitures particulières	Sur 10h la nuit Idem ci-dessus	P = 3,7 kW	Idem ci-dessus
Transfert marchandises petit volume	Utilitaires électriques (type Kangoo 4,6 m, 2,5 m ³ , 130 km d'autonomie, 24 kWh)	Appoint 10mn Charge : 3,7 kWh Ajout de 20 km	P = 22 kW	Zone en propre Prévoir un couplage avec un quai de transit de marchandises
Transfert marchandises moyen volume	Navette marchandises type Master (9 m ³ -20 m ³ , 120 km d'autonomie / 90 kWh)	Appoint 10mn Charge : 9 kWh Ajout de 12 km	P = 50 kW tri-standard ou norme future	Idem ci-dessus

Usages	Type de véhicules	Utilisation bornes	Type de bornes	Contraintes
Auto-partage particulier / covoiturage	Voitures particulières électriques	Appoint et/ou recharge complète	P = 22 kW	Prévoir la possibilité de tripler les places dans les 20 ans
Auto-partage conventionné	6 Voitures électriques (150 km autonomie, 22 kWh)	Appoint 15mn Charge : 5,5 kWh Ajout de 38 km	P = 22 kW	Prévoir un espace pour la location des bornes Autolib' (ex : convention de Bolloré sur l'espace public)
Station de taxis	Voitures (type berline)	Appoint 10mn Charge : 3,6 kWh Ajout de 25 km (10mn)	P = 22 kW	Zone en propre
Stationnement court à proximité des gares (parking reprise voyageurs), dépose minute, kiss and ride	Voitures particulières électriques	Durée maximum 30mn. Pour 15mn et 7kWh Charge : 1,75 kWh Ajout de 12 km	P = 7 kW (ou 22 kW)	Zone en propre
Navettes transport privé (hôtel, entreprises, usines)	Petit bus type bluebus 22 personnes, 6 m ou minibus	Appoint 15mn Charge : 12,5 kWh Ajout de 16 km	P = 50 kW tri-standard	
Parking 2 roues	2 roues et véhicules de petit gabarit (Twizy)	Sur 10h la journée ou la nuit	P = 3,7 kW	Suppose une zone sécurisée et un box de recharge batteries type coffre.

- Services annexes

Usages	Type d'équipement	Utilisation	Besoin énergétique	Contraintes
Auxiliaires	Eclairage Led	3 W/m ² sur zone piéton sur 16h	Pour 300 m ² , 900 W Soit 14,5 kWh / j	
	Système de gestion d'énergie	500 W sur 24h	Soit 12 kWh / j	
Distributeur boissons / ...	1000 W sur 24h		Soit 24 kWh / j	
Écran publicitaire	1200 W sur 24h		Soit 29 kWh / j	

2.3. EXEMPLES DE SCENARIOS SUR 24 HEURES (B. DALMAIS)

Définition des zones

Urbaine dense : Ce sont les gares de type métro ou RER la plupart du temps enterrées, seul un espace réduit en chaussée peut-être réservé à un usage particulier, de type station de taxi ou assimilée.

Péri-urbaine dense : Ce sont des gares de surface pouvant disposer d'infrastructures de parking et de terminaux de bus implantées en zone urbaine avec du logement et du commerce de toute taille en zone proche et plus éloignée, tel que les gares de la petite couronne parisienne.

Péri-urbaine diffuse : Ce sont des gares de surface disposant de forte infrastructure de parking et de terminaux de bus dans une zone urbanisée diffuse et disposant d'un tissu industriel proche, tel que les dernières stations RER ou de trains de banlieue.

Entrées			Sorties		
Zone gare	Usage	Nombre de véhicules	Scénario d'occupation	Puissance à fournir pour occupation	Energie, taille stockage et sources d'énergie
Urbaine dense	Station de taxis	4 Taxis	5h à 80% 5h à 30% 8h à 5%	$P = (4 \times 22) + (6 \times 22) =$ 220 kW	Energie de freinage métro pour une ligne : 1MWh Energie photovoltaïque : 0 Wh
	Auto-partage conventionné	6 VE	5h à 80% 8h à 30%		Taille stockage : 0,4 MWh
Péri-urbaine dense	Terminus bus	3 bus (option)	Rotations bus : 60 ouvrés / 14 samedi	$\text{Min } P = (3 \times 80) + (7 \times 50) + (7 \times 22) + (6 \times 22) + (10 \times 3,7) =$ 913 kW	Energie de freinage métro ou RER très fréquenté : 1MWh Energie photovoltaïque : 178 kWh
	Transfert marchandises moyen volume et petit volume	7 navettes	Rotations : 8		
		7 navettes	Rotations : 8	$\text{Max } P = (3 \times 80) + (7 \times 50) + (7 \times 22) + (8 \times 22) + (10 \times 3,7) =$ 957 kW	Taille stockage : 1,7 MWh
	Auto-partage conventionné	6 à 8 VE	5h à 80% 8h à 30% 11h à 3%		
	Parking VE nuit	10 VE initialement	Complet la nuit		
Péri-urbaine diffuse	Terminus bus	4 bus (option)	Rotation/bus : 40 à 70	$\text{Min } P = (4 \times 80) + (2 \times 50) + (2 \times 22) + (6 \times 22) + (5 \times 7) + (50 \times 3,7) =$ 816 kW	Energie de freinage RER peu fréquenté : 1MWh Energie photovoltaïque : 178 kWh
	Navettes transport public	2 navettes	Rotations unitaires : 70		
	Navettes transport privé	2 navettes	Rotation / nav. 2h matin et soir : 12	$\text{Max } P = (4 \times 80) + (2 \times 50) + (2 \times 22) + (8 \times 22) + (5 \times 7) + (50 \times 3,7) =$ 860 kW	Taille stockage : 2,9 MWh
	Auto-partage conventionné ou non	6 à 8 VE	5h à 80% 8h à 30% 11h à 3%		
	Stationnement court (reprise voyageur)	5 VE	5h à 80% 8h à 30% 3h à 3%		
	Parking VE journée	50 VE	Complet la journée		

2.4. DETERMINATION DES SCENARIOS PAR USAGE (B. DALMAIS)

- Station de taxis en zone urbaine dense

Nous avons considéré qu'une station positionnée auprès d'une gare se partageait le parc de taxis au même titre que de n'importe quelle autre station, à savoir pour Paris qui comprends 15 500 taxis pour 434 stations, soit 35 taxis par station.

Si nous prenons les périodes de demande excédentaire (8h à 9h le matin et 18h à 22h le soir), la pointe dans ces créneaux est de l'ordre de 5 000¹⁴ demandes/h et en considérant que les stations en centre-ville accolées aux gares sont entre 20 à 30 % plus demandées que celles situées dans d'autres zones, nous pouvons en déduire le taux d'utilisation :

Taux = (demande en heures de pointes/nb stations x % sur demande gare)

Soit par station : $(5\,000/434 \times (1+30\%)) = 11,5$ demandes

Le tout ramené en besoin station horaire à 80 % d'utilisation (temps mort),

soit $(15 \times 10 / 60 / 80\%) = 3,1$ points de recharge

Arrondi à 4 points de recharge pour les taxis

Nota : Au vu de la recharge en poste fixe, contrairement à la prise de passagers dans les stations actuelles en file indienne, il devra être installé un système d'information pour les passagers indiquant quel est le taxi libre devant chargé. Ce dispositif devra être prévu au niveau des places de recharge.

- Terminaux des bus en zone péri-urbaine dense

Nos réflexions sont basées sur l'observation de la station de bus « Noisy-Champs RER ».

Cette station possède les lignes 212, 213, 312 intérieur et 312 extérieur. Les caractéristiques moyennes suivantes ont été relevées :

- La longueur des tournées est de l'ordre de 15 à 16 km
- Nombre de tournées journalières entre 60 et 61
- Nombre de bus entre 4 et 5 suivants les heures
- Nombre de bus en démarrage et arrêt de tournée (en provenance ou à destination du dépôt) par jour de 3 le matin et 3 le soir
- Les attentes en terminus se situent entre 5 et 25 minutes avec une moyenne de l'ordre de 10 minutes en cours de journée

¹⁴ Source : « annexes Paris.pdf », p. 37, graphe des couvertures de plages pleines datant de 2003.

- La ligne 213 est en arrêt simple et non en terminus

L'on peut alors raisonnablement déterminer que le nombre d'arrêt avec recharge sera :

Nombre de tournée - nombre de bus en démarrage/arrêt, soit :

Nombre de recharges journalières en terminus = $60 - 6 = 54$

Temps de recharge de l'ordre de 10 minutes

Nombre de lignes impactées : 212 et les deux 312 = 3

- Navettes transport public en zone périurbaine diffuse

Nos réflexions sont basées sur l'observation de la station de bus « Torcy RER » et la navette de la ligne 50 desservant les hôtels Disney.

Cette navette possède les caractéristiques suivantes que nous avons relevées :

- La longueur des tournées est de l'ordre de 6-7 km (en s'appuyant sur les plan de parcours des bus)
- Nombre de tournées journalières environ 74 (en s'appuyant sur les tables horaire des bus)
- Temps de tournée entre 15 et 20 minutes suivants les horaires
- Nombre de navettes entre 1 et 2 suivant les heures
- Nombre de navettes en démarrage et arrêt de tournée (en provenance ou à destination du dépôt) par jour de 2 le matin et 2 le soir
- Les attentes en terminus sont de l'ordre de 3 minutes

L'on peut alors raisonnablement déterminer que le nombre d'arrêt avec recharge sera :

Nombre de tournées - nombre de bus en démarrage/arrêt, soit :

Nombre de recharges journalières en terminus = $74 - 4 = 70$

Temps de recharge de l'ordre de 3 minutes

Le nombre de navettes de ce type varie suivant les besoins, leurs caractéristiques communes se situent sur la taille du véhicule, la faible distance à parcourir, leur fréquence élevée et le faible temps d'arrêt en station.

Il serait intéressant de coupler ces chargeur avec des supercapacités afin d'emmagasiner la recharge dans le temps de tournée (15 mn) et de la restituer rapidement (3 mn).

- Transfert marchandises moyen et petit volume

Dans notre évaluation, nous avons estimé que la gare devait être une plaque tournante entre le fret arrivant ou repartant par voie ferrée et la distribution locale de ces mêmes marchandises¹⁵.

Les moyens volumes seraient plus utilisés dans le cadre de livraisons de petites surfaces en trace directe ou de centrale d'achat sur des petits magasins avec dans ce cas une livraison en tournée.

Les petits volumes seraient plus utilisés en tournée pour des livraisons d'urgence (pharmacie, ...) ou du colis.

Cette plateforme demande une zone de transfert entre les différents moyens de transport, donc une organisation permettant le déchargement et le chargement rapide entre le ferroviaire et le VE. Nous considérons que le VE peut se recharger lors du temps de ce transfert qui peut aussi être une pause pour le convoyeur (boissons chaudes, ...).

Nos prévisions sont basées sur la décharge d'un TramFret. En considérant que celui-ci transporte environ 11T de marchandises (80 % de sa charge maximale théorique) et que cette charge est répartie entre les 2 types de véhicules (petit et moyen) qui emport aussi 80 % de leur charge, soit 488 kg pour un VE petit volume et 1080 kg pour un moyen volume.

Sur un passage de chargement, nous pouvons enlever 1578 kg qui nous permettent de vider le TramFret en moins de 8 vacations.

En considérant un arrêt d'une heure pour le TramFret, il nous faut au minimum 2 points de recharge, en considérant un temps de recharge et de transbordement entre 10 et 15 minutes.

Donc nous aurions besoins de deux points de charge pour les petits volumes et de deux points de charge pour les moyens volumes.

¹⁵ Cf. l'étude Efficacity, J. Danard, K. Janin, *Projet TramFret, Liens entre systèmes innovants de logistique urbaine et bornes de recharge électrique (pour les véhicules utilitaires) : données principales et outils de compréhension*, décembre 2015.

3. ELEMENTS POUR LE DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE D'UNE INFRASTRUCTURE DE RECHARGE

3.1. TYPES DE BORNES ET CONFIGURATIONS DE L'INFRASTRUCTURE

Le dimensionnement électrique d'une infrastructure de recharge est directement influencé par le programme établi par la maîtrise d'ouvrage et par les prévisions éventuelles sur l'évolution future de l'équipement.

Il est recommandé pour la mise en œuvre d'une infrastructure de recharge de retenir un nombre limité de configurations de bornes, afin d'augmenter les effets d'échelle, de réduire les coûts et de simplifier l'usage de l'équipement.

Actuellement, au vu de l'état du marché, trois configurations de bornes communicantes sont recommandées :

- les bornes de recharge normale standard, à 3,7 ou 7 kW (elles peuvent éventuellement permettre, en mode 3, de moduler la puissance appelée sur chaque point de charge¹⁶), monophasé, avec 2 points de charge simultanée, chaque point de charge disposant d'une prise domestique de type E pour la recharge en mode 1 ou 2 et d'une prise de type 2 ou type 2S pour la recharge en mode 3.
- les bornes de recharge normale accélérée, 22 kW (elles permettent en effet, en mode 3, de moduler la puissance appelée entre 3,7 et 22 kW), triphasé, avec 2 points de charge simultanée, chaque point de charge disposant d'une prise domestique de type E pour la recharge en mode 1 ou 2 et d'une prise de type 2 ou type 2S pour la recharge en mode 3.
- les bornes de recharge rapide¹⁷, avec un point de charge, 43 kW triphasé alternatif (AC) et 50 kW en courant continu (DC), disposant de cordon et connecteur type 2 pour l'AC, d'un cordon et connecteur CHAdeMO et d'un cordon et connecteur Combo2 pour le DC. (Elles sont aussi appelées bornes Euro tri-standard AC/DC ou tri-standard).

¹⁶ Un point de charge est le dispositif associé à un emplacement de stationnement permettant la charge d'un véhicule électrique ou hybride rechargeable.

¹⁷ Le constructeur Tesla a mis au point une solution de recharge ultra-rapide 100 kW nécessitant une puissance installée supérieure, un câble et un connecteur spécifiques dimensionnés en conséquence. Il s'agit aujourd'hui d'une solution propriétaire, mais d'autres marques prévoient de développer des solutions semblables.

Rappelons que la prise domestique de type E est préconisée pour la recharge des autres moyens de transport individuels électriques, tels quadricycles, scooters et vélos.

Les bornes de recharge sont regroupées en « stations de recharge », ou « zones de recharge », définies comme un ensemble de bornes alimentées par un même point de livraison du réseau public de distribution et exploitées par un même opérateur.

L'un des objectifs du projet de l'installation électrique est, comme dans le cas du projet architectural, de rendre l'infrastructure de recharge compatible avec tous les types de véhicules (par ex., tous les véhicules ne sont pas en capacité d'utiliser toute la puissance d'une recharge normale accélérée, et deux technologies coexistent pour la recharge rapide).

Le respect des dispositions présentées dans le *Guide technique pour la conception et l'aménagement des IRVE*¹⁸ concernant les paliers de puissance nominale, les bornes de recharge, les socles de prise côté infrastructure, la communication et la modulation de la charge, permet d'obtenir cette compatibilité.

Rappelons que les paliers de puissance nominale disponibles sont ceux fournis par des installations dimensionnées pour 16, 32 et 63 Ampères soit :

- 16 A monophasé, permettant 3,7 kW, considéré comme la puissance de recharge normale standard ;
- 32 A triphasé, permettant 22 kW, considéré comme la puissance de recharge normale accélérée ;
- 63 A triphasé, permettant 43 kW, considéré comme la puissance d'une recharge rapide, en courant alternatif ou continu.

Rappelons enfin trois principes de conception d'utilité générale :

- La puissance nominale est la puissance maximale admissible pour de longues durées et un point de charge peut délivrer des puissances inférieures à sa puissance nominale, (ainsi on peut envisager de

¹⁸ *Guide technique pour la conception et l'aménagement des infrastructures de recharge pour véhicules électriques et hybrides rechargeables*, décembre 2014 ; nous reviendrons sur ce document dans les chapitres suivants.

dimensionner à 7 kW, 32 A monophasé, un point de charge normal au vu de l'évolution de la conception des véhicules).

- L'augmentation de la puissance de recharge permet de décroître sa durée en proportion, (ainsi, schématiquement, pour une batterie de capacité moyenne, par ex. 25 kWh et 160 km d'autonomie, totalement déchargée, la recharge complète serait d'une durée théorique pouvant aller d'environ 8 heures pour la recharge normale, à 3,7 kW, à environ 30 minutes pour la recharge rapide, à 43 kW).

- Les recharges accélérée et rapide permettent une plus grande souplesse et une utilisation plus polyvalente de la station de recharge - plus de véhicules chargés sur un même intervalle de temps -, améliorant ainsi le bilan économique global de l'infrastructure.

3.2. DIMENSIONS ET NOMBRE DE POINTS DE CHARGE D'UNE INFRASTRUCTURE DE RECHARGE DES VE

Les dimensions d'une infrastructure de recharge peuvent varier d'un minimum de deux points de charge, ce qui correspond à l'installation d'une seule borne, jusqu'à plusieurs dizaines de points de charge (50 places et plus).

Les bornes de recharge sont toujours groupées en îlots raccordés à un point de livraison du réseau de distribution. En fonction de la capacité prévue pour la station de recharge et de la disposition des places de stationnement, différentes configurations de stations peuvent être envisagées. Au vu des limitations sur le nombre maximum de points de charge, les infrastructures couvertes, annexées ou non à un parc de stationnement, ne sont organisées qu'à partir de certaines de ces configurations, ou de leurs répétitions.

Les configurations généralement déployées pour l'installation et le raccordement des bornes sont les suivantes :

1 - une seule borne avec deux points de charge pour un seul point de livraison raccordé au réseau de distribution d'électricité ;

2 - un borne principale « totem » avec monétique intégrée, plus deux bornes associées, offrant ainsi six points de charge pour un seul point de livraison d'électricité ;

3 - une borne principale « totem », plus cinq bornes associées offrant douze points de charge pour un seul point de livraison d'électricité ;

4 - une borne principale « totem », plus sept bornes associées offrant seize points de charge pour un seul point de livraison d'électricité (ce cas correspond par ex. à la configuration des plus grandes stations Autolib' prévues aujourd'hui) ;

5 - une borne principale « totem », plus neuf bornes associées offrant vingt points de charge pour un seul point de livraison d'électricité.

Les configurations ci-dessus supposent toutes l'existence d'une borne principale permettant le paiement du service de stationnement/recharge et d'un certain nombre de bornes lui étant associées. Néanmoins, il convient de préciser que le « totem » avec monétique intégrée peut également ne pas coïncider avec une borne de recharge, mais être un objet distinct par rapport aux bornes formant un îlot ou une station. D'autre part, un « totem » communiquant séparé des bornes de recharge pourra plus facilement intégrer des services complémentaires de type nouveau (voir § 4.8 et § 5.1).

La configuration 2 est recommandée en voirie, avec un nombre de places dédiées aux véhicules rechargeables qui demeure limité (6 points de charge) tout en optimisant les coûts de raccordement. Les configurations 3 et 4 sont plus adaptées au stationnement en parkings publics ou privés (gares, centres commerciaux, par exemple), compte tenu du nombre élevé de places de stationnement impliquées.

Les infrastructures de recharge de dimensions supérieures - aménagées en règle générale à l'air libre, sous abri simple ou sous ombrière photovoltaïque - sont organisées comme la somme de plusieurs îlots base identiques (configurations 3 ou 4) reliés entre eux (24, 36, 48, 60, 72 ou 32, 48, 64, 80, 96 places). Dans tous ces cas, la structure du parc de stationnement permet de mutualiser le (ou les) point(s) de livraison sur plusieurs dizaines de points de recharge, et d'en répartir les coûts de raccordement et de génie civil, des frais qui, avec des niveaux de puissance élevés, deviennent significatifs.

L'organisation du parc de stationnement sous forme d'ensemble d'îlots base permet enfin d'obtenir une répartition uniforme des bornes « totem », ce qui facilite l'accès aux points de recharge et leur activation par l'utilisateur : ainsi la distance maximale entre une place de stationnement quelconque et la borne « totem » la plus proche ne dépasse jamais la distance de la place la plus éloignée de la borne « totem » dans la configuration base adoptée pour les îlots (par ex. environ 25 mètres pour la configuration 2 en disposition linéaire). Idéalement, cette distance ne devrait pas dépasser 30 mètres.

Les infrastructures de recharge situées à l'intérieur des bâtiments ou à l'intérieur des parcs de stationnement couverts sont soumises s'agissant du nombre de prises et de la puissance de l'installation à de sévères restrictions dictées par la réglementation de sécurité contre les incendies. Nous reviendrons sur ces aspects fondamentaux aux § 4.1 et § 4.2.

Pour le stationnement/recharge à l'intérieur des bâtiments et en sous-sol (niveau partiellement enterré ou niveau -1), et relativement aux installations de petites dimensions (moins de vingt points de recharge), nous nous en tiendrons ici à rappeler que l'aménagement répond aux conditions d'une installation électrique intérieure et est réalisé depuis le tableau de répartition qui alimente le bâtiment. La puissance de raccordement (ou son augmentation pour un raccordement existant) et la puissance souscrite (contrat de fourniture) dépendent des possibilités de foisonnement des différentes bornes installées en aval du point de livraison (entre les bornes elles-mêmes et avec les autres usages de l'électricité). Dans ce cadre, un gestionnaire d'énergie doit être installé pour réguler ces différents besoins afin d'optimiser les coûts énergétiques.

3.3. LES SOURCES D'ENERGIE, LE STOCKAGE D'ENERGIE ET LA GESTION DE L'ENERGIE (B. DALMAIS)

Les sources d'énergie disponibles pour une station de recharge des VE proche d'une gare sont :

- Le réseau (Grid)
- La production locale photovoltaïque
- L'énergie résiduelle de la gare

Premier constat sur les usages, la puissance soutirée aux sources d'énergie est modulée temporellement par la non simultanéité des usages, par exemple « Parking VE nuit » peut être décalé par rapport au besoin des « bus », d'où une demande maximum plus faible que la demande maximale (somme des puissances de tous les usages).

Celle-ci peut être quantifiée dans un tableau des usages horaire journalier (ex. ci-dessous) :

Heure	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h
Terminus bus	0%	0%	17%	83%	83%	83%
Navette transport public	0%	25%	50%	100%	100%	100%
Station de taxi	0%	5%	30%	80%	80%	80%
Auto-partage	3%	3%	30%	80%	80%	80%
Fret moyen volume	0%	0%	50%	17%	0%	0%
Fret petit volume	0%	0%	50%	17%	0%	0%
Navette transport privé	0%	0%	0%	25%	100%	25%
Stationnement court	0%	0%	0%	3%	80%	80%
Parking VE jour	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Parking VE nuit	100%	95%	0%	0%	0%	0%

Deuxième constat, des demandes d'énergies de forte puissance (50 kW) mais sur des temps court avec des temps d'inter demande long se remarquent pour des utilisations de types navettes, un rechargement de 10 mn pour un temps entre deux rechargements de 20 mn. Il serait bon de mettre à profit ces creux de demandes pur lisser la puissance appelée sur les sources d'énergies en créant des tampons par des batteries ou des supercapacités.

Par ailleurs des sources d'énergies renouvelables (photovoltaïque) ou de récupération d'énergies fatales (freinage des trains) doivent être utilisées au moment de leur production ou stockées, cela doit aussi être étudié afin de déterminer le stockage optimum suivant les productions/consommations, au

vue du nombre de demande de recharge, un stockage tampon doit être largement suffisant par rapport au possibilité de fourniture de ces énergies vis à vis de la consommation à mettre en face.

Quelques exemples sur les possibilités photovoltaïques sont présentés ci-dessous pour 2 zones étudiées pour les use cases.

Les conditions prises en compte pour cette estimation sont les suivantes :

- zone géographique : région parisienne
- taux d'ensoleillement : moyenne annuelle de production
- rendement des PV : 13 %
- positionnement : panneaux posés à plat sans ombrage

Nous avons distingué dans ce tableau la surface de panneaux photovoltaïques (Surf. PV) calculée pour pourvoir au besoin énergétique annuel et la surface possible au sol calculée pour les besoins des véhicules en incluant la voirie de desserte, l'emplacement ainsi que le cheminement piéton incluant la borne de recharge.

Péri-urbain dense

Usage	Puissance U	Nb pt	Puissance	Energie / j	Surf. PV	Surf. possible
Terminus bus	80 kW	3	240 kW	2 200 kWh	6 215 m ²	575 m ²
Navette transport public	50 kW	0	0 kW	0 kWh	0 m ²	0 m ²
Station de taxis	22 kW	0	0 kW	0 kWh	0 m ²	0 m ²
Auto-partage	22 kW	8	176 kW	1 184 kWh	3 346 m ²	312 m ²
Fret moyen volume (épi 45°)	50 kW	7	350 kW	467 kWh	1 318 m ²	494 m ²
Fret petit volume (id moyen)	22 kW	7	154 kW	205 kWh	580 m ²	494 m ²
Navette transport privé	22 kW	0	0 kW	0 kWh	0 m ²	0 m ²
Stationnement court	7 kW	0	0 kW	0 kWh	0 m ²	0 m ²
Parking VE jour	4 kW	0	0 kW	0 kWh	0 m ²	0 m ²
Parking VE nuit	4 kW	10	37 kW	220 kWh	622 m ²	207 m ²
				4 277 kWh	12 081 m²	2 082 m²

Péri-urbain diffus

Usage	Puissance U	Nb pt	Puissance	Energie / j	Surf. PV	Surf. possible
Terminus bus	80 kW	4	320 kW	2 933 kWh	8 286 m ²	750 m ²
Navette transport public	50 kW	2	100 kW	1 525 kWh	4 308 m ²	270 m ²
Station de taxis	22 kW	0	0 kW	0 kWh	0 m ²	0 m ²
Auto-partage	22 kW	8	176 kW	1 184 kWh	3 346 m ²	312 m ²
Fret moyen volume (épi 45°)	50 kW	0	0 kW	0 kWh	0 m ²	0 m ²
Fret petit volume (id moyen)	22 kW	0	0 kW	0 kWh	0 m ²	0 m ²
Navette transport privé	22 kW	2	44 kW	132 kWh	373 m ²	270 m ²
Stationnement court	7 kW	5	35 kW	199 kWh	563 m ²	248 m ²
Parking VE jour	4 kW	50	185 kW	1 101 kWh	3 109 m ²	1 035 m ²
Parking VE nuit	4 kW	0	0 kW	0 kWh	0 m ²	0 m ²
				7 075 kWh	19 985 m²	2 885 m²

Dans ce contexte et afin de minimiser les contrats d'énergie, une gestion de chaque recharge doit être opérée au niveau du parc entier, celle-ci devra tenir compte de la production d'énergie locale, du contrat d'énergie ainsi que des priorités de recharge, les véhicules de transport public étant prioritaire par rapport aux usages (bus, taxis).

Etude de cas sur la zone péri-urbaine dense :

- La puissance maximale possible : 957 kW
- La puissance réelle maximale (pondérée par la période d'usage) : 538 kW
- La puissance possible après délestage des usages d'auto-partage et de stationnement de VE privée : 384 kW

Si le stockage permet de lisser complètement la consommation, soit la production moyenne journalière compense la consommation sur le même temps, soit dans notre cas :

- Puissance de production et de consommation moyenne (sur 24h) : 223 kW
- Le stockage maximum pour pouvoir suivre ce schéma : 1700 kWh

Ce stockage permet de fournir, à partir la puissance de production moyenne comme production constante sur la journée, les pointes de consommation tout en se rechargeant sur les creux de consommation.

A rappeler qu'un tarif jaune est de 42 à 240 KVA et qu'au-delà le tarif vert devient nécessaire.

Il est donc impératif de prévoir une arrivée HT (haute tension) avec dans la zone un local transformateur, un local protection et comptage HT et le TGBT d'alimentation des différents points de recharge. De plus en cas de stockage, il faut aussi prévoir un local dédié à celui-ci.

Avantages et inconvénients du stockage électrique pour la station de recharge des VE :

Avantages	Inconvénients
Régulation de l'énergie	Encombrement
Possibilité d'ilotage en heure de tarif HP de l'électricité	Maintenance
Coût en baisse (35% entre 2015 et 2025)	Dispositifs auxiliaires
	Capacité de stockage importante

Malgré les inconvénients observés, la baisse du coût des batteries va permettre d'utiliser de l'énergie perdue habituellement.

4. ELEMENTS POUR LE DIMENSIONNEMENT ARCHITECTURAL DE LA STATION DE RECHARGE

4.1. REGLEMENTATION ET NORMES

Comme nous l'indiquions précédemment, la station de recharge des VE peut être confondue, pour certains aspects tant fonctionnels que techniques, avec un espace pour le stationnement des véhicules accessible au public. Elle peut se configurer en tant qu'équipement unique entièrement dédié à la recharge ou bien comme zone spécifique à l'intérieur d'un parc de stationnement plus vaste.

A, Dans le cadre du projet d'une station de recharge il convient de se référer en premier lieu au *Guide technique pour la conception et l'aménagement des infrastructures de recharge pour véhicules électriques et hybrides rechargeables* qui constitue la mise à jour, publiée en décembre 2014, du volet technique du Livre Vert¹⁹ paru en avril 2011.

Toujours dans le même cadre et concernant les aspects de sécurité contre l'incendie le second texte fondamental est le *Cahier des charges relatif à l'installation d'infrastructures de recharge pour les véhicules électriques dans les parcs de stationnement couverts recevant du public ou intégrés à un immeuble de grande hauteur*²⁰, adopté par la Commission centrale de sécurité en février 2012. Ce document fournit notamment des dispositions répondant au risque incendie dans les parcs de stationnement couverts en cas de feu des batteries des véhicules électriques sur des emplacements dédiés à la recharge.

B, S'agissant des dispositifs de charge, l'AFNOR a publié il y a trois ans un guide concernant leur installation : *Guide pratique UTE, Installations d'alimentation de véhicules électriques ou hybrides rechargeables par socles de prises de courant* ; référence UTE C 15-722/17-222, juillet 2012, en cours de mise à jour avec référence au socle de prise de type 2-2S au lieu du type 3. (Ce texte peut être acheté sur le site internet de l'AFNOR : <http://www.afnor.org>).

Ce document, établi sous l'égide de l'Union Technique de l'Électricité, décrit l'ensemble des recommandations requises pour la mise en œuvre des dispositifs de recharge des véhicules

¹⁹ *Livre Vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules « décarbonés »*, L. Nègre, J.-L. Legrand, avril 2011.

²⁰ Relevé des avis de la réunion du 2 février 2012 de la sous-commission permanente de la Commission Centrale de Sécurité.

électriques. Il concerne les circuits à courant alternatif à basse tension destinés à alimenter les socles de prises de courant ou bornes de charge de véhicules électriques ou hybrides rechargeables lors de la création, de l'extension ou de la modification d'une infrastructure de recharge de véhicules électriques dans une installation nouvelle ou existante.

Le guide est organisé en trois parties : les règles communes ; les règles particulières aux circuits destinés à la charge des véhicules électriques à l'intérieur des bâtiments ; les règles particulières aux installations extérieures, notamment les installations situées sur les voies ou les parcs de stationnement publics ou privés en plein air. Nous signalons notamment, dans la partie consacrée aux installations à l'intérieur des bâtiments, le troisième chapitre, qui traite des cas des bâtiments soumis à la législation du travail (comme la station de recharge des bus) et des établissements recevant du public (comme la station de recharge à l'intérieur d'un parking public).

Enfin, l'ensemble des bornes de recharge doit respecter : les normes d'installation IEC 60364 et NFC 15-100 ; les normes de communication et des prises IEC/EN 61851, 62196 ; le référentiel « EV Ready 1.4 » pour l'interopérabilité.

C, S'agissant de la morphologie générale de la station de recharge, en particulier de la finalisation des parcours d'accès et de sortie de la station, de la distribution des emplacements et de leur disposition par rapport aux voies de circulation, de la position et de la géométrie des espaces de service et techniques, ainsi que de la prise en compte de l'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite, on se référera aux normes et à la réglementation en vigueur valables pour les parcs de stationnement couverts, largement ventilés et non couverts.

La norme NF P91-100 publiée par l'AFNOR spécifie les dimensions à observer pour un parc de stationnement accessible au public, pour véhicules de moins de 3,5 t et de moins de 1,90 m de haut. Remarquons que la normative européenne, internationale ou les textes publiés par les instituts de recherche constituent d'autres ressources utiles pour le dimensionnement des places de stationnement, des voies et des aires de manœuvre des véhicules.

Les normes ISO 612-1978²¹, le chapitre § 32 des StVO²² allemandes, ainsi que les travaux du *Research Institute for Roads and Transportation (FGSV)* méritent d'être signalés ; nous reviendrons sur ces sources dans § 4.3.

La réglementation relative à la sécurité contre l'incendie des parcs de stationnement varie selon la capacité et le type de parc. C'est le cas notamment des parkings annexés aux établissements recevant du public, comme les stations et les gares, aux immeubles de grande hauteur, aux lieux de travail et aux bâtiments d'habitation (arrêté du 9 mai 2006).

²¹ ISO 612 Dimensions of motor vehicles and towed vehicles. Terms and Definitions 1978-03-15.

²² Road Traffic Ordinance (*Straßenverkehrsordnung, StVO*), version en vigueur le 1/1/2008.

Rappelons que les emplacements aménagés et réservés aux personnes handicapées font l'objet de textes réglementaires prévoyant un nombre de places réservées par tranche de places de stationnement, leur aménagement et leur signalisation.

La liste de l'**Annexe A1** fournit, quant au dimensionnement, aux dispositions contre l'incendie et aux requis d'accessibilité PMR, l'ensemble des textes actuellement en vigueur.

Pour les parkings et les stations de recharge annexés aux lieux de travail, nous renvoyons aux principes de prévention et aux dispositions générales (prévention des incendies et des explosions) fournis par le *Code du travail*.

4.2. BASES POUR LE DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement d'une station de recharge²³ est directement influencé, comme dans le cas des parcs de stationnement, par le programme architectural et par les dimensions du terrain à disposition. Le dimensionnement électrique découle, comme nous l'évoquions plus haut, du programme architectural ainsi que des prévisions éventuelles sur l'évolution de l'équipement.

Dans les lieux dédiés à la recharge ouverts au public associés ou non à un parc de stationnement, l'équipement technique se présente sous la forme d'un ensemble de bornes de recharge, comportant toutes les fonctionnalités requises pour l'utilisation partagée des emplacements et pour l'accès contrôlé aux points de charge. Les bornes sont notamment groupées en îlots, commandés dans la plupart des cas par une borne principale et raccordés à un point de livraison (cf. § 3.2).

Notons que les points pour la recharge accélérée et rapide (22 kW et 43 kW) sont toujours associés à des emplacements spécifiques dont la durée de stationnement est limitée (par ex. 30 minutes) ; cet élément est étroitement lié aux aspects de mutualisation de l'espace et de valorisation économique de l'équipement.

Si le projet d'une station de recharge des véhicules électriques présente d'évidentes similitudes avec le projet d'un parc de stationnement, la réglementation de sécurité contre les incendies soumet les infrastructures de recharge couvertes (ou intégrées à un parc de stationnement couvert) à des restrictions extrêmement sévères qui en limitent lourdement les dimensions, en termes de nombre de prises (ou de places) et de puissance électrique simultanément délivrée.

Les autres prescriptions à respecter dans le projet d'une station de recharge relèvent des normes pour l'accessibilité des personnes à mobilité réduite.

La détermination du type de station de recharge, et de sa morphologie, est étroitement liée à la localisation de la station (cf. Tableau des usages, § 2.2).

Chaque typologie de station possède, par rapport aux aspects fonctionnels, des dimensions optimales, et un nombre de places maximum à ne pas dépasser. Ces dimensions dépendent entre autres de la capacité des voies d'accès ainsi que des prescriptions anti-incendie. Par rapport à ce dernier point, il est à noter que les prescriptions anti-incendie varient en fonction du nombre de véhicules accueillis dans la station de recharge. D'autres prescriptions réglementaires peuvent s'appliquer dans le cas où la station de recharge intègre des locaux techniques abritant des dispositifs

²³ Ensemble d'emplacements de stationnement contigus permettant la charge de véhicules électriques ou hybrides rechargeables.

spécifiques de stockage ou de transformation de l'énergie électrique (station de recharge en tant que nœuds de *smart grid* local).

Les caractéristiques spatiales et dimensionnelles générales d'une station de recharge, couverte ou non, sont en relation avec :

- l'aire du terrain à disposition et les règles du PLU valables sur la parcelle
 - le nombre et le type de véhicules indiqués par le programme
 - la typologie du service offert par la station de recharge
 - les relations entre la station de recharge et le réseau routier
 - la distance entre la station de recharge et la gare pôle d'échange (cf. fig. 1)
- En règle générale, la réalisation d'un parking-station de recharge au niveau de la chaussée (parking-station de recharge couvert ou non) demeure la solution la plus simple et la moins onéreuse, qu'il s'agisse des coûts d'exécution ou de ceux d'exploitation et d'entretien. En revanche, cette solution est la plus faible du point de vue de l'exploitation du terrain à disposition. La solution de station de recharge sous ombrière photovoltaïque relève de cette catégorie (§ 4.6).
- Dans de nombreux cas, la station de recharge des véhicules électriques coïncide avec une zone dédiée à l'intérieur d'un parc de stationnement existant ou en projet. Cette circonstance est particulièrement fréquente quand la nouvelle infrastructure de recharge complète une gare métro/RER située en zone périurbaine.
- La réalisation d'un parking-station de recharge au-dessous du niveau de la chaussée (station souterraine) permet de maximiser l'exploitation de la parcelle et de rendre disponible la surface pour d'autres destinations. Néanmoins cette solution est techniquement complexe et très onéreuse au vu notamment des dispositions contre l'incendie (éléments coupe-feu, systèmes de détection, *sprinklers*), de compartimentage, et des exigences de ventilation et de désenfumage.
 - La réalisation d'un parking-station de recharge au-dessus du niveau de la chaussée (station en élévation), avec ou sans utilisation partielle du sous-sol (un niveau enterré ou partiellement enterré), fait appel à des techniques constructives relativement économiques (poteaux-poutres en acier ou en béton armé, planchers mixtes) dont l'exécution est rapide. Cette solution tout en étant simple et rationnelle suppose une évaluation de l'impact architectural du nouveau bâtiment et une étude de son insertion dans le paysage urbain.

La réglementation de sécurité incendie prend en compte les points de recharge et les stations de recharge associés à des parcs de stationnement couverts situés à l'intérieur des établissements recevant du public. Les dispositions relatives à ce cas général²⁴, le plus important dans le cadre de ce rapport de recherche, s'appliquent aux équipements à construire ou à modifier et ne concernent pas les équipements existants.

a - Les stations de recharge ne peuvent être installées qu'au rez-de-chaussée du parc de stationnement défini par rapport au niveau de référence²⁵, au niveau inférieur et au niveau supérieur, à l'exclusion des autres niveaux.

Cette limitation ne s'applique pas lorsque les stations de recharge sont installées dans des parcs de stationnement largement ventilés (PSLV)²⁶ ; en toiture terrasse (à l'air libre) des parcs de stationnement si les infrastructures de recharge sont implantées à plus de huit mètres de tout bâtiment tiers, des dégagements, locaux ou installations techniques ; dans les parcs de stationnement disposant d'une installation d'extinction automatique à eau de type *sprinkler* qui couvre la totalité de la station de recharge. Dans les cas ci-dessus, des colonnes sèches sont installées à tous les niveaux dans les escaliers ou les sas d'accès au compartiment²⁷ concerné pour une mise en œuvre rapide des moyens d'extinction par les sapeurs-pompiers ou les services de secours.

b - La mise en place d'infrastructures de recharge doit respecter les deux conditions suivantes :

- 20 points de charge maximum par compartiment ;

²⁴ Nous renvoyons aux réglementations spécifiques pour les deux cas particuliers des parcs de stationnement à l'intérieur des immeubles de grande hauteur et à l'intérieur des lieux de travail.

²⁵ Niveau de voirie desservant la construction et utilisable par les engins des sapeurs-pompiers et des services publics de secours (cf. article PS 3, arrêté 9 mai 2006).

²⁶ Parc de stationnement à un ou plusieurs niveaux, ouvert en façades et remplissant les conditions définies dans l'article PS 3 de l'arrêté du 9 mai 2006.

²⁷ À l'exception des parcs de stationnement largement ventilés, chaque niveau est recoupé en compartiments inférieurs à 3000 m². Cette valeur peut être portée à la surface du niveau sans dépasser 3600 m². La surface d'un compartiment peut être portée à 6000 m² lorsqu'il est équipé d'un système d'extinction de type *sprinkler*. Le compartimentage est réalisé par des parois coupe-feu de degré 1 heure, REI 60 en cas de fonction porteuse, ou EI 60, y compris pour les parties vitrées fixes qui y sont intégrées. Les éventuelles portes disposées dans ces parois sont pare-flammes de degré 1 heure avec ferme-porte ou E 60-C. Les baies de passage des véhicules situées dans ces parois sont munies de dispositifs d'obturation pare-flammes de degré 1 heure ou E 60. Ces dispositifs sont à fermeture automatique et doublés d'une commande manuelle ; (cf. article PS 12, arrêté 9 mai 2006).

- 125 kVA de puissance maximum simultanément fournie par compartiment.

c - Les points de recharge rapide ne sont autorisés qu'aux emplacements non couverts.

d - Le parc de stationnement est desservi au niveau de référence par au moins une voie utilisable en permanence par les engins des sapeurs-pompiers ou des services de secours.

e - Les stations de recharge doivent répondre aux exigences minimales suivantes :

Les emplacements doivent être matérialisés ; la station de recharge ne doit pas comporter plus de 10 points de charge ; la station doit être séparée des autres emplacements contigus par des parois pare-flammes de degré une heure ou E 60 (RE 60 en cas de murs porteurs) ; deux extincteurs à eau de 6 kg doivent être disposés à proximité de l'emprise des postes de recharge ; une coupure d'urgence générale de l'alimentation électrique des points de charge est exigée.

En atténuation de ces exigences, si le parc de stationnement dispose d'un système d'extinction automatique à eau couvrant la totalité de l'emprise de la station de recharge ou si les points de charge sont installés dans les parties non couvertes du parc de stationnement, les parois pare-flammes ne sont pas exigibles.

f - Pour les parcs de stationnement qui ne font pas l'objet d'une surveillance directe et permanente sur site, un système de vidéosurveillance est mis en place en correspondance des stations de recharge. Un système d'alerte est installé à proximité des escaliers ou des issues du compartiment où est située la station.

4.3. ELEMENTS POUR LE DIMENSIONNEMENT DES ESPACES DE STATIONNEMENT ET RECHARGE

Les véhicules présents sur le réseau routier appartiennent aux typologies les plus diverses, et d'autre part, même si l'on ne considère dans un premier temps que la catégorie *voiture particulière*, l'écart entre les gabarits de la plus petite et de la plus grande voiture particulière est considérable (fig. 3).

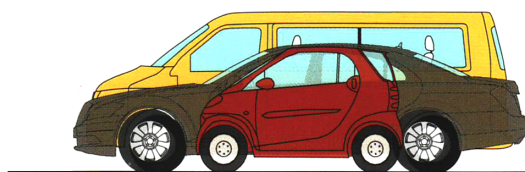


Fig. 3, Le gabarit des *voitures particulières* varie significativement entre le plus petit et le plus grand des différents modèles présents sur le marché.

Pour faciliter le projet des parkings et des stations de recharge, les normes fournissent au concepteur le gabarit moyen des différentes typologies de véhicules, l'espace minimum de manœuvre ainsi que les dimensions récurrentes des équipements annexes, y compris les bornes de recharge.

À partir des données relatives à l'ensemble des véhicules circulant en Allemagne, le *Research Institute for Roads and Transportation (FGSV)* a établi les dimensions d'un gabarit « moyen » représentatif de 85 % des voitures particulières circulantes (2001)²⁸.

Sur la base de ces éléments, la littérature technique récente fournit les dimensions maximum du véhicule particulier admis dans les parcs de stationnement européens (2010), ce gabarit permettant notamment d'inclure la catégorie minibus avec grand empattement (tab. 2). En prenant en compte le poids maximum autorisé du véhicule chargé, la hauteur et la longueur, l'empattement, les porte-à-faux avant et arrière, la largeur avec ou sans rétroviseurs, la hauteur minimum du sol, le rayon de braquage minimum extérieur, on peut retenir pour le projet des parkings publics les recommandations suivantes (tab. 3, fig. 4).

²⁸ Ces valeurs correspondent également à l'encombrement d'une VW Passat modèle 2004. Cf. *Survey Vehicles and Tractrix Curves for the Examination of the Usability of Circulation Areas*, FGSV, 2001.

	Catégorie	Poids v. chargé	h	l	Empatt. r	Porte-à-faux avant/arrière		Largeur sans/avec rétroviseurs		Rayon de braquage r/l
A, FGSV (2001)	Premium mid-size	-	1,51	4,74	2,70	0,94	1,10	1,76	-	11,7
B, Derived (2010)	Minibus large empatt.	3200 kg	2,00	5,30	3,40	-	-	2,00	2,20	12,5

Tab. 2, Recommandations concernant la dimension maximum des véhicules particuliers admis dans les parcs de stationnement européens. A, FGSV survey vehicle ("85 % passenger car"), 2001 ; B, Derived maximum-dimension vehicle for commonly used car parks in Europe, 2010, (longueurs en mètres).

Survey Vehicle	FGSV survey passenger vehicle [3]	Enlarged survey vehicle	Derived maximum dimension vehicle (Europe)	Automated parking system (Europe)
Description	Premium mid-size segment 85 % of vehicle stock in Germany (2001)	Premium mid-size segment in Europe 2010	Minibus with long wheel base	up to and including large executive, SUV and van segments
Max. Permissible Laden Weight	(2,500 kg) corresponding with DIN 1055	2,500 kg	3,200 kg	2,500 kg (3,000 kg) ¹
Height	1.51 m	2.00 m	2.00 m	1.70 m / 2.00 m ($\leq 75\%$ / $\geq 25\%$) ² m
Length	4.74 m	5.00 m	5.30 m	5.25 m
Wheel Base	2.70 m	2.90 m	3.40 m	-
Overhang front/rear	0.94 m / 1.10 m	0.95 m / 1.15 m	(≤ 1.13 m / ≤ 1.18 m) ³	(≤ 1.13 m / ≤ 1.18 m) ³
Width with/without rearview mirror	1.76 m / -	1.90 m / 2.10 m	2.00 m / 2.20 m	- / 2.20 m
Min. Ground Clearance	-	≥ 80 mm	≥ 100 mm	≥ 80 mm
Outer Turning Radius	11.70 m	12.0 m	12.50 m	14.50 m
Applicable to ...	General car parks with standard user comfort	Driving geometry dimensioning for standard user comfort	Maximum case during general use	Car park-compatible vehicle dimensions; general use
Applicable in ...	Europe, including Turkey, excepting Russia; other countries with vehicle stocks comparable to those in Europe		Europe, including Turkey and Russia; other countries with vehicle stocks comparable to those in Europe	

[1] Increased max. permissible laden weight, [2] Typical distribution, [3] Limit values do not occur simultaneously

Tab. 3, Recommandations concernant les dimensions des voitures particulières pour le projet des parkings publics, (I. Irmischer, *Parking Structures : construction and design manual, vol. 1: planning principles*, Berlin, DOM publishers, 2013, p. 51).

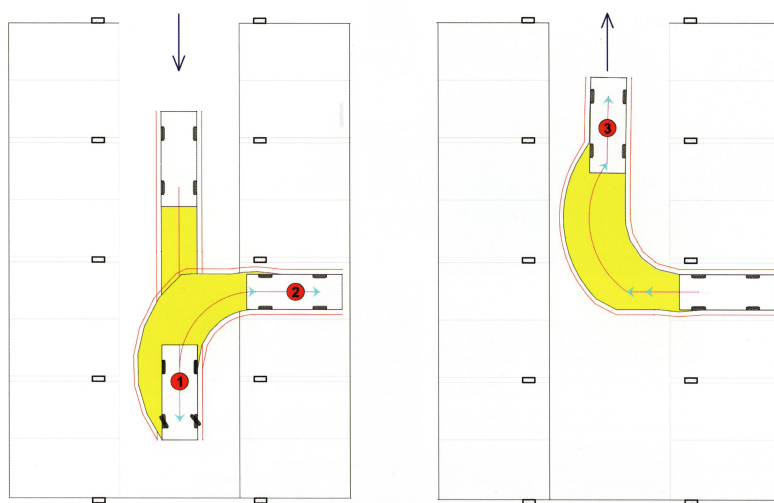


Fig. 4, Manœuvres d'accès à un emplacement et sortie, en trois mouvements : marche avant, accès à la place en marche arrière (deux mouvements), sortie de la place en marche avant (un mouvement), (I. Irmischer, *Parking Structures*, 2013, p. 62). Remarquons que ces mouvements peuvent également être effectués comme : accès à la place en marche avant, sortie de la place en marche arrière (deux mouvements), marche avant (un mouvement).

4.4. LE CAS DES BUS STANDARD 12 METRES

L'étude spécifique portant sur une station de recharge dédiée au *service public* prévoit la présence dans des emplacements contigus ou proches de voitures en auto-partage conventionné et de bus standard 12 mètres électriques²⁹.

Il s'agit d'un cas exceptionnel et inédit dans la mesure où la zone destinée à l'auto-partage conventionné peut être confondue avec un parc de stationnement ouvert au public, tandis que la zone destinée à la recharge d'appoint des bus, qui n'est pas ouverte au public, relève des espaces soumis au seul *Code du travail* (ou réglementation spécifique, pratiques RATP).

Il convient de rappeler que le règlement de sécurité contre l'incendie relatif aux parcs de stationnement couverts (arrêté du 9 mai 2006) précise que les compartiments accueillant des véhicules de transport en commun sont exclusivement réservés à cet usage (voir PS 40 à PS 43), et que leur surface maximale est limitée à 3000 m². Lorsque le compartiment est accessible au public transporté par les véhicules de transport en commun, il comporte des dégagements selon les dispositions du règlement de sécurité (articles CO 35 à CO 39 et CO 41 à CO 42), dimensionnés sur la base d'un effectif de cinquante personnes par emplacement de stationnement. Les allées de circulation des véhicules de transport en commun comportent une hauteur libre minimale de 4 mètres. Le sol du compartiment présente une pente suffisante pour que les eaux et tout liquide accidentellement répandus s'écoulent facilement en direction d'une fosse d'1 m³ de capacité munie d'un dispositif de séparation (voir PS 17).

La coprésence des voitures en auto-partage conventionné et des bus standard, et éventuellement des navettes marchandises, peut être organisée avec des contraintes allégées sous forme d'une infrastructure de recharge mixte, située au niveau de la voirie, à l'air libre ou protégée par un abri, ou par une ombrière photovoltaïque, donc largement ventilée.

Dans le cas d'une station de recharge mixte voitures et/ou navettes, plus bus, il est recommandé de séparer clairement, ne serait-ce que par un espacement (pas d'emplacements contigus entre voitures et bus) et un marquage au sol, la zone recharge d'appoint des bus des autres zones (accessibles au public).

Par rapport aux voitures, les véhicules de transport de type bus standard 12 mètres nécessitent des puissances de recharge bien plus importantes ; leur infrastructure sera donc spécifique et dédiée. En

²⁹ Voir aussi sur cet argument le projet européen ZeEUS pour le développement des nouveaux bus électriques.

particulier, des systèmes de recharge sans contact par induction électromagnétique (la normalisation de cette technologie est actuellement en cours), ou basés sur l'utilisation de conducteurs aériens et pantographes, peuvent se révéler pertinents dans le cas d'une recharge d'appoint de courte durée (environ 10 minutes). L'adoption d'une infrastructure de recharge spécifique des types décrits présente des avantages évidents en termes de facilité d'utilisation et constitue, en l'absence d'une séparation physique entre la zone voitures et la zone bus, un élément de protection par rapport au risque d'intrusion (volontaire ou non) de personnes étrangères au service bus.

S'agissant des aspects dimensionnels (stationnement/recharge et manœuvre) et de distribution des emplacements en relation avec les allées de circulation et la voirie, les éléments suivants méritent d'être pris en considération.

Le poids à vide d'un bus électrique de 12 mètres est d'environ de 13,5-15 tonnes, son poids brut (chargé) avoisine les 18 tonnes ; la hauteur moyenne de ce véhicule varie entre 3,35 et 3,5 mètres. Ces données constituent donc les premiers éléments de projet par rapport à la vérification de la capacité structurale du plancher, et en relation à la hauteur libre minimum au-dessous de la couverture (abri ou ombrière), ou à la hauteur inter-étage en cas de parking sur plusieurs étages.

Les autres dimensions moyennes des bus standard sont reportées ci-dessous, avec une comparaison entre un véhicule thermique et plusieurs modèles à traction électrique, tab. 4, 5.

Longueur	12 000 mm
Largeur	2 500 mm
Hauteur (avec ou sans climatisation)	3 300 mm
Empattement	6 120 mm
Porte-à-faux Av/Ar	2 710 / 3 170 mm
Rayon de braquage entre murs	10 785 mm
Rayon de braquage entre trottoirs	9 000 mm
Angle d'attaque / fuite	7° / 7°
P.T.A.C. ¹	19 845 kg
Charge maxi essieu arrière	13 000 kg

Tab. 4, Dimensions courantes d'un bus standard 12 mètres à moteur thermique (Iveco Bus). 1, Poids total autorisé en charge.

	BYD ebus-12	Irizar i2e	Solaris Urbino 12 electric	Heuliez GX 337 ELEC
Longueur	12 000 mm	11 980 mm	12 000 mm	12 000 mm
Largeur	2 550 mm	2 550 mm	2 550 mm	2 550 mm
Hauteur	3 360 mm	3 220 mm	3 250 mm	-
Empattement	5 900 mm	5 770 mm	5 900 mm	-
Porte-à-faux Av/Ar	2650 / 3450 mm	2805 / 3405 mm	2700 / 3400 mm	-
Rayon de braquage	11 600 mm	11 840 mm	-	-
Angle d'attaque / fuite	7° / 7°	6,5° / 7°	-	-
P.T.A.C.	19 000 kg	-	-	-
Charge maxi essieu arrière	-	12 500 kg	-	-

Tab. 5, Dimensions de quatre bus 12 mètres à traction électrique (BYD Auto, Irizar, Solaris, Heuliez).

Les encombrements minimums utiles pour déterminer la largeur des voies de circulation et des espaces de manœuvre (virages de 90 et 180 degrés), sont indiqués dans les figures 5 et 6.

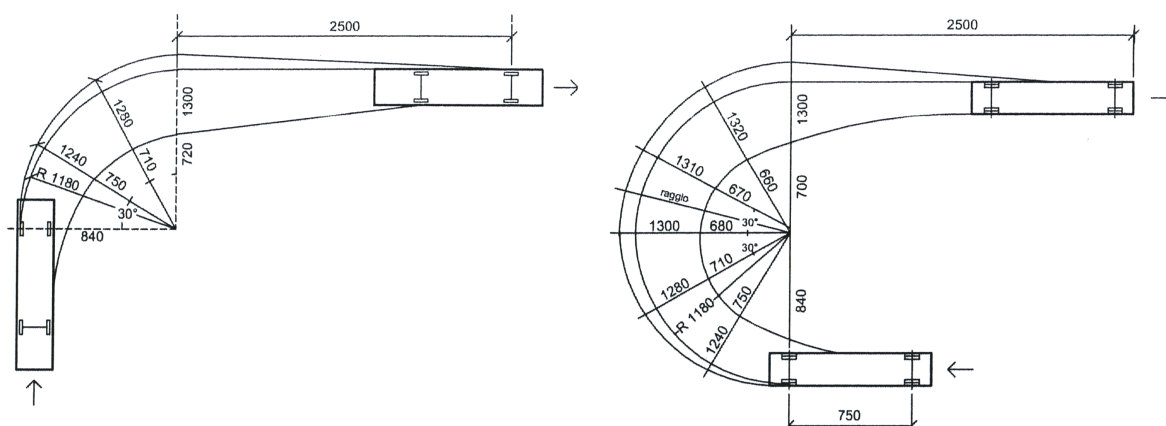


Fig. 5, 6, Encombrements minimums de manœuvre d'un bus standard, virages de 90 et de 180 degrés. Le rayon intérieur correspond à la ligne décrite par la roue arrière ; le rayon extérieur correspond à la ligne décrite par le pare-chocs.

L'organisation du stationnement de courte durée pour la recharge d'appoint (environ 10 minutes) peut être faite sur la base de plusieurs schémas. Les figures ci-dessous montrent deux exemples d'emplacements parallèles à la voie de circulation, variantes a et b, et d'emplacements en épi, avec angle compris entre 20° et 75° (fig. 7, 8).

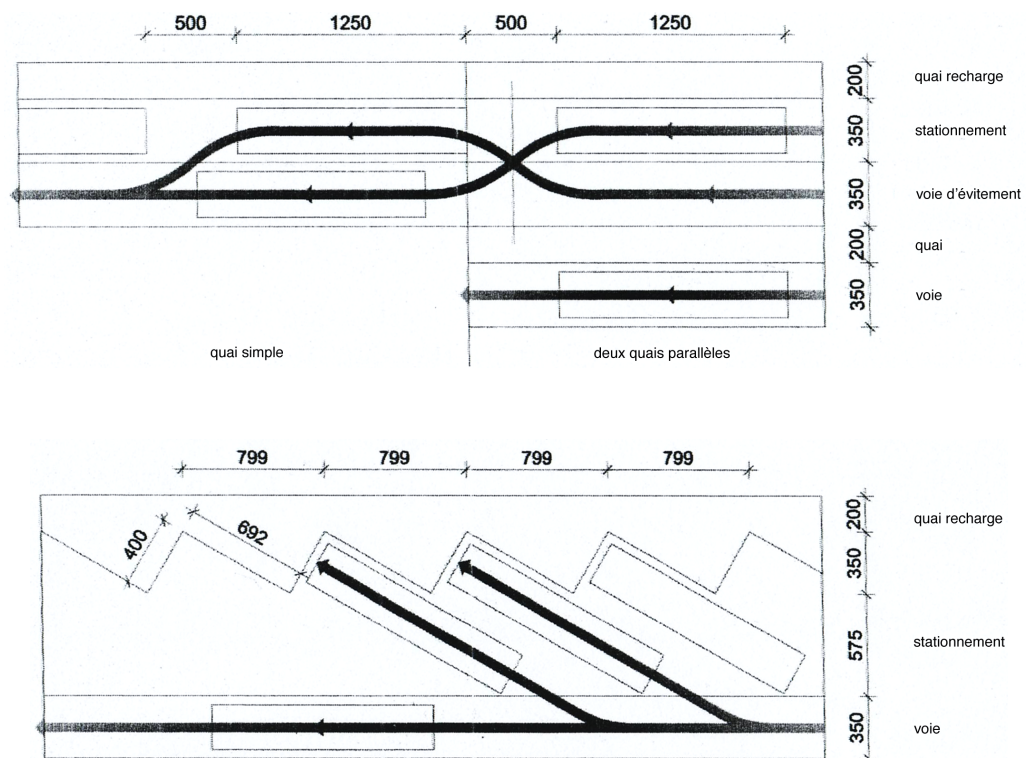


Fig. 7, 8, Deux configurations possibles pour le stationnement-recharge d'appoint de bus 12 mètres ; emplacement longitudinal et en épi 30°, avec les manœuvres respectives d'accès et de sortie, (hypothèses de travail).

4.5. STATION DE RECHARGE EN PARKING SOUTERRAIN

Comme nous l'indiquions précédemment, la réalisation d'une station de recharge au niveau de la chaussée demeure la solution la plus simple et la moins onéreuse (parking-station couverte ou non) ; c'est en outre une solution adaptée pour les stations de recharge de petites dimensions (300 - 900 m², pas plus de 50 voitures³⁰).

La réalisation d'une station de recharge au-dessous du niveau de la chaussée permet de maximiser l'utilisation de la parcelle et de rendre disponible le niveau zéro pour d'autres destinations. Cette solution peut correspondre à une station autonome située au 1^{er} sous-sol, le seul niveau enterré admis, ou à une station aménagée à l'intérieur d'un parking souterrain existant, dont elle occupe, entièrement ou partiellement, le 1^{er} sous-sol, seul niveau enterré admis.

Comparée aux autres solutions, la réalisation d'un parking souterrain est techniquement complexe et onéreuse, au vu des dispositions anti-incendie (éléments coupe-feu, systèmes de détection, *sprinklers*) et de compartimentage, ainsi que par rapport aux exigences de ventilation et désenfumage. L'aménagement d'une station de recharge au 1^{er} sous-sol (équipement autonome ou à l'intérieur d'un parking existant), s'insère donc dans cette problématique particulière.

Les essais menés par l'INERIS³¹ ont montré un comportement des véhicules électriques comparable à celui d'un véhicule à moteur thermique en cas d'incendie, notamment en ce qui concerne la nature et la quantité des produits toxiques émis. Cependant, compte tenu de la présence des batteries - chimiquement actives durant la recharge -, il est préconisé de situer l'ensemble des points de charge aux étages supérieurs (1^{er} sous-sol et au-dessus), conformément aux dispositions du *Cahier des charges relatif à l'installation d'infrastructures de recharge pour les véhicules électriques dans les parcs de stationnement couverts recevant du public ou intégrés à un immeuble de grande hauteur*, adopté par la Commission centrale de sécurité le 2 février 2012.

Enfin, la réalisation d'une station de recharge au-dessus du niveau de la chaussée dans de nombreux cas comporte l'utilisation partielle du sous-sol (présence d'un niveau enterré ou partiellement enterré), ce qui renvoie au cas précédent (espace au 1^{er} sous-sol pouvant accueillir des points de recharge) et au même texte de référence.

³⁰ À titre indicatif, compter 125 m² pour cinq voitures, 200 m² pour dix, 400 m² pour vingt.

³¹ Institut national de l'environnement industriel et des risques, (Établissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie).

4.6. STATION DE RECHARGE SOUS ABRI OU SOUS OMBRIERE PHOTOVOLTAÏQUE

La réalisation d'une station de recharge au niveau de la chaussée demeure une solution simple et peu onéreuse, adaptée pour les stations de recharge en bordure de rue, ou plus généralement pour les équipements de petites dimensions (pas plus de 50 voitures).

Des parkings-stations en surface de plus grandes dimensions ne peuvent être envisagés que dans des contextes périurbains, où la densité construite est faible et où l'indisponibilité de la parcelle pour d'autres destinations n'est pas pénalisante du point de vue financier.

Il est bien entendu possible d'envisager le parking-station en surface sous forme d'équipement protégé ou couvert, (les stations en bordure de rue sont évidemment exclues de cette solution).

Dans le cas des stations protégées, les points d'appui de la structure de couverture doivent être considérés comme autant d'obstacles et l'organisation des emplacements sera affectée par leur nombre et leur position. Ces points matérialisent les éléments porteurs principaux (poteaux, colonnes, béquilles, tirants, câbles), et doivent en tant que tels être préservés du risque de chocs éventuels provoqués par un véhicule en mouvement.

Dans le projet de la structure de couverture, on veillera à ce que le squelette dans son ensemble offre des ressources supplémentaires quant à sa résistance et à sa stabilité. S'agissant des appuis, leur nombre sera en règle générale redondant. Cette condition a pour conséquence favorable qu'en cas de crise d'un des éléments d'appui, la structure de couverture ne s'effondrera pas, garantissant ainsi la sécurité des personnes et la protection des véhicules. L'autre aspect majeur est celui de l'étude du contreventement de la structure, cet arrangement d'éléments permettant de garantir la stabilité globale de l'abri sous l'effet des actions horizontales. Quant aux fondations, enfin, elles peuvent être enterrées à une faible profondeur dans le respect des contraintes dérivantes de la présence éventuelle de réseaux divers.

Dans bon nombre de cas le squelette de couverture est une réalisation en charpente métallique ou en bois lamellé collé. Ces techniques constructives facilitent l'adoption de plans modulaire et de structures démontables et évolutives pouvant s'adapter dans le temps (agrandissement, démantèlement).

Dans les cas évoqués de construction en charpente métallique ou en BLC, le risque d'incendie pour une structure à l'air libre étant marginal, l'aspect de protection contre la corrosion atmosphérique pour les éléments métalliques apparents et pour les assemblages métalliques de la charpente en BLC, devient un élément fondamental de l'étude et doit être finalisé avec attention en vue d'assurer la durabilité de l'ouvrage. En effet, une construction bien conçue, bien protégée et bien entretenue présentera une résistance à la corrosion pratiquement illimitée. Les deux principales catégories de protection contre la corrosion sont d'une part le revêtement par peinture ou par zingage à chaud

(galvanisation), et d'autre part les types d'acier sur lesquels l'effet de la corrosion est quasiment nul, tels les aciers auto-patinables ou les aciers inoxydables.

S'agissant d'un projet de couverture, l'étude du dispositif de récupération des eaux de pluie s'avère déterminante ; de façon générale et eu égard aux aspects évoqués ci-dessus, il faut s'assurer que l'eau puisse librement s'écouler et être évacuée sans rétention, de la couverture, des éléments porteurs et de la chaussée.

L'aire de stationnement-recharge peut être couverte par un abri opaque ou translucide (verre), les deux solutions permettent de protéger les véhicules des intempéries (pluie, neige, grêle, fortes chaleurs) tout en améliorant le confort des usagers.

Si la couverture prévue est partiellement ou entièrement opaque, l'option de l'intégration de panneaux photovoltaïques doit être envisagée (abri solaire ou ombrière photovoltaïque). Ce choix dépend essentiellement des conditions environnementales et morphologiques du site et du budget alloué à la réalisation de la station de recharge. Si le site n'est pas isolé ou s'il est entouré de bâtiments comportant plusieurs étages, l'effet de masque peut affaiblir la capacité productive de l'installation, et l'éventualité que les panneaux photovoltaïques ne soient pas en mesure de fournir une quantité d'énergie considérée comme suffisante dans le bilan énergétique global doit être examinée via une estimation de l'ensoleillement mensuel/annuel sur la couverture (voir les exemples fournis dans § 3.3).

Lors de l'analyse d'un site ou d'un édifice, a fortiori quand la forme du bâtiment ou de l'abri est complexe, les *diagrammes solaires* et les *masques d'ombres* sont extrêmement utiles. Ces schémas fournissent en effet en une seule image les informations relatives aux conditions d'ombre d'un point ou d'une surface de bâtiment rapportées à toute l'année solaire. En particulier, les diagrammes solaires donnent une représentation en deux dimensions de la trajectoire annuelle du soleil (diagrammes orthographique et stéréographique). Les masques d'ombres complétant ces diagrammes constituent un outil fondamental dans l'étude des abris solaires, des constructions légères de faible hauteur (4-5 mètres) souvent entourées de bâtiment de plusieurs étages.

Le flux d'énergie que la terre reçoit quotidiennement du soleil est mesuré à travers la *puissance de rayonnement*, puissance par unité de surface provenant directement ou indirectement du soleil (W/m^2), et à travers l'*irradiation* (ou *rayonnement*), énergie par unité de surface provenant directement ou indirectement du soleil (KWh/m^2 ou MJ/m^2).

L'énergie que transmet le soleil à la surface de l'atmosphère par rayonnement est égale à $E_0 = 1\,367\, W/m^2$ (*constante solaire*). En traversant l'atmosphère, une partie de ce rayonnement est réfléchi, absorbée ou diffusée, ce qui diminue significativement cette valeur. L'irradiation sur la surface

terrestre - rayonnement global - est égale à $EG = 1000 \text{ W/m}^2$; la valeur réelle dépend du lieu, de la saison, de l'heure, des conditions météorologiques et de l'altitude.

Le *gisement* solaire et l'irradiation solaire pour différentes conditions climatiques sont consultables dans l'*Atlas solaire français*³² ou fournies par des logiciels sous licence comme *Meteonorm* (www.meteonorm.com). Ces données sont fonction du lieu (de la latitude), de l'orientation du plan des modules photovoltaïques par rapport au sud, ainsi que de l'inclinaison par rapport à l'horizontale.

Pour le calcul du rayonnement solaire à un endroit géographique donné on peut aussi construire un modèle prédictif paramétrique (plusieurs de ces modèles existent, comme par ex. celui de l'ASHRAE ou celui d'Iqbal³³), ou un « decomposition model », soit un modèle du soleil créé à partir de certaines données solaires mesurées (par exemple, en connaissant le rayonnement global mesuré, on modélise les composantes, directe et diffuse, du rayonnement) ; ces démarches caractérisent une activité de recherche plus poussée.

Dans la pratique, le rayonnement solaire peut être calculé sur la base des valeurs mesurées (outils en ligne et logiciels) ; à partir du rayonnement, éventuellement corrigé en fonction des caractéristiques du site, et en prenant en compte la morphologie de la couverture.

Presque tous les logiciels de thermique des édifices exploitent des valeurs mesurées ; les outils en ligne les plus fiables fournissant ces données sont :

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Institute for Energy, Joint Research Centre (JRC), Commission Européenne

Cet outil comporte également un volet pour le calcul de l'énergie fournie par un panneau photovoltaïque frappé par le rayonnement correspondant au lieu considéré (Performance of Grid-connected PV), et ce selon le type de technologie du panneau (Crystalline silicon, CIS, CdTe).

<http://www.nrel.gov/midc/solpos/solpos.html>

National Renewable Energy Laboratory (NREL), USA

Les principaux logiciels de thermique des bâtiments et de dimensionnement des installations photovoltaïques exploitent les valeurs mesurées ; parmi eux, nous signalons Autodesk Ecotect

³² P. Claux, R. Gilles, A. Pessa, (et al.), *Atlas solaire français : énergie transmise et calcul de l'effet de masques*, Paris, Pyc édition, 1982.

³³ Cf. sur ces modèles : L.T. Wong, W.K. Chow, « Solar radiation model », *Applied Energy* 69 (2001), p. 191-224.

Analysis (ses fonctionnalités viennent d'être intégrées dans les logiciels de la famille Revit) et DIVA-for-Rhino (un plug-in pour le modèleur 3D Rhinoceros).

Les panneaux constituent le cœur de l'installation ; il existe trois générations de panneaux photovoltaïques :

1^{er} génération : silicium cristallin (monocristallin, poly-cristallin)

2^{ème} génération : couche mince (*thin film*, silicium amorphe)

3^{ème} génération : solaire à concentration (technologies innovantes, stade de la recherche ou des premières applications)

Ces différentes technologies offrent des rendements variés et les données fournies par le fabricant peuvent être retenues parmi les éléments sur lesquels baser l'estimation énergétique et le pré-dimensionnement. Le rendement d'un panneau sera d'autre part corrigé en prenant en compte le rendement global de l'installation.

Les bonnes pratiques pour la mise en œuvre d'une installation photovoltaïque préconisent une orientation sud pour les panneaux et l'inclinaison de 35° par rapport à l'horizontale. Ces indications sont valables pour toute la France. Dans tous les cas, des pentes inférieures à 20° ralentissent ou empêchent l'auto-nettoyage des panneaux, ce qui est susceptible de faire baisser rapidement leur rendement.

- L'installation est constituée des éléments suivants : champ photovoltaïque (panneaux) ; protection DC (parafoudre, coupe-circuit) ; onduleurs DC/AC ; monitoring-afficheur ; protection AC (parafoudre, fusible, disjoncteur) ; compteur électrique à réseau BT ; dispositif de stockage de l'énergie (batteries ou supercondensateurs) en espace dédié.

Outre une bonne exposition et la vérification sur les masques d'ombres, les autres points à prendre en compte en vue d'une bonne intégration de l'installation photovoltaïque sont : une bonne ventilation (-0,4% / °C), l'accessibilité pour le montage et la maintenance, le passage des câbles, la proximité des onduleurs (rendement et sécurité), la sécurité des usagers, l'aspect esthétique (éviter les câbles apparents, étude de l'installation dans son ensemble).

Exemple de pré-dimensionnement

Consommation énergie annuelle = 2450 Kwh/an (exemple)

Puissance de crête $W_c = 230$ W (fournie par le fabricant)

Surface du module = $1,659 \text{ m}^2$ (donnée fabricant)

Rendement des panneaux = 12% (donnée fabricant)

Rendement de l'installation = 80%

Rendement global $\eta = 12 \times 80 / 100 = 9,6\%$

Énergie électrique par unité de surface = irradiation annuelle $\times \eta = 1396 \text{ (ex.)} / 0,096 = 134 \text{ kWh/m}^2 \text{ an}$

- Surface de l'installation

$S_i = \text{consommation annuelle} / \text{énergie électrique surfacique} = 2450 / 134 = 18 \text{ m}^2$

- Nombre de modules

Surface installation / surf. unitaire module = 10 modules

- Nombre modules

Surface disponible / surf. unitaire module = $20 / 1,659 = 12$ modules

Puissance de crête installation $P_c = \text{nombre modules} \times \text{puissance de crête} = 10 \times 230 = 2,3 \text{ KW}$

Puissance théorique de crête = $P_c \times 24 \times 365 = 20148 \text{ kWh}$

% énergie utile = consommation énergie annuelle / puissance théorique de crête = 0,12 %

4.7. SIGNALÉTIQUE ET MARQUAGE AU SOL DES ESPACES DE STATIONNEMENT ET RECHARGE

La surface destinée au stationnement et à la recharge est constituée des emplacements pour les véhicules (places), des voies de circulation (permettant les manœuvres d'accès et de sortie des places) et des espaces nécessaires à l'implantation des bornes de recharge (spécifications fournies par le fabricant).

Une première distinction peut être faite à partir de la position des places par rapport à la voie de circulation. Celles-ci peuvent être disposées parallèlement à la voie, perpendiculairement ou en épi (plusieurs cas). D'autres distinctions peuvent être faites à partir de la disposition des voies de circulation (longitudinales, transversales, etc.) et du type de circulation sur la voie (sens unique, double sens). Il est évident qu'il existe une interdépendance entre la largeur des places et la dimension transversale des voies ; en effet, l'augmentation de la marge entre l'encombrement du véhicule et la surface de l'emplacement permet de réduire dans une certaine mesure la largeur de la voie d'accès.

La norme NF P91-100, *Parcs de stationnement accessibles au public - Règles d'aptitude à la fonction - Conception et dimensionnement* (mai 1994) définit, quant aux parkings publics et pour les véhicules de moins de 3,5 t et d'une hauteur maximum de 1,9 m, les dimensions des places et les règles de marquage au sol. Par arrêté du 22 décembre 2014, une signalisation spécifique relative au service de recharge des véhicules électriques a été créée.

À partir des données concernant les dimensions d'une voiture standard (cf. § 4.3) et en relation avec l'organisation des emplacements, la norme indique les dimensions minimales à retenir pour les trois configurations de places perpendiculaires à la voie (en bataille), places parallèles à la voie (en créneau ou longitudinales), en épi (rangement à 75°, à 60°, à 45°). On distingue donc les cinq cas suivants, cf. tab. 6 et fig. 9-13 ci-après.

Type d'emplacement	Longueur place	Largeur place	Largeur voie
Bataille (90°)	5,00 m	2,30 m	5,00 m
Épi 75°	5,10 m	2,25 m	4,50 m
Épi 60°	5,15 m	2,25 m	4,00 m
Épi 45°	4,80 m	2,20 m	3,50 m
En créneau	5,00 m	2,30 m, aucun obstacle	3,50 m
	5,30 m, si parois d'un côté	2,00 m, obstacle à droite	
	5,60 m, parois des deux côtés	2,50 m, obstacle à gauche	

Tab. 6, Les dimensions minimales d'emplacements de stationnement et de circulations les desservant sont définies dans la norme NF P 91-100. Dimensions des places et de la voie selon le type d'organisation du parking.

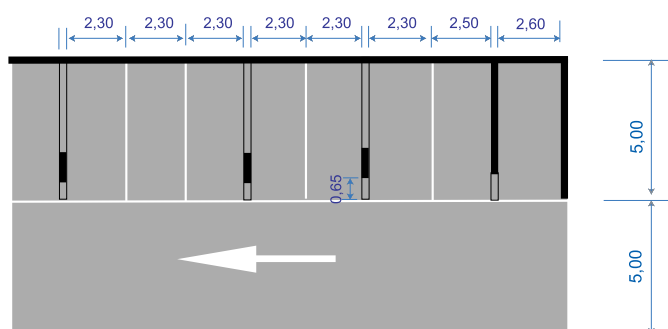


Fig. 9

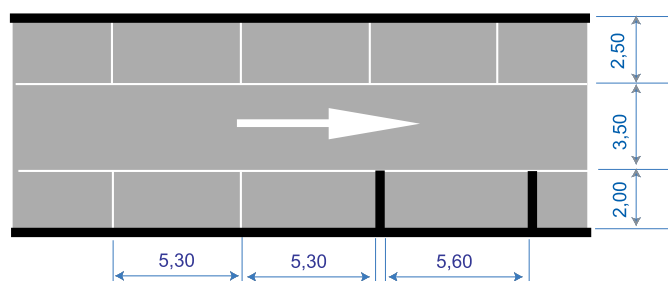


Fig. 10

Fig. 9, 10, Stationnement en bataille (à 90°) ; stationnement longitudinal.

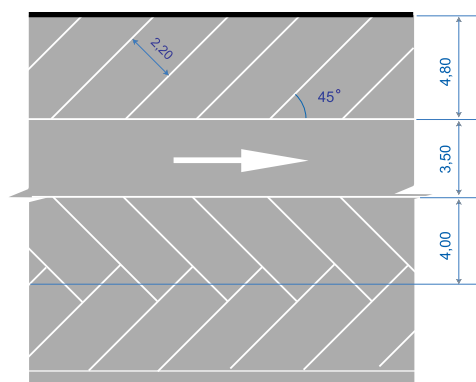


Fig. 11

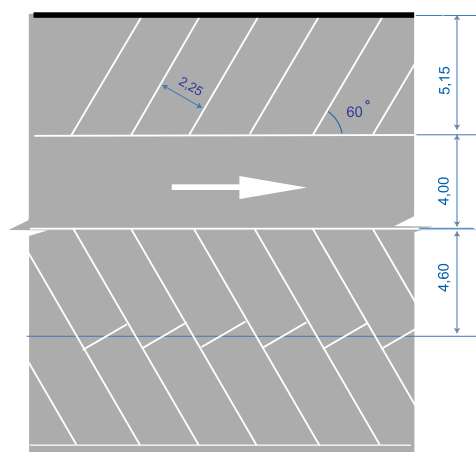


Fig. 12

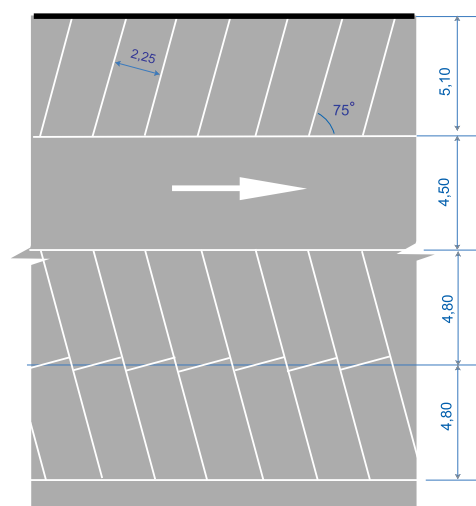


Fig. 13

Fig. 11, 12, 13, Schémas des dimensions à respecter pour l'emplacement en épi ; stationnement en épi à 45° ; stationnement en épi à 60° ; stationnement en épi à 75° .

La présence d'obstacles, notamment les appuis de la structure porteuse de la couverture, les poteaux ou les murs du bâtiment, bornes et autres dispositifs, sur un ou deux côtés de la place, exige une augmentation de sa largeur ; les normes de marquage au sol en sont alors directement affectées.

Pour un obstacle à moins de 1,10 m de la voie de circulation (accès) :

- < 0,25 m : ajouter 20 cm à la largeur de l'emplacement (2,5 m)
- entre 0,25 m et 0,40 m : ajouter 15 cm (2,45 m)
- entre 0,40 m et 0,65 m : ajouter 10 cm (2,40 m)
- plus de 0,65 m : largeur standard de 2,30 m.

Pour un obstacle à plus de 1,10 m de la voie de circulation et plus de 2,20 m du fond de l'emplacement : ajouter 20 cm si un seul côté est concerné (2,50 m), ajouter 30 cm si les deux côtés sont concernés (2,60 m).

Pour un obstacle entre 2,20 m et 1,10 m du fond de l'emplacement : retenir une largeur minimum de la place de 2,30 m.

Une hauteur du plafond d'au moins 2,20 m est exigée ; elle peut être ponctuellement revue à 2,00 m en cas de présence de reliefs, comme l'intrados de poutres, les canalisations et les chemins de câbles, les panneaux de signalisation.

Enfin, les rampes d'accès auront une largeur minimum de 3 m en sens unique ou 5,50 m en double sens, si elles sont rectilignes ; de 4 m en sens unique ou 6,50 en double sens, si elles sont en courbe.

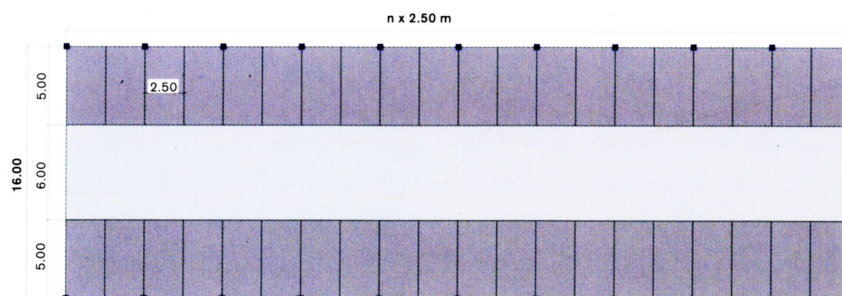


Fig. 14, Exemple de parking avec voie de circulation sans colonnes et arrangement en bataille (dimensions standard), (I. Irmischer, *Parking Structures*, 2013).

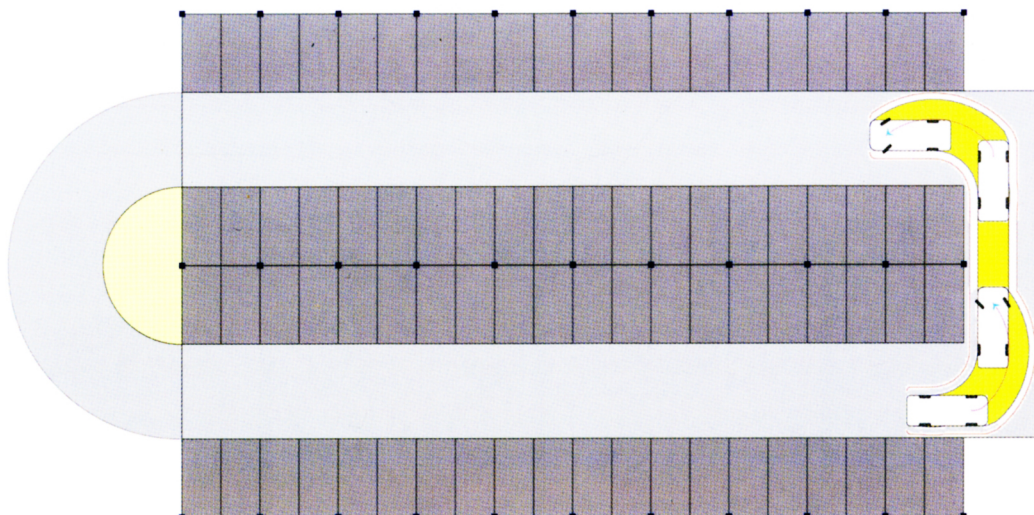


Fig. 15, Combinaison de deux voies parallèles sans colonnes et arrangement en bataille (dimensions standard), (I. Irmischer, *Parking Structures*, 2013).

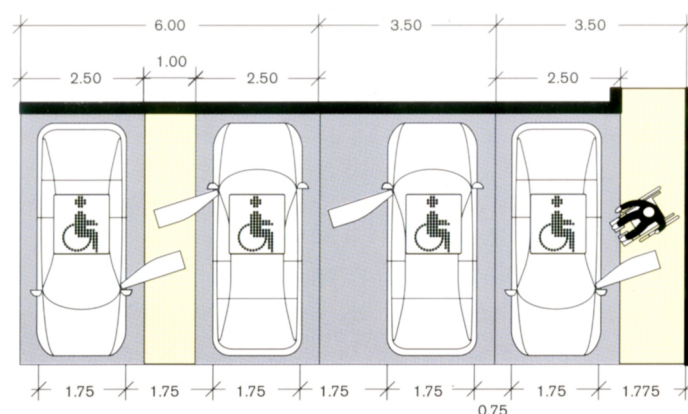


Fig. 16, Un emplacement de stationnement aménagé pour les personnes handicapées comporte latéralement à l'emplacement prévu pour la voiture une bande libre de tout obstacle, protégée de la circulation automobile et reliée par un chemin praticable à l'entrée du parking. (I. Irmischer, *Parking Structures*, 2013).

Pour les équipements de recharge, un marquage spécifique ainsi que des panneaux de signalisation sont prévus.

Une série de panneaux de type CE indiquant la présence ou la proximité d'une station de recharge de véhicules électriques ainsi que deux panneaux de type ID permettant l'indication de la direction de la station de recharge, permettent de rendre visible l'équipement (fig. 17, 18).

L'accès des véhicules électriques aux points de recharge est quant à lui garanti par la présence d'un panneau qui réglemente le stationnement et d'un pictogramme peint au sol ; ces éléments protégeant

chaque emplacement pour la recharge de véhicules électriques sont décrits aux articles 2-1 et 8 de l'arrêté du 24 novembre 1967 modifié, relatif à la signalisation des routes et autoroutes. La signalisation verticale se compose d'un panneau (B6a1) qui régleme le stationnement et d'un panonceau (M6i) qui signale que le stationnement est réservé aux véhicules électriques (fig. 19). La signalisation horizontale est matérialisée par un pictogramme peint en blanc sur les limites de l'emplacement de stationnement (fig. 20).

Si la station de recharge est contiguë aux emplacements d'un parking public, la présence d'une séparation physique au sol de type seuil permet de délimiter et de protéger la station du parking voisin ; le seuil, de dimensions indicatives 80 x 150 x 5 cm, peut accueillir un panneau de direction (J4) ou un potelet.

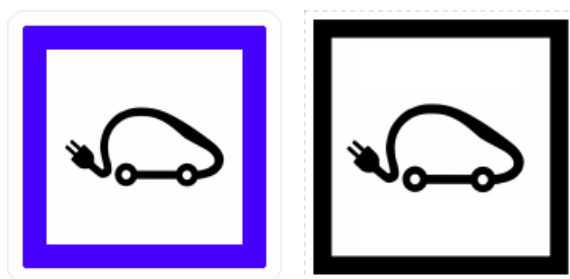


Fig. 17, 18, Panneau CE15i indiquant la présence ou la proximité d'une station de recharge et panneau ID14d permettant l'indication de la direction de la station de recharge.

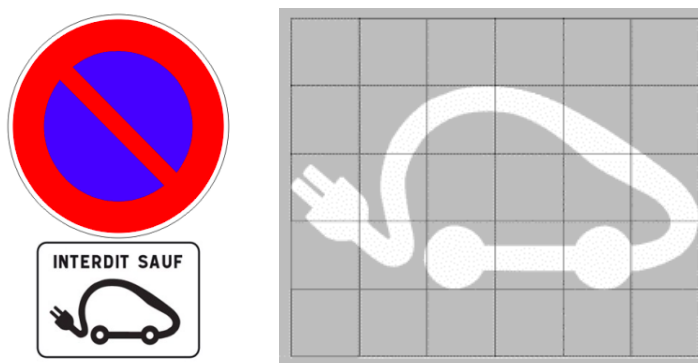


Fig. 19, 20, Panneau B6a1 qui régleme le stationnement et panonceau M6i de stationnement réservé aux véhicules électriques ; pictogramme horizontal blanc sur les limites de l'emplacement de recharge.

Nous indiquons enfin qu'un arrêté interministériel récent, publié le 17 janvier 2016, crée une signalisation spécifique pour les emplacements de stationnement réservés au covoiturage³⁴. Cette signalisation, relative au covoiturage et aux services proposés à ces usagers, notamment sur les aires de service et de repos, s'adapte également aux lieux de recharge des véhicules électriques.



Fig. 21, Panneau CE52 signalant les emplacements aménagés pour le covoiturage.

Le panneau CE52 signale un emplacement aménagé pour la pratique du covoiturage (fig. 21) ; le mot « COVOITURAGE » peut aussi être inscrit sur la chaussée afin d'indiquer que les emplacements contigus et délimités sont réservés aux véhicules des usagers pratiquant le covoiturage. Deux panonceaux destinés à être placés en dessous des panneaux de signalisation sont également créés. Il s'agit du panonceau M6k1 qui signale que l'arrêt ou le stationnement est autorisé pour les véhicules des usagers pratiquant le covoiturage, et du panonceau M6k2 qui signale que l'arrêt ou le stationnement n'est autorisé que pour les véhicules des usagers pratiquant le covoiturage ; l'arrêt ou le stationnement d'autres véhicules que ceux destinés au covoiturage reste possible dans le premier cas. Enfin, l'idéogramme ID39 est destiné à être placé devant les indications de destination.

³⁴ Arrêté du 8 janvier 2016 relatif à la signalisation du covoiturage ; texte du 8/1/2016, paru au Journal Officiel n° 14 du 17 janvier 2016.

4.8. FONCTIONS PRINCIPALES, SERVICES ANNEXES, ELEMENTS AUXILIAIRES

Comme mentionné plus haut, les bornes de recharge sont groupées en îlots raccordés à un point de livraison du réseau de distribution. Ce même point peut également alimenter d'autres usages liés au fonctionnement de la station de recharge. On considère comme fonctions principales celles qui permettent l'utilisation partagée des emplacements, l'accès contrôlé aux points de charge et leur activation.

- Borne de recharge : permet l'accès au point/place de recharge et son activation (identification de l'abonné, plus monétique intégrée). Elle est reliée à une borne principale d'alimentation, elle-même permettant la recharge. Dans ce cas, toutes les bornes de l'îlot ou de la station se ressemblent.

- Borne de gestion : si les bornes de recharge d'une station n'intègrent pas le moyen de lecture permettant l'identification de l'abonné et le paiement du service, ces fonctions sont remplies par un « totem » de gestion à proximité immédiate des points de recharge.

- Borne de location (parking VE de location) : permet la réservation d'un véhicule ou d'une place, la location d'un véhicule et l'accès aux points/places de recharge d'une station (ou d'un des îlots d'une station formée de plusieurs îlots). Ces fonctions peuvent également être intégrées dans la borne principale qui devient alors la borne « totem » d'un îlot de plusieurs bornes lui étant associées.

- Toute station de recharge comporte au moins une borne principale (ou une borne de location, si parking VE de location) ; le compteur électrique est en règle générale implanté dans cette borne.

- Dans les parkings VE de location les bornes de recharge peuvent également être accessibles aux véhicules tiers.

- Rappelons que dans le cadre du projet d'une station de recharge, et notamment par rapport aux dimensions et au marquage des emplacements, tout élément de type borne constitue un obstacle au sens indiqué dans § 4.7. Rappelons enfin que chaque borne est posée sur un plot ou un socle de fondation. À titre indicatif, prévoir pour chaque élément de type borne une réservation au sol d'environ 60 x 60 cm (100 x 100 cm pour les bornes de gestion avec écran), pour une profondeur d'au moins 50 cm pour accueillir la fondation.

- Le maintien en bon état de fonctionnement des stations de recharge comporte l'organisation de la part du gestionnaire d'un service efficace de maintenance (maintenance préventive, criticités, danger électrique). Celui-ci doit s'appuyer sur une télésurveillance des points de charge et des bornes en lien

avec leur télégestion. (Le *système d'itinérance des services* en cours de développement permettra dans les prochaines années d'informer l'utilisateur en temps réel de l'indisponibilité éventuelle d'un point de charge ou de son rétablissement). Ces fonctions de base seront de préférence accompagnées, en vue d'assurer un contrôle complet vis-à-vis du danger électrique, des intrusions et des actes malveillants éventuels, d'un service de vidéosurveillance de l'emprise de la station de recharge. (Rappelons qu'en l'absence de personnel de surveillance, l'espace de la station est obligatoirement vidéo-surveillé dans le cas d'équipements situés à l'intérieur d'un parc de stationnement couvert).

D'autres éléments remplissant des fonctions complémentaires peuvent être présents dans la station :

- Poste ou abri d'abonnement : permet l'inscription au service de recharge, de location ou d'auto-partage, ainsi que la gestion de l'abonnement de la part du client (possible également par internet).
- Des services annexes actuellement développés par différents gestionnaires peuvent demander la présence d'un point d'accès informatique doté d'écran tactile et moyen de lecture des cartes.
- Des éléments auxiliaires peuvent compléter l'espace de l'infrastructure de recharge. Ils sont les distributeurs automatiques de type machines à café, distributeurs de boissons froides, distributeurs de friandises et fontaines à eau ; les toilettes automatiques. On estime la consommation de chaque auxiliaire à environ 1000 Wh, et pour les dispositifs équipés d'écran à environ 1200 Wh.

4.9. ELEMENTS POUR LE DIMENSIONNEMENT DES ESPACES TECHNIQUES

Dans le respect du *Cahier des charges relatif à l'installation d'infrastructures de recharge pour les véhicules électriques dans les parcs de stationnement couverts*, tous les locaux regroupant les installations techniques et électriques doivent être conformes à l'article PS 9 de l'arrêté du 9 mai 2006³⁵. Ainsi, les locaux techniques de type local de service électrique, local abritant le groupe électrogène, local *sprinkler*, local ventilation et tous les espaces non accessibles au public et nécessaires à l'exploitation de l'équipement, sont isolés par des parois coupe-feu de degré 1 heure, ou EI 60, REI 60 en cas de fonction porteuse, et des blocs-portes pare-flammes de degré 1 heure équipés de ferme-porte ou E 60-C.

En règle générale, la présence de panneaux photovoltaïques sur la toiture de l'infrastructure de recharge suppose l'existence d'une batterie tampon permettant de stocker l'énergie solaire non immédiatement utilisée ; ce dispositif peut être caché dans un espace ventilé relativement réduit.

Les fonctions plus complexes de sous-station électrique éventuellement associées à l'infrastructure de recharge réclament des espaces techniques spécifiques pouvant abriter des équipements électriques comme des transformateurs, des batteries - ou autres dispositifs pour le stockage de l'énergie électrique -, des dispositifs électroniques de forte puissance et des convertisseurs (électronique de puissance).

Ces espaces peuvent correspondre à des locaux réaffectés à l'intérieur du bâtiment gare, si l'infrastructure de recharge est accolée ou située à proximité de la gare, ou peuvent constituer une partie du volume globale de la nouvelle station de recharge. Dans tous les cas, les espaces techniques peuvent être organisés en sous-sol, niveau enterré ou partiellement enterré, ou sous la forme de simples containers posés sur le sol (les divers espaces étant séparés par des diaphragmes), donc comme ensemble à l'air libre.

Dans les cas courants, il est recommandé de prévoir un local transformateur d'une surface minimum de 1600 x 2200 mm (fig. 22, 23). Si le transformateur est relié à la distribution BT, prévoir un local de distribution avec protections HT d'au minimum 4000 x 2200 mm. Tous ces locaux devront avoir une hauteur minimum de 2500 mm, et posséder une grille d'aération haute et une grille basse mesurant au moins 700 x 350 mm chacune.

Un éventuel local pour le stockage de l'énergie sera séparé des autres espaces techniques et fournira une réserve minimum d'1 MWh, ce qui exige un volume minimum de 6000 x 2500 mm (container de 6 m) avec ventilation haute et basse.

³⁵ Voir également l'article PS 19 du même arrêté pour les généralités sur les installations électriques des parcs de stationnement couverts.

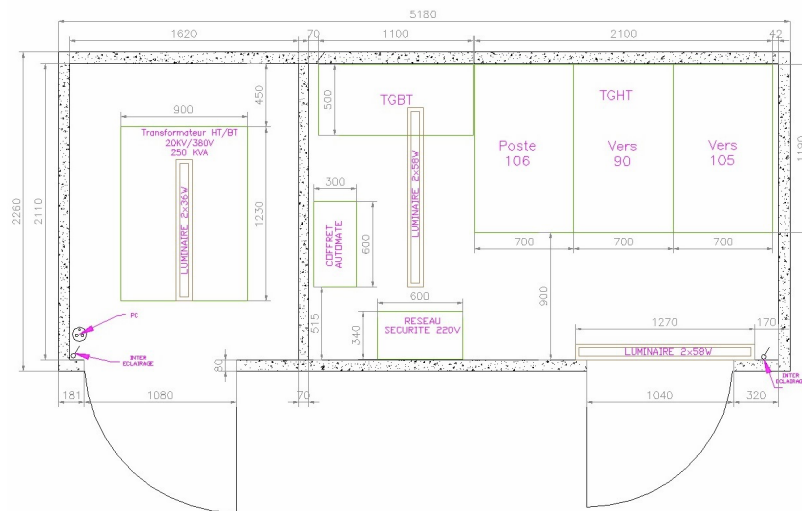


Fig. 22

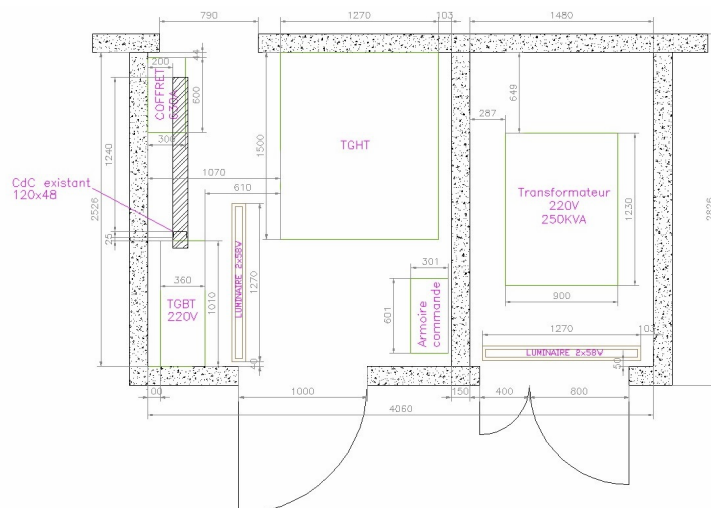


Fig. 23

Fig. 22, 23, Exemples de locaux techniques, le local de stockage de l'énergie étant toujours physiquement séparé des autres espaces.

5. PERSPECTIVES

Le développement du véhicule électrique a été à ses débuts complètement détaché des perfectionnements/avancées dans le projet, la mise en œuvre et la gestion des réseaux de distribution de l'énergie. Cependant, il apparaît aujourd'hui clairement que la voiture électrique ne peut être considérée comme un simple utilisateur passif d'énergie, et que l'essor de la mobilité électrique est de fait étroitement lié à l'intégration des équipements de recharge des VE avec les réseaux de distribution et de production décentralisée de l'énergie électrique (technologies *vehicle to grid* / *vehicle to home*).

- L'intégration et l'harmonisation des infrastructures de recharge avec les futurs *smart grid* de quartier, de secteur ou territoriales, permettra en effet le pilotage du processus de recharge afin de réduire le risque de concentration des charges aux heures de pointe (gestion des recharges rapides sur la courbe de charge aux heures de pointe), et de gérer ainsi l'impact sur le système de production électrique – contribuant de ce fait à baisser le taux des émissions de gaz à effet de serre. En vue d'une telle intégration³⁶, il s'avère essentiel de veiller à la compatibilité du déploiement des infrastructures de recharge avec l'architecture et les contraintes de gestion et de pilotage des réseaux de distribution d'électricité - particulièrement dans les zones non interconnectées (ZNI). L'exigence éventuelle d'un renforcement local du réseau de distribution électrique en fonction du bilan de ses capacités peut en effet ralentir et pénaliser financièrement le déploiement des infrastructures de recharge.

Le stationnement d'un grand nombre de véhicules électriques à un moment donné dans les infrastructures de recharge d'un territoire, a pour effet bénéfique de doter le réseau de distribution d'une capacité significative de stockage de l'énergie, les réseaux de distribution actuels ne disposant généralement pas de cette capacité, ou dans une moindre mesure.

L'existence d'une capacité de stockage de l'énergie offre au système de distribution et de production un outil efficace pour le *nivellement de la charge* (écrêtage des pointes de charge, gestion de la pointe de consommation électrique). Cette gestion active de la distribution implique de stocker l'énergie pendant les périodes de faible charge sur le système, et de la livrer pendant les périodes de forte demande. Remarquons au passage que les batteries des véhicules électriques branchées au réseau par l'intermédiaire des bornes de recharge, remplissent ces fonctions de stockage de la façon la plus

³⁶ Voir sur ces arguments, F. Cadoux, G. Gross, Ch. 8, « SmartGrids et intégration des véhicules électriques », dans J.-C. Sabonnadière, N. Hadjsaïd (dir.), *SmartGrids, Les réseaux électriques intelligents*, Traité EGEM, série Génie électrique, Paris, Hermès – Lavoisier, 2012.

économique, étant à la fois dispositif technique pour la mobilité et équipement d'appoint pour le stockage de l'énergie au sein du réseau.

Durant les périodes de forte demande, l'apport d'énergie provenant du système de stockage a pour effet de réduire ou d'effacer les pics de production ce qui permet des économies dans la gestion des installations génératrices. Grâce au nivellement de la charge on peut par exemple reporter des investissements dans des mises à niveau du réseau ou dans la mise en œuvre de nouvelles capacités de production. En outre, la disponibilité d'un système de stockage au sein du réseau de distribution facilite les opérations de régulation sur les tensions et sur la fréquence du courant.

La manière la plus simple de tirer profit du nivellement de la charge est de concentrer les recharges dans les premières heures du matin, quand la plupart des véhicules ne circulent pas, que la demande d'électricité est faible et son prix d'achat est au plus bas. Dans des systèmes plus sophistiqués, les voitures pourront gérer les cycles de recharge en fonction de la variation du prix du courant durant la journée. D'autre part, il sera possible pour les véhicules électriques de revendre l'électricité achetée du réseau pendant les heures creuses, quand le prix est au plus bas, aux moments de plus forte demande, au prix le plus haut. Les voitures hybrides rechargeables, qui possèdent un petit moteur thermique auxiliaire, pourront, quant à elles, revendre l'électricité générée à bord pendant la marche.

Dans cette perspective, a été évoqué³⁷ le scénario d'une voiture capable, durant les longues périodes de stationnement, par exemple l'arrêt du véhicule près de l'habitation pendant les congés du propriétaire, d'acheter de façon autonome le courant électrique aux heures creuses et de le revendre aux heures pleines. Cet exercice soumet toutefois les batteries à des cycles supplémentaires de charge-décharge susceptibles de les fatiguer et de raccourcir leur durée de vie. Ainsi, la perte de durée utile des batteries doit être prise en compte comme terme négatif dans le bilan financier de l'opération. Le bénéfice financier pourrait finalement s'avérer peu incitatif face à la flexibilité offerte à l'utilisateur par la disponibilité de batteries chargées et donc d'une pleine autonomie du véhicule. Quoi qu'il en soit, les recherches actuelles indiquent qu'il sera, du moins à court terme, bien plus attractif d'acheter l'énergie durant les heures creuses que de la revendre aux heures de pointe. (Ce bilan est d'autant plus favorable que le prix de l'énergie électrique devient élevé). D'autre part, l'énergie stockée dans les batteries de l'ensemble des véhicules branchés au réseau par l'intermédiaire des bornes demeure une ressource efficace et économique en vue de couvrir des augmentations instantanées de la demande.

Les applications que nous venons de décrire sommairement s'appuient sur l'échange entre le véhicule et la station de recharge par l'intermédiaire des bornes, et sur la connexion et l'échange entre la station, le réseau des stations et le réseau de distribution électrique.

³⁷ W.J. Mitchell, C.E. Borroni-Bird, L.D. Burns, *Reinventing the automobile: personal urban mobility for the 21st century*, Cambridge (Mass.), Massachusetts institute of technology, 2010, p. 117.

La communication entre le véhicule et la station s'effectue à travers le câble équipant les bornes. En l'état actuel de la technologie (norme CEI 61851), le câble reliant le véhicule à la borne en mode 3 permet le transfert d'électricité pour la recharge des batteries et la transmission de signaux entre le véhicule et la borne par le biais d'un *fil pilote*, afin d'assurer le bon déroulement de la recharge et de permettre la modulation de la puissance.

Ces signaux portent notamment sur la puissance maximale disponible à la borne que le véhicule ne doit pas dépasser, sur l'intensité maximale de courant admise, la continuité de terre (sécurité de la recharge).

Le mode 3 (courant alternatif) et les nouvelles versions du mode 4 (courant continu) rendent donc possible la modulation de la puissance maximale d'un point de recharge en réglant la valeur de livraison entre la valeur maximale de pleine puissance nominale de la borne et des valeurs inférieures. Cette modulation de la charge, qui peut être effectuée de façon dynamique en mode 3, peut se faire à partir d'une consigne provenant du véhicule ou d'une borne principale, ou à distance depuis le poste de contrôle supervisant l'équipement de recharge. Ces fonctions permettent ainsi la gestion efficace des appels de puissance et de l'énergie consommée, autrement dit la charge intelligente ou « smart charging ». Néanmoins, rappelons-le, la modulation de puissance doit être activée en assurant la transparence du service pour le client, et les données transmises par internet fourniront aux clients une information en temps réel sur les caractéristiques du service rendu par une borne.

- La généralisation des infrastructures de recharge communicantes et leur organisation en réseaux de stations ouvre la voie à l'interopérabilité complète des services, notamment à l'itinérance du service de recharge³⁸. Chaque nouvelle station inaugurée est en effet susceptible d'intégrer et d'augmenter les réseaux national et européen des infrastructures de recharge en cours de déploiement. Ainsi, un abonné auprès d'un quelconque opérateur de recharge ou de location pourra - un peu comme pour le *roaming* dans la téléphonie mobile - utiliser aisément le réseau d'un autre opérateur au fur et à mesure de ses déplacements. Parallèlement, le réseau informatique facilitera le développement et la diffusion de services annexes avancés autour de la mobilité électrique et de l'auto-partage, proposés par les futurs gestionnaires en relation avec l'évolution des usages.

L'évolution des bornes communicantes actuellement en cours (norme ISO/CEI 15118), permettra d'obtenir une capacité de communication numérique poussée entre le véhicule et la borne. Ces capacités d'échange renforceront les possibilités de gestion dynamique évoquées plus haut et

³⁸ Voir sur ces arguments, *Guide technique pour la conception et l'aménagement des infrastructures de recharge pour véhicules électriques et hybrides rechargeables*, décembre 2014, p. 23-24 ; M. Boillot, *Les distributeurs d'énergie électrique au cœur des Smart Grids, 1*, (sous la direction de N. Hadjsaïd et J.-C. Sabonnadière), London, ISTE editions, 2015.

faciliteront l'automatisation de services comme l'identification du client et le paiement, ou la diffusion de services avancés comme la localisation des places de stationnement, l'indication de leur disponibilité, la réservation des places à distance, le déverrouillage physique de la place de stationnement et recharge, l'alerte pour le temps passé en recharge. La généralisation de tels services exige : une coordination de la gestion du stationnement urbain et des services liés à la recharge des véhicules électriques (avec une intégration notamment des systèmes d'information et de gestion) ; la gestion à distance des infrastructures de stationnement et de recharge ; la mutualisation de certaines fonctions (distribution électrique, commande de recharge, paiement) en reliant les bornes de recharge avec les équipements de stationnement existants tels les horodateurs.

6. BIBLIOGRAPHIE

Pour un futur simple du véhicule électrique : Infini Drive : du bon usage d'une flotte de véhicules électriques et de ses ressources, Projet Infini drive (France), Consortium Infini Drive, Paris, Greenovia, 2014

La voiture de demain, carburants et électricité, Centre d'analyse stratégique, rapport de la mission présidée par Jean Syrota, coordinateurs Philippe Hirtzman et Dominique Auverlot, rapporteurs Étienne Beeker, Alan Bryden, Johanne Buba, et al., Paris, la Documentation française, 2011

Rapport d'information sur le véhicule électrique (E 5428), Commission des affaires européennes, présenté par G. Voisin, Assemblée nationale, Treizième législature, n° 2649, Paris, Assemblée nationale, 2010

Véhicules électriques et hybrides, enjeux technologiques et perspectives, 5^e Colloque C-VELEC, Grenoble, 25 et 26 juin 2002, Club Véhicule électrique (Saint-Martin-d'Hères, Isère), coordination Jean-Paul Yonnet, François Badin, Arcueil, INRETS, 2002

Marc Boillot, *Les distributeurs d'énergie électrique au cœur des Smart Grids, 1*, (sous la direction de Nouredine Hadjsaïd et Jean-Claude Sabonnadière), London, ISTE editions, 2015

Matthieu Glachant (dir.), Marie-Laure Thibault, Laurent Fauchaux, *Recharger les véhicules électriques et hybrides*, Paris, Presses des Mines-Transvalor, 2013

Ilja Irmscher, *Parking Structures : construction and design manual, vol. 1: planning principles, vol. 2: buildings and projects*, Berlin, DOM publishers, 2013

David A. Kirsch, *The electric vehicle and the burden of history*, New Brunswick (N.J.), Rutgers university press, 2000

William J. Mitchell, Christopher E. Borroni-Bird, Lawrence D. Burns, *Reinventing the automobile: personal urban mobility for the 21st century*, Cambridge (Mass.), Massachusetts institute of technology, 2010

Ernst Neufert, Peter Neufert, *Architects' Data*, updated by Johannes Kister, [et al.], 4th ed., Chichester (GB), Wiley-Blackwell, 2012

Antoine Picon, *Smart Cities: A Spatialised Intelligence*, AD Primers, Chichester, West Sussex, John Wiley & Sons Ltd., 2015

Jean-Claude Sabonnadière, Nouredine Hadjsaïd (dir.), *SmartGrids, Les réseaux électriques intelligents*, Traité EGEM, série Génie électrique, Paris, Hermès – Lavoisier, 2012

Roland Wolf, *Le véhicule électrique gagne le cœur de la ville*, 2^e éd., Paris-La Défense, Centre français de l'électricité, 1999

The dimensions of parking, edited by the Urban Land Institute and the National Parking Association, Washington, 2010

Eran Ben-Joseph, *Rethinking a lot: the design and culture of parking*, Cambridge (Mass.), London, MIT Press, 2012

Andres Duany, Jeff Speck, Mike Lydon, *The smart growth manual*, New York, McGraw-Hill, 2010

Simon Henley, *L'architecture du parking*, tr. V. de Bermond-Gettle, ph. S. Barr, Marseille, Éd. Parenthèses, 2007

Joachim Kleinmanns, *Parkhäuser: Architekturgeschichte einer ungeliebten Notwendigkeit*, Marburg, Jonas Verlag, 2011

Shannon Sanders McDonald, *The parking garage: design and evolution of a modern urban form*, Washington, The Urban Land Institute, 2007

Mary S. Smith, *Shared Parking*, Washington, Urban Land Institute (ULI), 2005

Martin L. Stein, *The dimensions of parking*, Washington, The Urban Land Institute (ULI), 2001

Nancy H. Stewart, *Parking Requirements for Shopping Centers: Summary Recommendations and Research Study Report*, Washington, Urban Land Institute (ULI), 2003

Mariarosa Tagliaferri, Marta Serrats, *Parking*, Paris, l'Inédite, 2007

7. ANNEXES

- A1, Réglementation et normes
- A2, Diagramme future gare RER Noisy-Champs
- A3, Diagramme future gare GPE Clichy-Montfermeil
- A4, Extraits du Guide déploiement du service Autolib' - version juillet 2015

Annexe A1 - Réglementation et normes

Réglementation française

- Sécurité concernant les parcs de stationnement annexés à des établissements recevant du public ou des immeubles de grande hauteur³⁹

Arrêté du 9 mai 2006 portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (parcs de stationnement couverts) (JORF N° 157 du 8 juillet 2006)

Modifié par arrêtés du 26 juin 2008 (JO du 8 juillet 2008), 24 septembre 2009 (JO du 23 octobre 2009).

Cahier des charges relatif à l'installation d'infrastructures de recharge pour les véhicules électriques dans les parcs de stationnement couverts recevant du public ou intégrés à un immeuble de grande hauteur (2 février 2012)

- Dimensions des emplacements et accessibilité

Loi n° 2014-789 du 10 juillet 2014 habilitant le Gouvernement à adopter des mesures législatives pour la mise en accessibilité des établissements recevant du public, des transports publics, des bâtiments d'habitation et de la voirie pour les personnes handicapées (JORF N°159 du 11 juillet 2014)

Décret n° 2006-555 du 17 mai 2006 relatif à l'accessibilité des établissements recevant du public, des installations ouvertes au public et des bâtiments d'habitation et modifiant le code de la construction et de l'habitation (JORF N°115 du 18 mai 2006)

Ce décret est partiellement abrogé par arrêts en Conseil d'État n° 295382 du 21 juillet 2009.

Décret n° 94-86 du 26 janvier 1994 relatif à l'accessibilité aux personnes handicapées des locaux d'habitation, des établissements et installations recevant du public, modifiant et complétant le code de la construction et de l'habitation et le code de l'urbanisme (JORF N° 23 du 28 janvier 1994)

Arrêté du 8 décembre 2014 fixant les dispositions prises pour l'application des articles R. 111-19-7 à R. 111-19-11 du code de la construction et de l'habitation et de l'article 14 du décret relatif à

³⁹ Nous excluons ici les arrêtés concernant la sécurité des parcs de stationnement privés annexes des bâtiments d'habitation.

l'accessibilité aux personnes handicapées des établissements recevant du public situés dans un cadre bâti et des installations existantes ouvertes au public (JORF N°288 du 13 décembre 2014)

Arrêté du 11 septembre 2007 relatif au dossier permettant de vérifier la conformité de travaux de construction, d'aménagement ou de modification d'un établissement recevant du public avec les règles d'accessibilité aux personnes handicapées (JORF N° 223 du 26 septembre 2007)

Arrêté du 1^{er} août 2006 modifié fixant les dispositions prises pour l'application des articles R.111-18 à R.111-18-7 du code de la construction et de l'habitation relatives à l'accessibilité aux personnes handicapées des bâtiments d'habitation collectifs et des maisons individuelles lors de leur construction (JORF N°195 du 24 août 2006)

Cet arrêté est partiellement abrogé (articles 11 à 15 et 22 à 27) par arrêts en Conseil d'État n°298315 du 21 juillet 2009.

Arrêté du 1^{er} août 2006 modifié fixant les dispositions prises pour l'application des articles R.111-19 à R.111-19-3 et R.111-19-6 du code de la construction et de l'habitation relatives à l'accessibilité aux personnes handicapées des établissements recevant du public et des installations ouvertes au public lors de leur construction ou de leur création (JORF N° 195 du 24 août 2006)

Circulaire du 3 janvier 2013 relative à l'accessibilité aux personnes handicapées (BO Environnement N°1 du 25 janvier 2013)

Circulaire interministérielle n° 2007-53 DGUHC du 30 novembre 2007 modifiée, relative à l'accessibilité des établissements recevant du public, des installations ouvertes au public et des bâtiments d'habitation (BO Environnement N° 23 du 25 décembre 2007)

Tous ces textes peuvent être consultés aux pages internet suivantes :

<http://www.legifrance.gouv.fr/> pour les textes français

<http://eur-lex.europa.eu> pour les textes européens

<http://www.conseil-etat.fr> pour les arrêts en Conseil d'État

Normes

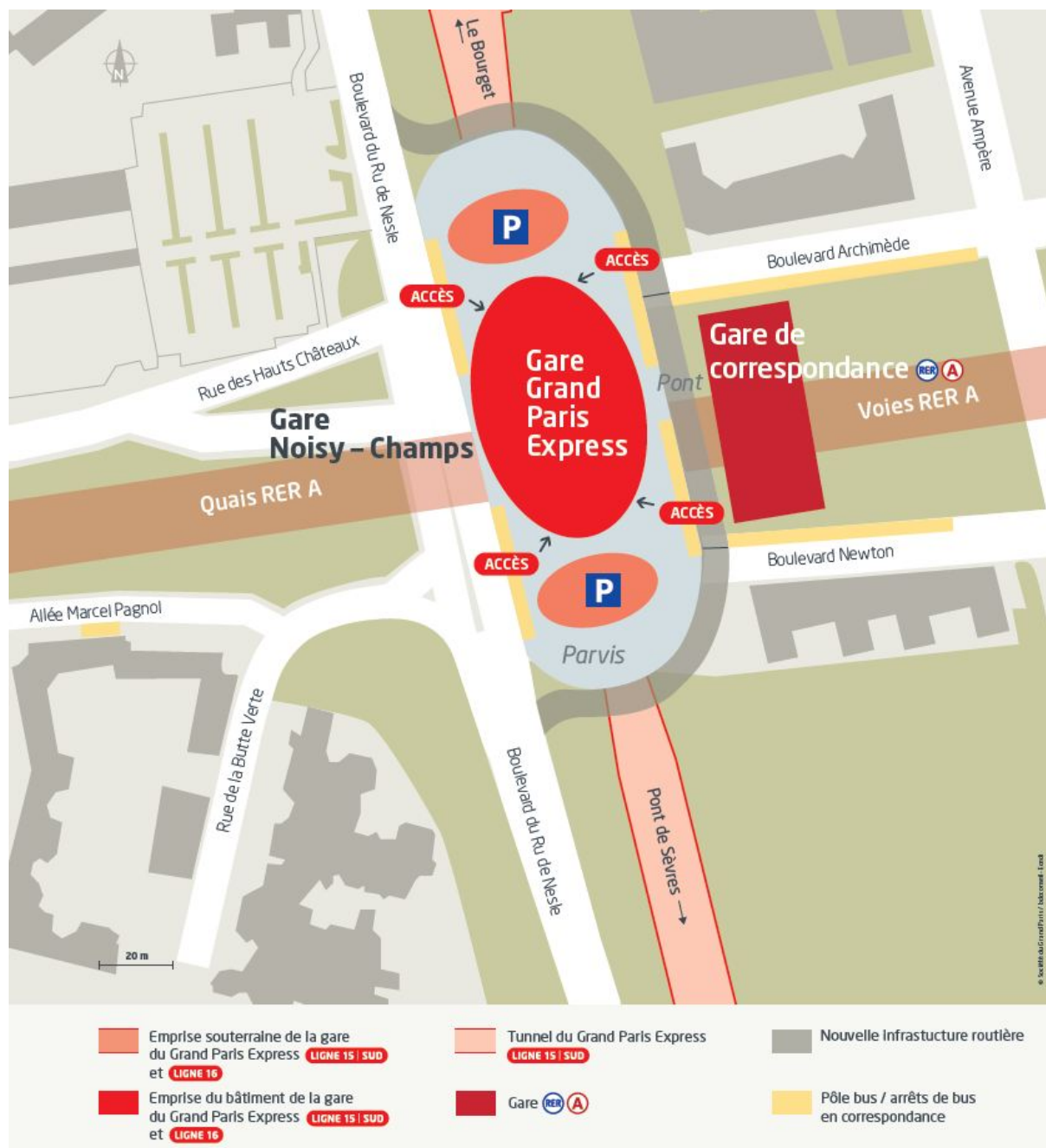
NF P91-100 (mai 1994) Parcs de stationnement accessibles au public - Règles d'aptitude à la fonction - Conception et dimensionnement⁴⁰

Ce texte peut être acheté sur le site internet de l'AFNOR : <http://www.afnor.org>

Nous excluons ici les normes concernant les parcs de stationnement à usage privatif. Parmi les publications de l'AFNOR, nous signalons enfin le recueil : « Accessibilité et dispositifs d'aide pour les personnes handicapées - Cadre bâti - ERP et bâtiments privés, collectifs ou individuels », publié en février 2011.

⁴⁰ Cette norme spécifie les règles de conception générale et de disposition géométrique des parcs de stationnement accessibles au public, pour véhicules de moins de 3,5 t et de moins de 1,90 m de haut, à rangement non automatique. Elle définit en particulier les dimensions nominales des emplacements, la hauteur libre, la largeur des voies de circulation et des rampes, la pente des planchers et des rampes, et fournit des éléments sur la stabilité et la bonne tenue des ouvrages. Elle prend en compte la flotte des véhicules circulant en Europe occidentale. Elle ne prend pas en compte les aspects d'implantation des équipements comme les bornes de péage ou de recharge, les barrières, les éclairages et leurs protections.

Annexe A2 - Diagramme de la future gare RER Noisy-Champs



Gare RER A "Noisy-Champs"

correspondances avec les lignes bus 212, 213, 310, 312, 320, N130 ;

parking proche, elle dessert la Cité Descartes et l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée ;

future gare du Grand Paris Express (2025), l'un des terminus des lignes 15 et 16, et futur terminus de la ligne 11 (prolongement est de Rosny-Bois Perrier à Noisy-Champs)

www.ratp.fr

Annexe A3 - Diagramme de la future gare GPE Clichy-Montfermeil



Gare "Clichy-Montfermeil", ligne 16 du Grand Paris Express

correspondances avec le tramway T4 et les lignes bus 100, 613, 642 ;

35 000 voyageurs fréquenteront, à terme, la gare de Clichy-Montfermeil chaque jour ;

15 000 habitants dans un rayon de 1 Km autour de la gare

projet agence *Miralles-Tagliabue* (Barcelone)

www.societedugrandparis.fr

