



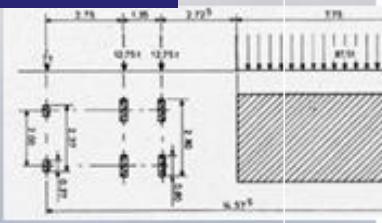
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



CONVOA v3

Analyse des conditions de passage des convois exceptionnels sur les ouvrages d'art



Le Cerema est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, présent partout en métropole et dans les Outre-mer grâce à ses 26 implantations et ses 2 400 agents. Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales pour la transition écologique, l'adaptation au changement climatique et la cohésion des territoires par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques d'aménagement et de transport.

Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche incarné notamment par son institut Carnot Clim'adapt, le Cerema agit dans 6 domaines d'activités : Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.

Site web : www.cerema.fr

CONVOA-V3

Sommaire

CONVOA-V3.....	3
1 Généralités	4
1.1 Avant-propos	4
1.1 Principe de calcul.....	4
1.2 Règlements étudiés	4
1.3 Géométrie, charges permanentes et charges d'exploitation.....	5
1.4 Les indicateurs	6
1.5 Limitations	6
1.6 CONVOA version v2 versus CONVOA version v3	6
2 Fonctionnement utilisateur	8
2.1 Interface de gestion CONVOA.....	8
2.2 Interface CHAMOA projeteur	11
2.3 Interface CONVOA projeteur	12
3 Conventions des commandes des données	17
3.1 Conventions.....	17
3.2 Conventions de description des commandes.....	18
4 Données Passages CONVOA.....	19
4.1 Données administratives.....	19
4.2 Passage de Convoi.....	20
4.3 Itinéraire d'ouvrages d'art	24
4.4 Modification des valeurs par défaut	26
5 Annexes	27
5.1 : Données des ouvrages d'art	27
5.2 : Organisation de l'outil des fichiers de calcul.....	27
6 Recommandations	30
6.1 : Bibliographie.....	30
6.2 Les différentes approches pour l'évaluation structurelle des ouvrages existants	32
6.3 Prise en compte de l'ELS et de l'ELU.....	35
6.4 Effets examinés et compléments d'études à envisager.....	37
6.5 Règles de prises en compte de règlements de charge et de matériau et coefficients de combinaison	40
6.6 Charges de chaussée.....	45
6.7 Calcul des BUSE avec CONVOA	53

1 Généralités

1.1 Avant-propos

L'outil CONVOA est destiné à préciser les possibilités de passage de convois exceptionnels selon la portance des ouvrages d'art.

Les principes de calculs sont très largement repris des développements de la version précédente "CONVOA" V2 du CEREMA de 2016 et de sa documentation.

1.1 Principe de calcul

Le calcul CONVOA V3 est basé sur le principe simple suivant (principe issu de la version 1 et de la version 2 de CONVOA développées entre 2004 et 2017):

On compare l'effet des charges d'exploitation ayant servis au dimensionnement de l'ouvrage avec l'effet des charges d'exploitation dû au passage d'un convoi dans différentes configurations (convoi dans la circulation, convoi circulant seul, avec ou sans bande neutralisé ou centré, à vitesse normale ou au pas).

A partir de la géométrie des structures des ouvrages empruntés par le convoi, on calcule l'effet enveloppe d'un ensemble de charge d'exploitation. Une série d'indicateurs permettent de s'assurer que les ouvrages franchît supportent le chargement envisagé.

Les géométries initiales diffèrent en fonction du type des ouvrages franchis, elles doivent être extraites des archives du gestionnaire de réseaux, d'un ou plusieurs logiciels encapsulant des données sur le patrimoine ou de mesure directe par les services du gestionnaire. Cette phase nécessite donc un travail préalable de recueil de données d'ouvrages d'art de la part de l'utilisateur pour implémenter les données nécessaires au calcul CONVOA.

En cas de modification du profil de chargement des ouvrages liés entre la phase de dimensionnement et celle du passage du convoi (ajout et/ou suppression d'un terre-plein central, d'une ou plusieurs voies de circulation ou encore de trottoir), la comparaison de l'effet des charges d'exploitation s'effectue en tenant compte des profils en travers différents.

A l'issu de l'analyse, différents indicateurs sont produits conformément aux situations de passages différentes (convoi dans la circulation, convoi circulant seul ou encore convoi circulant seul, centré et au pas) permettant d'autoriser ou non le passage du convoi sur l'itinéraire et sur chacun des ouvrages franchît. Le calcul de chaque indicateur inclut une analyse sous les descentes de charges, sous efforts tranchant, sous moment fléchissant et éventuellement sous moment transversal.

Enfin, on suppose l'ouvrage dans son état neuf, toute pathologie de l'ouvrage n'est pas prise en compte. Par exemple, la notation IQOA n'a aucun impact sur les calculs.

1.2 Règlements étudiés

Concernant les charges supportées par les ouvrages, le programme prend en compte les différents règlements de construction (français BAEL BPEL fascicule 61 titre 2 et Eurocode) afin d'effectuer une analyse conforme au règlement utilisé pour dimensionner l'ouvrage. Ceci implique les règlements de charges ainsi que les règlements des matériaux de construction.

Concernant le chargement pour le convoi étudié, le convoi est intégré aux enveloppes de l'Eurocode, situation de calcul actuelle.

1.3 Géométrie, charges permanentes et charges d'exploitation

NB : la version 3.05 comporte les ouvrages de type PIPO, PICF, PSIDA, PSIDP, PRAD et PRAD TDC, PPE, buse béton et buse métal

La structure complète de l'ouvrage prise en compte dans l'analyse structurelle dépend du type d'ouvrage. En effet les différents noyaux de calculs intégrés dans CONVOA comportent des spécificités liées à l'ouvrage. Les géométries seront définies dans les parties suivantes pour chaque type d'ouvrage.

En plan, le biais est pris en compte dans les limites classiques des ouvrages d'art (biais étudié entre 70 et 100 grades, possibilité d'étudier pour les portiques très larges et de biais entre 50 et 70 grades).

La justification consiste à faire la comparaison entre les effets des charges mobiles de dimensionnement et ceux de la charge du convoi : en pratique elle se fait dans CONVOA principalement entre les effets les plus sollicitant des 2 chargements (en général pour le moment fléchissant longitudinal, le moment fléchissant transversal et le tranchant longitudinal).

Les charges, autant de dimensionnement que celles liées au convoi, sont définies par l'utilisateur.

Un facteur amplificateur local de répartition transversale est pris compte pour les charges mobiles selon le type d'ouvrage :

- Répartition type Guyon (monoplaque) est introduit pour les ouvrages de types ponts dalles et cadres
- Répartition type Guyon-Millan (multi plaque en brochette) est utilisé pour les ouvrages de types ponts à poutres (PRAD, PSIBA, VIPP), l'entretoisement intermédiaire éventuel est pris en compte pour les PSIBA et VIPP
- Répartition type Courbon pour les ponts à poutres mixtes, une fissuration forfaitaire est prise en compte sur les zones appuis selon les règles simplifiées de l'Eurocode 1994-2 (c'est à dire que l'ouvrage doit respecter les règles de balancement, charge à l'utilisateur d'invalider cette hypothèse)
- Pour les ponts caissons, on étudie en plus le moment de torsion. (pas de répartition transversale).
- Pas de répartition pour les buses (Méthode de Boussinesq)

Les charges mobiles de trafic ne peuvent circuler sur l'ouvrage que si elles ont la place de circuler transversalement sur la chaussée telle que définies par l'utilisateur.

Un coefficient de majoration dynamique est également présent sur la majorité des types d'ouvrages.

Pour les ponts à tablier non encastrés sur appuis, si des appareils d'appuis sont définis dans les données des tabliers correspondant, les comparaisons des efforts locaux sont également disponibles.

Pour les buses, CONVOA se limite au calcul des pressions à la clef en appliquant la méthode de Boussinesq. Ce calcul est insuffisant pour justifier un ouvrage pour un convoi exceptionnel, mais par contre il permet de discriminer les convois qui sont trop lourds.

1.4 Les indicateurs

Un indicateur est le rapport entre l'effet maximum des charges de dimensionnement et celui de l'effet maximum des charges générées au passage du convoi sous ELS caractéristique et ELU.

On peut distinguer 3 cas de valeur de l'indicateur :

- Inférieur à 0.90 : satisfaisant
- Compris entre 0.9 et 1.00 : limite
- Supérieur à 1.00 : critique

Ainsi, un convoi ne doit pas être autorisé à circuler quand l'indicateur est supérieur à 1 et pour les cas limites la fiabilité des données saisies peut amener l'utilisateur à refuser un passage en cas d'incertitude.

Le gestionnaire reste le seul décisionnaire d'un passage d'un convoi sur son réseau.
CONVOA lui apporte uniquement des éléments de calculs pour une prise de décision.

1.5 Limitations

Les Convois exceptionnels spécifiques sont limités en tonnage à 200 tonnes.

1.6 CONVOA version v2 versus CONVOA version v3

Cette version v3 de CONVOA est inspirée de la version CONVOA v2.1 développée par le CEREMA.

D'un point de vue utilisateur, la différence est mineure sur le principe hormis l'ergonomie.

D'un point de vue informatique, la différence est majeure : elle se situe dans la portabilité, la maintenance et la pérennité des codes sources de CONVOA. Les anciennes versions sont en VB6 (langage propriétaire et obsolescent qui n'est plus maintenu par Microsoft) et quelques modules de calcul en fortran 90. La nouvelle version est en fortran 2003 pour le noyau et en openjdk pour la partie interface.

Pour la partie noyau de calcul, le noyau de calcul CHAMOA a été modifié :

- Dans convoa v2, il fallait utiliser le profil provisoire pour affecter les charges de convois à vérifier et le profil définitif pour les charges de dimensionnement.
- Dans convoa v3, les charges mobiles qui sont susceptibles d'être comparées aux autres charges mobiles au moment de l'affectation des véhicules généralisées sur les profils de chargement de l'ouvrage, sont affectés de l'attribut « CONVOA ». Comme on peut définir autant de profil de chargement que l'on souhaite, un même Véhicule Généralisé ou convoi pourra faire partie des charges de dimensionnement dans un profil sans l'attribut « CONVOA » et faire partie des charges à vérifier avec l'attribut « CONVOA » dans un ou plusieurs autres profils avec des conditions de circulation spécifiques (seul ou mélange au trafic, lent ou rapide, bande dérasée ou pas). Une enveloppe de l'effet des charges dite « CONVOA » est définie et non incluse dans l'enveloppe des charges mobiles de dimensionnement.
- Dans convoa v3, certaines données inutiles pour le calcul CONVOA ne sont plus nécessaires dans les données d'ouvrages. Une note de calcul réduite est également adaptée pour CONVOA.

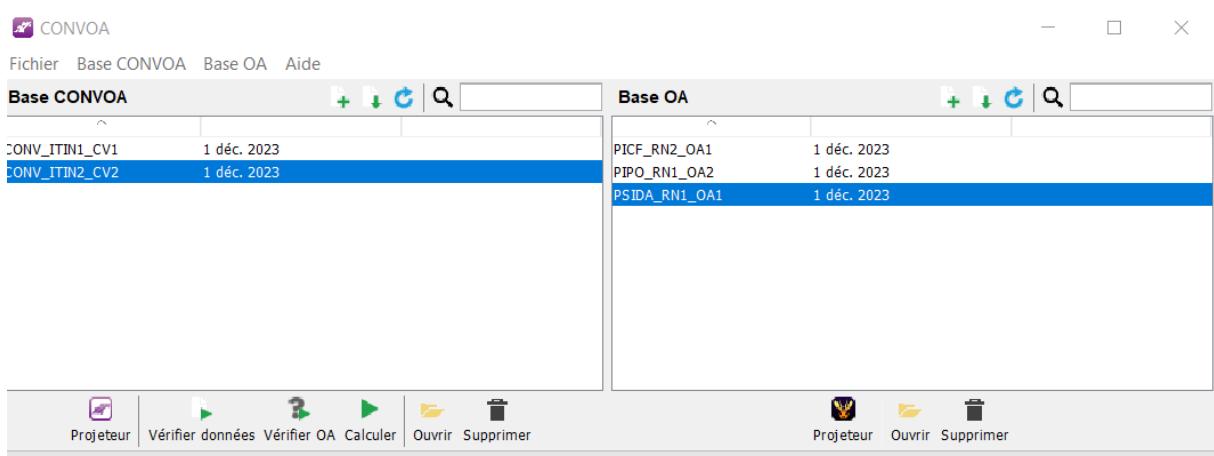
2 Fonctionnement utilisateur

L'exécutable de CONVOA est une interface de gestion des calculs d'itinéraire de convois exceptionnels.

Cette interface donne accès à 2 autres interfaces : celle de CHAMOA qui permet de saisir les données d'ouvrages d'art mais réduites aux données nécessaires à CONVOA et celle de CONVOA projeteur qui permet de spécifier le ou les convois à vérifier dans un projet CONVOA et la liste des ouvrages concernés sur l'itinéraire

2.1 Interface de gestion CONVOA

L'interface CONVOA est une interface de gestion des projets CONVOA et se présente comme sur la figure ci-dessous :



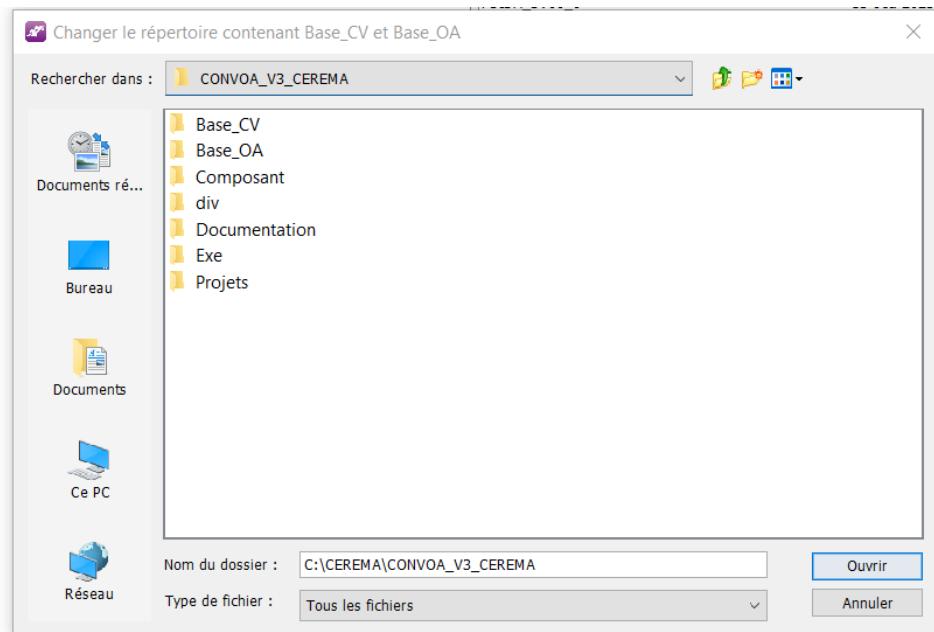
La partie gauche du gestionnaire permet de définir la liste des projets CONVOA, la partie droite permet de définir la liste des ouvrages CHAMOA.

Les boutons situés en haut permettent de créer un nouveau projet ou d'importer un projet existant pour en faire une copie et la modifier sous un autre projet. Les boutons du bas permettent d'éditer le fichier CONVOA, de vérifier la cohérence du fichier CONVOA, de vérifier que les projets CHAMOA associés sont bien présents, de faire le calcul CONVOA et enfin d'ouvrir le répertoire du projet ou de supprimer le projet.

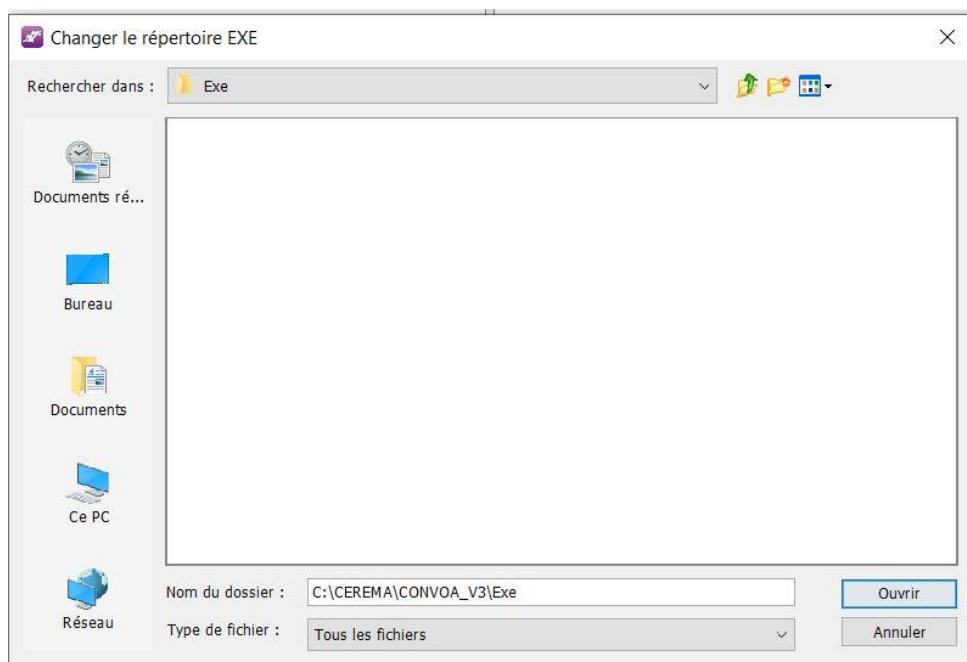
Pour créer un nouveau projet CONVOA, il est nécessaire au préalable d'implémenter la liste des ouvrages et donc de définir d'abord les fichiers de données des ouvrages CHAMOA à partir de la partie droite du gestionnaire CONVOA.

On peut spécifier un répertoire de stockage des fichiers Convoa et Chamoia autre que le répertoire par défaut, en sélectionnant « fichier » puis « changer de répertoire contenant Base_CV et Base_OA » :

Il faut dans ce cas créer au préalable un répertoire racine (par exemple CONVOA_DATA) avec 2 sous répertoires avec les noms suivants : BASE_CV et BASE_OA. Par défaut ils sont créés dans le répertoire CONVOA local, mais ce répertoire peut être situé sur un emplacement différent.

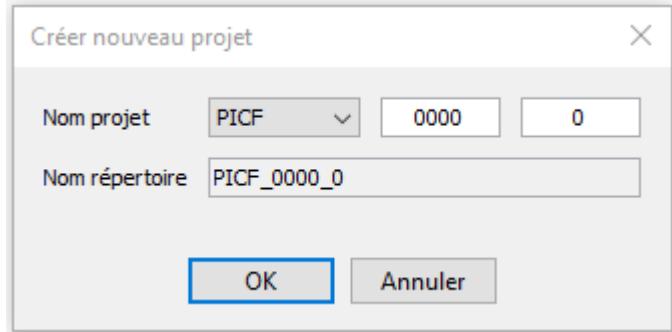


NB : Si aucun projet CONVOA n'apparaît dans l'interface à la 1ere installation, il peut être nécessaire de redéfinir le répertoire CONVOA local par cette interface pour recharger les projets exemples. Il en sera de même pour le répertoire local d'exécution.

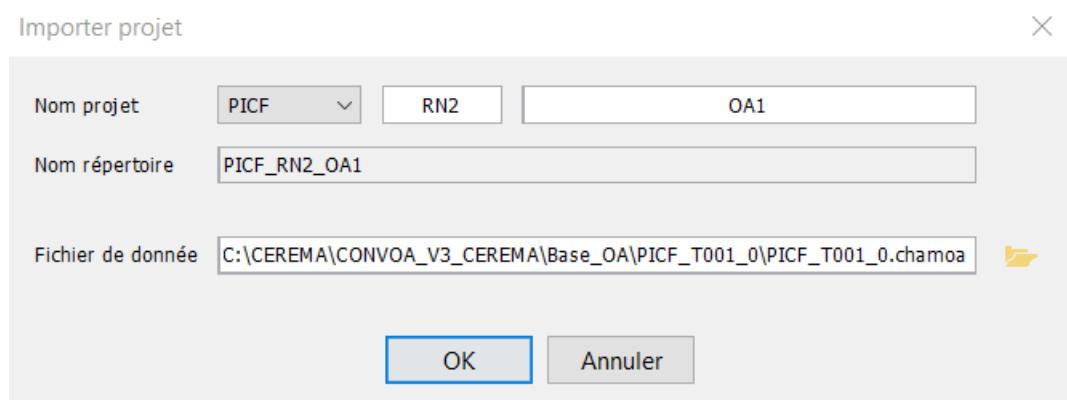


De filtres sur les noms sont présents (cadre à côté des loupes) dans le répertoire convoi ou le répertoire chamoia pour sélectionner plus facilement les ouvrages qui intéressent l'utilisateur.

On peut créer des projets chamoia pour convoia ou bien importer des projets chamoia existants



Pour les ouvrages chamoia, on conseille d'indiquer la route et l'ouvrage. La chaîne de caractère ne doit pas présenter ni de caractère d'espace ni de caractère « _ ». (ici RN2 et OA1).



2.2 Interface CHAMOA projeteur

L'interface CHAMOA permet de définir les données des ouvrages d'art lors de son dimensionnement. Les fichiers projets de ces ouvrages sont stockées dans le répertoire Base_OA via l'interface de gestion CONVOA.

On peut utiliser dans cette base des fichiers CHAMOA xml (v7 ou plus) complet avec leurs charges de dimensionnement en important les fichiers dans la base via le gestionnaire CONVOA

On peut aussi créer des ouvrages CHAMOA spécifiques à CONVOA, dans ce cas, il faut créer les nouveaux projets CHAMOA depuis l'interface CONVOA gestion, et quand on lance l'interface CHAMOA projeteur depuis CONVOA, seules les données nécessaires à CONVOA peuvent être saisis. (Par exemple, pour les PSIDP, il n'est pas nécessaire de saisir la précontrainte.)

A contrario du fonctionnement de l'interface CHAMOA classique (hors CONVOA), des données supplémentaires sont prévus dans la partie administrative de CHAMOA via CONVOA, ces données sont optionnelles, mais elles sont susceptibles d'affecter le calcul CONVOA comme :

- Le règlement matériaux utilisé à la conception
- L'année de construction
- La limitation de tonnage.
- La note IQOA (pour l'instant n'est pas utilisé)

The screenshot shows the CHAMOA Projeteur application window. On the left is a tree view of the project structure under 'PSIDA' (e.g., Administratif, Ouvrage, Géométrie, Charges permanentes, Charges variables hors trafic, Charges d'exploitation, Matériaux). The main right panel contains various configuration fields:

- Titre: PSIDA
- Commune: (empty)
- Numéro département: (empty)
- Voie franchie: (empty)
- Voie portée: (empty)
- Maître d'oeuvre: (empty)
- Maître d'ouvrage: (empty)
- Absisse PR: (empty)
- Année *: (empty)
- Règlement matériaux *: Inconnu (selected)
- Note IQOA *: Inconnue
- Limitation de charge: Non (selected)
- Charge limite (t): (empty)
- Essieu limite (t): (empty)

At the bottom are buttons: Valider, Annuler, and Supprimer.

Les données inutiles pour CONVOA n'apparaissent pas dans l'interface CHAMOA (sous réserve de bien avoir importer le projet dans la base OA via CONVOA et non de copier le fichier CHAMOA directement dans Base_OA).

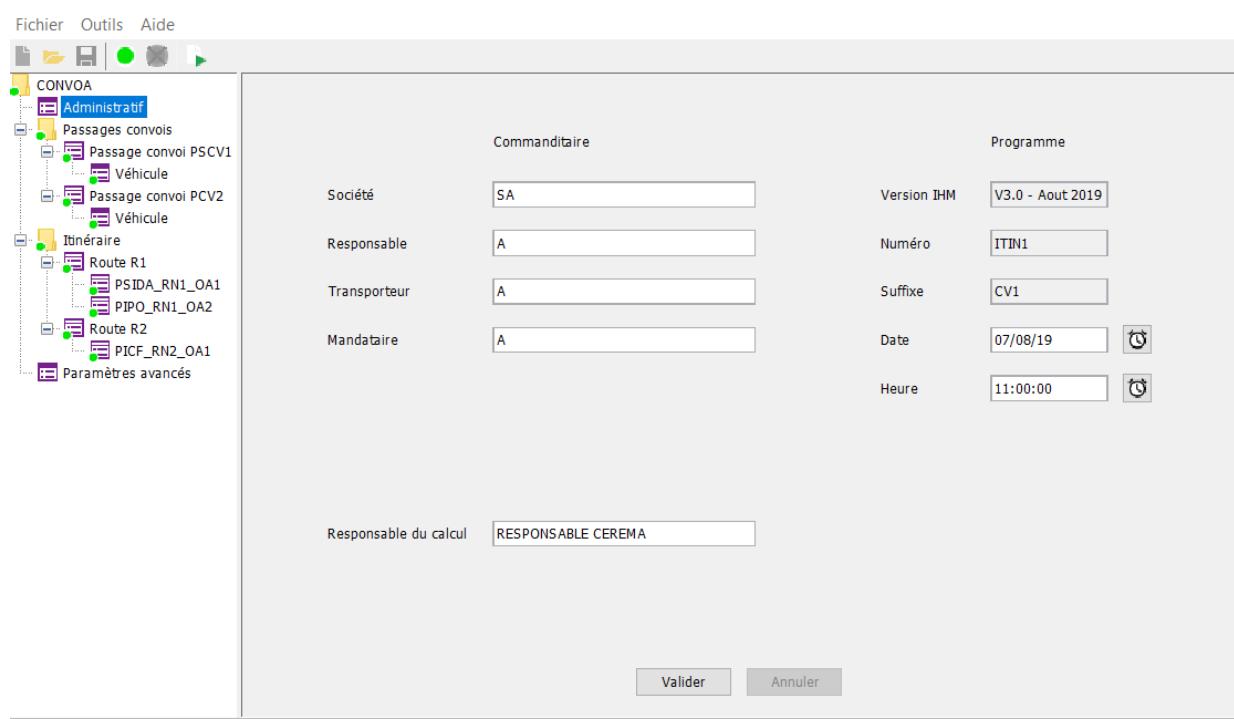
Pour les données CHAMOA, on se reportera à la documentation CHAMOA classique.

2.3 Interface CONVOA projeteur

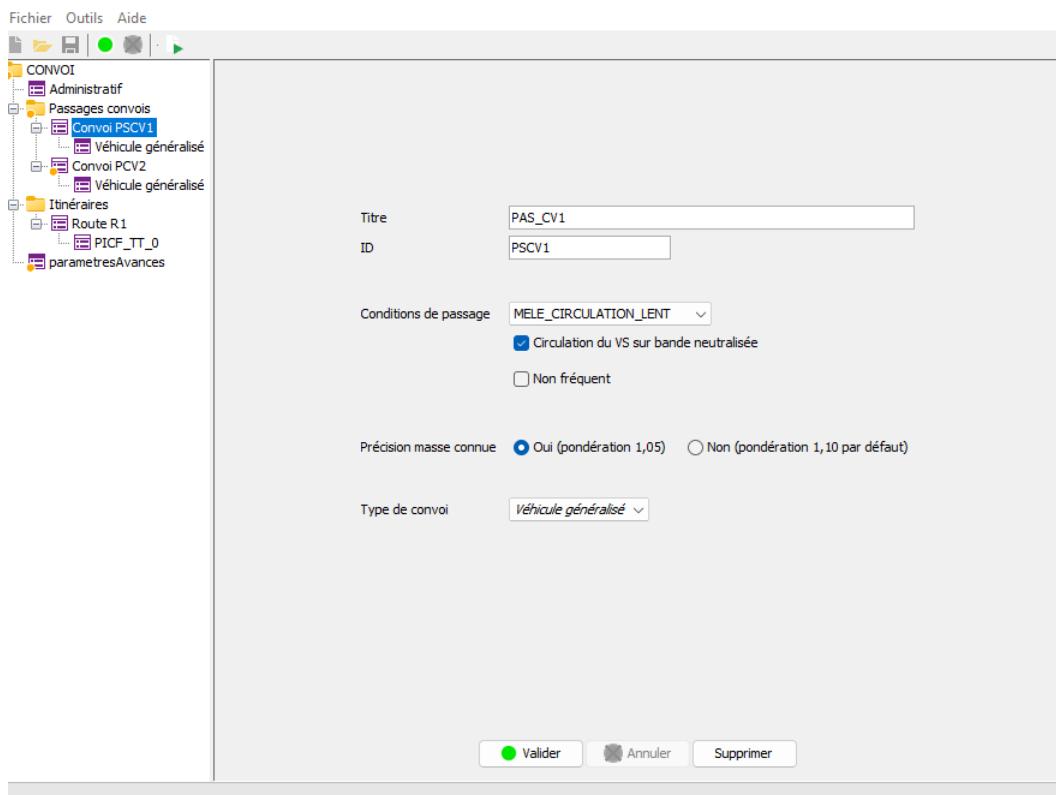
L'interface CONVOA projeteur permet de créer les projets CONVOA, c'est-à-dire de définir une liste d'itinéraire de passage de convois exceptionnel.

Ainsi, pour un projet CONVOA, on va définir le ou les convois exceptionnels à vérifier sur l'itinéraire, la liste des ouvrages concernés qui sont définis dans la liste des ouvrages présent dans la Base Oa et les conditions de passages sur chaque ouvrage de cette liste.

Ainsi pour un projet CONVOA, on a une partie administrative optionnelle :



Puis on définit les conditions de passage pour chaque véhicule à vérifier (La liste des commandes est définie dans §4 Données Passages CONVOA.).



Dans cette version, on peut définir :

- un véhicule spécifique,
- un véhicule type
- une charge du règlement Eurocode.

(Faire un clic droit sur « passage convoi » pour ajouter un convoi exceptionnel)

Attention néanmoins pour les véhicules types (Voir guide Cerema 2022 [9]), les coefficients sont dans ce cas calculés automatiquement.

La définition de la géométrie des véhicules spéciaux (convoi exceptionnel) à vérifier

NB : Le coefficient dynamique pour chaque camion est optionnel, par défaut il est calculé automatiquement, celui défini par l'utilisateur sera pris en compte dans les calculs ou le convoi circule à vitesse normale que si l'on désactive le paramètre avancé coef_dyn_auto, voir § 4.4.1

Fichier Outils Aide

Véhicule **Essieux**

CONVOI

- Passages convois
 - Passage convoi PSCV1
 - Véhicule
 - Passage convoi PCV2
 - Véhicule
- Itinéraire
 - Route R1
 - PSIDA_RN1_OA1
 - PIPO_RN1_OA2
 - Route R2
 - PICF_RN2_OA1
- Paramètres avancés

Titre CV1
ID CV_1
Majoration Dynamique 1.50

Longeur (m) 10.000
 Largeur (m) 3.000

Valider **Annuler**

Véhicule **Essieux**

Diagramme des essieux (Non Jumelés et Jumelés) avec dimensions Dx et Dy .

N°	XL	N impact	E	Poids	Dx	Dy	DT essieu	Jumelage
1	1.000	2	2.000	100.00	0.500	0.500	0.000	<input type="checkbox"/>
2	3.000	2	2.000	200.00	0.500	0.500	0.000	<input type="checkbox"/>

Simple ou brisé (DT = 0 ou non défini)

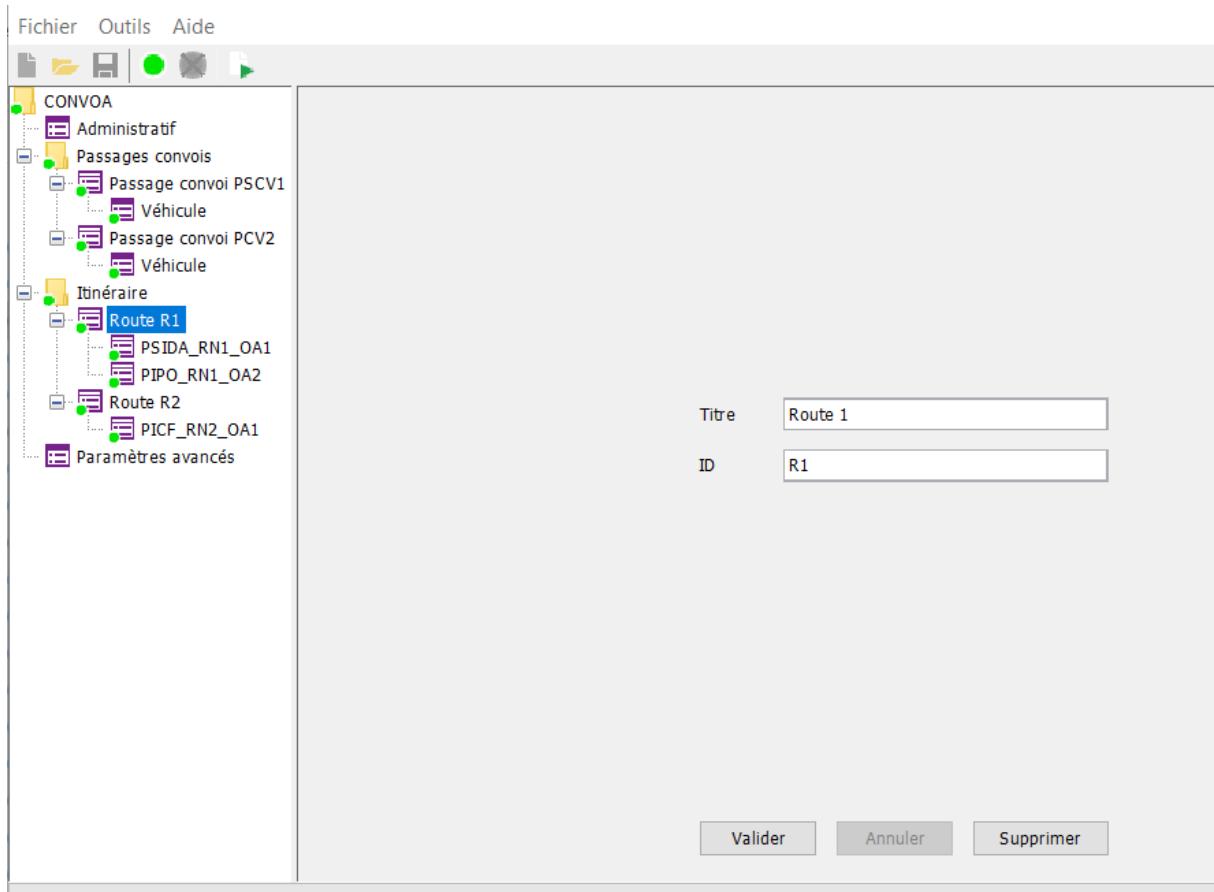
essieu traversant roues simples	essieu brisé roues simples	essieu traversant roues jumelées	essieu brisé roues jumelées
N=2	N=2	N=2	N=2

Pendulaire (DT>0)

ligne de 2 essieux pendulaires roues simples	ligne de 2 essieux pendulaires roues jumelées
N=2	N=2

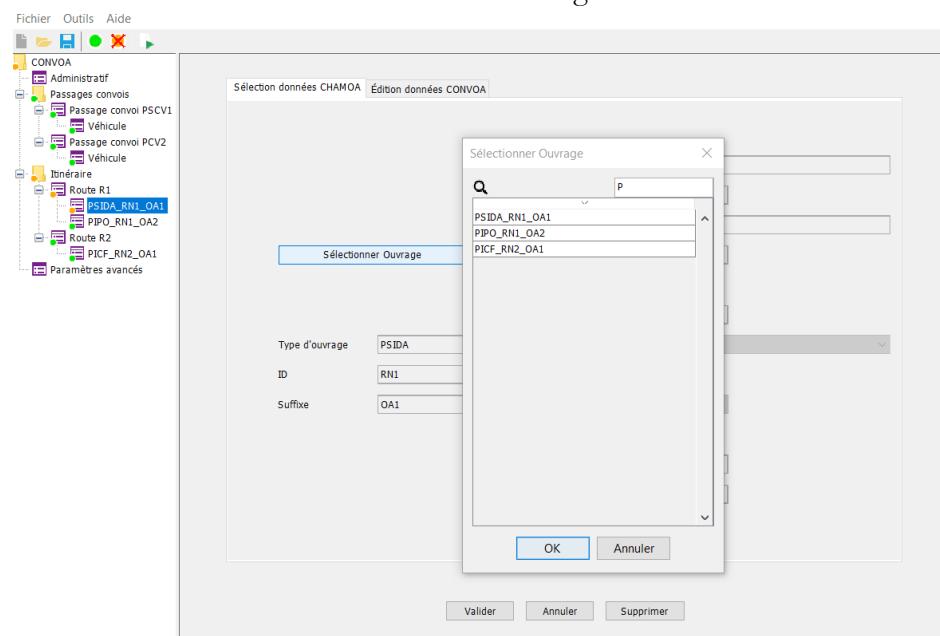
Valider **Annuler**

La définition de l'itinéraire :



Pour ajouter un ouvrage d'art sur l'itinéraire, il faut cliquer droit sur la route.

La sélection d'un ouvrage d'art :



Fichier Outils Aide

CONVOA

- Administratif
- Passages convois
 - Passage convoi PSCV1
 - Véhicule
 - Passage convoi PCV2
 - Véhicule
- Itinéraire
 - Route R1
 - PSIDA_RN1_OA1
 - PIPO_RN1_OA2
 - Route R2
 - PICF_RN2_OA1
- Paramètres avancés

Sélectionner Ouvrage

Commune

Numéro département

Voie franchie

Absisse PR

Année

Type d'ouvrage

Règlement matériaux

ID

Note IQOA

Suffixe

Limitation Oui Non

Charge limite (t)

Essieu limite (t)

Bande dérasée droite (m)

Bande dérasée gauche (m)

Valider **Annuler** **Supprimer**

La définition des bandes dérasées sur chaque ouvrage pour le convoi exceptionnel, elle sera prise en compte ou non selon les conditions de passage de chaque véhicule spécial défini précédemment.

Eventuellement on peut modifier des paramètres avancés. voir §4.4.1

Fichier Outils Aide

CONVOI

- Administratif
- Passages convois
- Itinéraires
- parametresAvances

Réinitialiser valeurs

Variables	Valeurs par défaut	Valeurs utilisateur
CALCUL_CHEVETRE	1.0	1.0
CV_DYN_AUTO	1.0	1.0
CV_EFF_QUASI_NUL	0.1	0.1
CV_NDC_DETAIL	0.0	0.0
TK_SUR_CV_ACTIF	1.0	1.0

3 Conventions des commandes des données

Les fichiers de données sont écrit au format XML

3.1 Conventions

Mots clés

Les mots clés sont des mots réservés d'une longueur maximale de 35 caractères non accentués. Ils sont insensibles à la casse (interprétés en majuscules) :

TRANS, Trans, trans

Valeurs numériques

Les valeurs numériques réelles ou entières sont représentées symboliquement dans la description des commandes par *valeur*. L'écriture est conforme à celle de la plupart des langages de programmation, mais sans distinction entre entiers et réels :

1000, 1000.00, 1.e3, 1.0D3, etc.

Listes de valeurs numériques

Les listes de valeurs numériques réelles ou entières sont représentées symboliquement dans la description des commandes par *Lst_val*. L'écriture est la suivante :

1 2 3 ou 100 200 300, etc.

Chaînes de caractères

Les chaînes de caractères sont placées entre guillemets (""). Elles peuvent contenir des caractères accentués et des apostrophes (').

Commentaires et lignes blanches

Le caractère « # » permet d'insérer des commentaires.

Séparateur

Le séparateur entre deux termes d'une même ligne est **exclusivement** le caractère blanc.

3.2 Conventions de description des commandes

On utilise les conventions suivantes pour caractériser les données :

- I entier.
- R réel.
- Ch chaîne de caractères.
- SW « commutateur » prenant une seule valeur parmi celles indiquées.
- CHM choix multiple d'un ou plusieurs mots clés à concaténer dans une liste de mots clés.

Choix entre plusieurs paramètres (commutateur)

Les paramètres dont le choix est obligatoire sont notés entre les signes < et > et sont séparés par des virgules :

PROGRAMME < CONVOA >

Lorsqu'une valeur par défaut est proposée pour un tel choix, la commande devient optionnelle et le choix par défaut est rouge (si couleur) et souligné :

(< ABSOLU, RELATIF >)

Paramètres ou valeurs optionnels

À l'intérieur d'une commande, les paramètres pouvant ne pas être définis ou pouvant recevoir une valeur par défaut sont écrits entre parenthèses :

RESPONSABLE "Responsable" (TELEPHONE "XXXX")

Lorsqu'une commande ne contient que des paramètres optionnels, elle devient elle-même optionnelle lorsque tous les paramètres prennent leurs valeurs par défaut :

COEFFICIENT (MIN *k1*) (MAX *k2*)

En outre, lorsqu'une commande n'est pas pertinente vis à vis d'un problème donné, elle peut être omise même si elle n'est pas explicitement désignée comme optionnelle. Par exemple, le mot clé TROTTOIR n'aura pas à être utilisé si l'ouvrage n'en comporte pas.

Valeurs prédéfinies ou par défaut

Le décodeur attribue systématiquement la valeur par défaut aux données non renseignées qui en possèdent une. Les conventions sont les suivantes :

- Les valeurs habituelles ou courantes (par exemple, l'épaisseur des enrobés) sont notées [x.xx].
- Les valeurs recommandées par le Cerema sont notées [x.xx].
- Les valeurs réglementaires sont notées [x.xx].

NOTE : Les unités de charges standards de ce document sont définies en kN et mètre. Sinon elles sont redéfinies localement.

Lignes « coupées »

La notation && indique des lignes uniques du fichier de commandes qui ne peuvent être décrites sur une seule ligne du présent document. Exemple :

TROTTOIR < GAUCHE, DROIT, TOUS > &&
EPAISSEUR *E_trg* (POIDS_VOL *Pv_tr*) (K_MIN *k1_tr*) (K_MAX *k2_tr*)

4 Données Passages CONVOA

Il s'agit des données de passage de convois exceptionnels sans la description des ouvrages d'Art.

4.1 Données administratives

Les données administratives sont les suivantes.

Identification du calcul

Données :

<i>Programme</i>		CONVOA
<i>"Version"</i>	Ch	Numéro de version de l'interface projeteur.
<i>"Numero"</i>	Ch	« Numéro » du calcul.
<i>("suffixe")</i>	Ch	Suffixe attaché à une note de calcul.
<i>"jj/mm/aaaa"</i>	Ch	Date de demande de calcul
<i>"hh.mm.ss"</i>	Ch	Heure de demande de calcul.

Commande finale :

```
BLOC PROGRAMME CONVOA
  (VERSION_IHM "Version")
  (CALCUL "Numero") (SUFFIXE "suffixe")
  (DATE "jj/mm/aaaa") (HEURE "hh.mm.ss")
FIN
```

Identification du responsable de la demande de passage.

Données :

<i>"Responsable"</i>	Ch	Personne responsable de la demande.
<i>"Transporteur"</i>	Ch	Nom du transporteur
<i>"Mandataire"</i>	Ch	Nom du mandataire de la demande de passage

Commande finale :

```
BLOC COMMANDITAIRE
  (RESPONSABLE      "Responsable")
  (TRANSPORTEUR    "Transporteur")
  (MANDATAIRE      "Mandataire" )
FIN
```

4.2 Passage de Convoi

Les conditions de passage du convoi sont stipulées via cette commande.

On peut définir plusieurs passages convois, sachant que chaque passage convoi est associé à un seul convoi exceptionnel.

4.2.1 Passage de Convoi

Identification de la demande de passage de convoi exceptionnel

Données :

ID_Convoi	Iw	Numéro externe du convoi
« Identifiant »	Ch	Identifiant de la demande de passage de convoi
« Titre »	Ch	Titre de la demande
Condition_passage	Sw	4 possibilités de conditions de passages : <MELE_CIRCULATION_RAPIDE, MELE_CIRCULATION_LENT, SEUL_VITESSE_NORMALE, SEUL_AU_PAS >
CENTRE	L	<OUI, NON> Le centrement du convoi crée un débattement de +/-0.30m/axe routier si le convoi fait 250t ou plus et +/-0.50m s'il fait moins de 250 t. (Rappel : la version distribuée limite le tonnage à 200t) La commande CENTRE de la charge sur la chaussée est incompatible avec la commande VS_SUR_BANDE_NEUTRALISE_PROFIL_DEF . <OUI, NON> Le convoi à vérifier VS roule sur les bandes dérasées du profil définitif (il faut définir des bandes dérasées pour chaque ouvrage dans la partie ouvrage d'art §4.3.2). Par défaut le Vs circule sur toute la largeur de l'ouvrage. NB : La commande VS_SUR_BANDE_NEUTRALISE_PROFIL_DEF de la charge sur la chaussée est incompatible avec la commande CENTRE .
VS_SUR_BANDE_NEUTRALISE_PROFIL_DEF	L	<OUI, NON> Faux, par défaut : les convois sont donc supposés fréquents par défaut. C'est-à-dire que leur fréquence de passage n'est pas exceptionnelle (plus d'une fois tous les 2 ans) ou n'est pas connu.
NON_FREQUENT	L	<OUI, NON>
Précision	SW	<OUI, NON> La précision de la masse d'un convoi spécifique est connue ou non : ce choix a une incidence sur la prise en compte de la valeur caractéristique du convoi : les masses sont majorées de 10% si la valeur précise est inconnue ou de 5% si elle est connue. Ce coefficient permet de tenir compte d'une part de l'incertitude sur les masses et sur leur répartition sur les roues.

Commande finale :

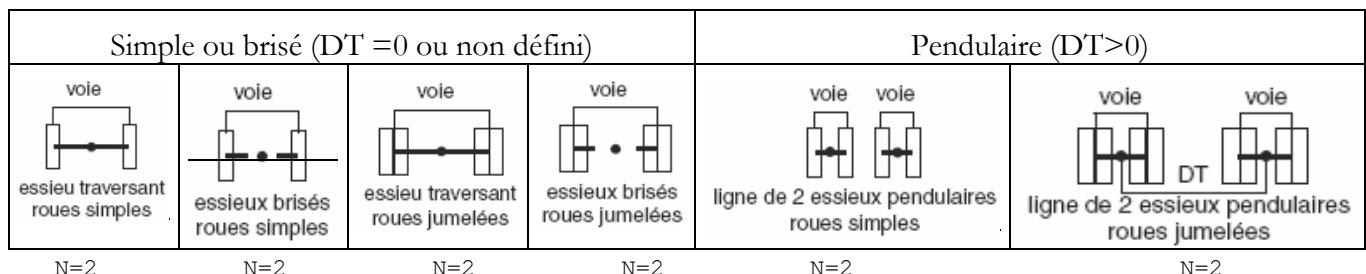
```
BLOC PASSAGE_CONVOA
  CONVOI      " ID_Convoi "
  (IDENTIFIANT  "Identifiant")
  (TITRE       "Titre")
  CONDITION_PASSAGE
    <MELE_CIRCULATION_RAPIDE, MELE_CIRCULATION_LENT, SEUL_VITESSE_NORMALE, SEUL_AU_PAS >
    (CENTRE <OUI, NON>
     VS_SUR_BANDE_NEUTRALISE_PROFIL_DEF <OUI, NON>
     (NON_FREQUENT <OUI, NON>
      (PRECISION_MASSE <OUI, NON>
      FIN
```

4.2.2 Convoi spécifique

Identification des caractéristiques du convoi spécifique

Données :

"ID_Convoi"	I	Identifiant du convoi
"Lib_Convoi"	Ch	Titre du convoi
"long"	R	Longueur du convoi (m)
"Larg"	R	Largeur du convoi (m)
(dyn)	R (n)	Coefficient de majoration dynamique <u>[1.00]</u> .
"xli"	R (N)	Position de l'axe des essieux par rapport à l'avant du convoi(m)
"Mi"	R (N)	Masse de l'essieu(i) (t)*
"Pi"	R (N)	Poids de l'essieu(i) (kN)*
(DT)	R (n)	Largeur DT pour essieux pendulaires : Distance transversal entre axes des essieux (Optionnel, ne peut être défini que si N > 1) Par défaut <u>[0]</u> (essieu non pendulaire) Si DT>0, un seul pendule et un seul écartement DT
(N)	R (n)	Nombre d'impacts (composé d'une ou plusieurs roues) pour l'essieu si DT=0 ou pour le demi essieu si DT>0 (par défaut [1]). 2 situations (voir schéma ci-dessous): Roues simples/brisées (DT=0) ou Roues pendulaires (DT>0)
(D)	R (n)	Seulement si N > 1 : Distance transversal entre axes des impacts : Si DT=0 (Essieux Traversant et Brisés) : D= largeur « voie » au sens Cerfa (voir schéma). Si DT>0 (Système pendulaire) : écartement des impacts d'un demi essieu
(Jumelé)	L (n)	Jumelage des roues <OUI/ <u>NON</u> >
"dxi"	R (N)	Longueur longitudinale d'un impact pour l'essieu(i) (m)
"dyi"	R (N)	Longueur transversale d'une roue non jumelée pour l'essieu(i) (m),



Commande finale :

BLOC CONVOI

```

IDENTIFIANT      ID_convoi
(TITRE           "Lib_convoi")
LONGUEUR         Long
LARGEUR          Larg
(MAJORATION_DYNAMIQUE dyn)

```

```

ESSIEU_XL xli < MASSE Mi, POIDS Pi > (N_IMPACT n) (E_IMPACT D) (DT_ESSIEU DT) (JUMELAGE
<OUI/NON>) (IMPACT_LONG dxi) (IMPACT_TRANS dyi)
...
```

FIN

Commentaires :

- (*) Les convois de plus de 200t ne sont pas autorisés dans la version commerciale

- Le coefficient de majoration dynamique défini par l'utilisateur dans cette commande est pris en compte que si le calcul automatique est désactivé dans les paramètres avancés (CV_DYN_AUTO=0, voir §4.4.1). Sinon, c'est un calcul automatique qui est pris en compte selon les règles Eurocode et uniquement lorsque l'effet dynamique doit être pris en compte dans les conditions de passage (cas du convoi à vitesse normale).

4.2.3 Convoi TYPE

On peut alternativement spécifier un convoi type depuis la liste des convois spécifiés

Identification des caractéristiques du convoi type

Données :

"ID_Convoi" ¹ Identifiant du convoi type dans la liste suivante
! les convois C, D et E du règlement français
CV_C1 / CV_C2
CV_D2F1 / CV_D3F1 /CV_D3F2 (*)
CV_E2F1 / CV_E3F1 /CV_E3F2 (*)
! les convois du texte européens
VS_01 /VS_02 /VS_03 /VS_04 /VS_05
VS_06 /VS_07 /VS_08 /VS_09 /VS_10
VS_11 /VS_12 /VS_13 /VS_14 /VS_15
VS_16 /VS_17 (*)
! Les convois du guide sur les transports exceptionnels du Cerema de 2022 [9]
(Les grues)
48T_GRUE / 72T_GRUE / 94T_GRUE /108T_GRUE
(Ouvrages neufs)
72T_OAN / 94T_OAN /120T_OAN
(Ouvrages existants)
72T_OAE / 94T_OAE / 120T_OAE
! Porte engin blindé
PEB_LECLERC

Dans ce cas, les coefficients sont calculés automatiquement. Seul le positionnement sur la chaussée, la vitesse et la fréquence sont contrôlable par l'utilisateur.

Pour mémoire, on rappelle que les convois de plus de 200t (D et E) sont généralement à appliquer seul (sans trafic concomitant), au pas et centré.

Commentaires :

- (*) Les convois de plus de 200t ne sont pas permis dans la version commerciale

4.2.4 Autres charges réglementaires

On peut spécifier d'autres charges réglementaires types.

Caractéristiques des charges réglementaires

Données :

"Classe" Classe de charge de trafic Eurocode (Par défaut 2)
"Charges chaussee" ¹ Identifiant du convoi type dans la liste suivante
! les charges du règlement Eurocode
LM1, LM2, LM4
! les charges militaires
MC80, ME80, MC120, ME120
! les charges chantiers
CHANTIER_23M3, CHANTIER_34M3
"Charges trottoirs" ¹ Identifiant du convoi type dans la liste suivante

! les charges du règlement Eurocode
Charge_uniforme_trottoir
Charge_passerelle_pieton

Pour mémoire :

- Les charges de trafic LM1, LM2 ne sont pas soumises aux bandes dérasées sur la chaussée.
- La charge de foule LM4 prend en compte les bandes dérasées sur la chaussée.
- Les charges militaires sont supposées circuler à vitesse normale sans trafic d'accompagnement. Les bandes dérasées sur la chaussée sont prises en compte en flexion longitudinale.
- Les engins de chantiers 23M3 et 34M3 prennent en compte les bandes dérasées sur la chaussée. Le coefficient dynamique est pris en compte implicitement.
- Les charges de trottoirs prennent en compte bandes dérasées sur trottoir.
- Les charges de passerelles prennent en compte bandes dérasées sur trottoir. Aucune autre charge réglementaire ne peut être appliquée en même temps.

4.3 Itinéraire d'ouvrages d'art

Un itinéraire est composé d'une ou plusieurs routes. On ne peut définir qu'un seul itinéraire d'ouvrages.

Identification de l'itinéraire du convoi

Données :

"ID_Itineraire"	Ch	Identifiant de l'itinéraire
"Lib_Itineraire"	Ch	Libellé de l'itinéraire
"ID_Ri"	Ch (N)	Identifiants de la route

Commande finale :

```
BLOC ITINERAIRE_OA
  IDENTIFIANT "ID_Itineraire"
  (TITRE "Lib_Itineraire")
  ROUTE "ID_Ri"
  ...
FIN
```

4.3.1 Route

Une route est composée d'un ou plusieurs ouvrages d'art

Identification de la route

Données :

"ID_RI"	Ch	Identifiant de la route
"Lib_Route"	Ch	Libellé de la route
"ID_OA"	Ch (N)	Identifiant d'ouvrages d'art

Commande finale :

```
BLOC ROUTE
  ID_ROUTE      " ID_RI"
  (LIBELLE      "Lib_Route")
  OA           "ID_OA"
  ...
FIN
```

4.3.2 Ouvrage d'art sur la route du convoi

Un ouvrage d'art est identifié par :

Identification de l'ouvrage d'art

Données :

"Typ_Ouvrage"	SW	<"PICF", "PIPO", "PSIDA", "PSIDP", "PRAD", "PPE", "BUSE_B", "BUSE_M">
"ID_OA"	ch	Identifiant de l'ouvrage d'art [XXX] par ex 0001 ou ITINIRAIRe1
"Suffixe_OA"	ch	Suffixe à l'identifiant de l'ouvrage d'art [YYY] (0 par défaut) par
<i>Bdd</i>	R	Bandé dérasée droite sur la chaussée (zone non circulée par le VS)
<i>Bdg</i>	R	Bandé dérasée gauche sur la chaussée (zone non circulée par le VS)

Commande :

```
BLOC OA_CONVOA
  IDENTIFIANT
  SUFFIXE
  OA_TYPE
  (BDD
  (BDG
  FIN
```

```
  Typ_Ouvrage
  ID_OA
  Suffixe_OA
  Typ_Ouvrage
  Bdd )
  Bdg )
```

Commentaires :

- **Les ouvrages définis ici font référence aux noms des projets chamoA défini par ailleurs pour CONVOA.** Il est donc indispensable de définir au préalable les projets CHAMOA pour CONVOA.
- Pour les projets CHAMOA, on se refera à la documentation CHAMOA non redéfini dans CONVOA. On rappelle que seules les données géométriques, le profil en travers, les matériaux (calcul du module et des poids volumiques), le ou les profils de chargement, les charges de dimensionnement sont nécessaires. Eventuellement les superstructures et les actions thermiques peuvent être pris en compte.
- A noter que l'on peut importer un projet CHAMOA dans CONVOA. Le projet CHAMOA pour CONVOA est un projet dégénéré d'un fichier CHAMOA complet. **L'interface CHAMOA lancé depuis CONVOA se limite aux données nécessaires à l'outil CONVOA et donc certaines données inutiles pour CONVOA sont supprimées du fichier CHAMOA dans CONVOA.**
- A noter qu'à partir de l'interface projeteur de CONVOA, on peut sélectionner directement les ouvrages CHAMOA déjà définis.

Commentaires :

- Les bandes dérasées définies ici seront prises en compte ou non selon les conditions de passage définie précédemment

4.4 Modification des valeurs par défaut

4.4.1 Paramètres avancés

Données complémentaires en utilisation extra-réglementaire :

Cette partie permet de modifier des paramètres avancés.

```
BLOC MODIFICATIONS_DEFAUT
  CV_DYN_AUTO          <1, 0>  # [1] 1 : oui, 0 : non
  CV_EFF_QUASI_NUL    <0.2>  # [0.2] (valeur comprise entre 0.0 et 1.0)
  TK_SUR_CV_SEUL      <1,.0> # [1] 1 : oui, 0 : non
  CV_NDC_DETAIL        <1, 0>  # [0] 1 : oui, 0 : non
  CALCUL_CHEVETRE     <1, 0>  # [1] 1 : oui, 0 : non
FIN
```

Commentaires :

- **CV_DYN_AUTO** : calcul automatique des coefficients dynamiques des véhicules spéciaux de Convoa (ne concerne pas les véhicules spéciaux non défini dans Convoa), sinon on prend en compte la valeur définie pour chaque véhicule spécial Convoa.
- **CV_EFF_QUASI_NUL** : ratio des efforts non pris en compte dans la flexion (longitudinale pour tous les points d'études et transversale à mi travée) par rapport aux efforts maximaux (moment et tranchant selon l'état limite). Avec 0 toutes les valeurs sont prises en compte, avec 0.2 seulement les valeurs supérieures à 20% des valeurs maximales dans toutes la structure sont prises en compte, ce qui permet de filtrer par exemple les zones d'efforts quasi-nuls, où les écarts ne sont pas forcément significatifs.
Voir les fichiers résultats par ouvrage ****_NDC_CV1.txt** dans le sous répertoire du projet **CONV_****/Resu_OA/** : ce fichier fournit les résultats filtrés pour l'ensemble des sections retenues. Un indicateur de 0 est retenu pour les sections filtrées. Ce fichier permet donc de savoir quelle section est critique (là où les coefficients sont non nuls).
- **TK_SUR_CV_SEUL** l'effet thermique est cumulé à l'effet des charges mobiles à vérifier dans les cas utiles (Ponts Précontraints construits avant une certaine date et/ou selon le règlement en particulier qui ne prenait pas en compte l'effet thermique) (1 : oui par défaut). NB : Pour être effectivement pris en compte, il faut au préalable avoir défini des effets thermiques dans les fichiers CHAMOA. Pour les ouvrages hyperstatiques, cet effet est quasiment impossible à respecter.
- **CV_NDC_DETAIL** la synthèse des calculs donne plus de détails en cas de dépassements sans se référer à la note détaillée section par section (NDC1).
- **CALCUL_CHEVETRE** permet de désactiver le calcul des appareils d'appuis et des efforts dans le chevêtre (Module 7), pour se contenter de l'analyse globale, ce qui réduit aussi considérablement les temps de calcul, de plus il s'agit de calculs locaux et non globaux non forcément nécessaires. C'est utile pour faire des analyses simplifiées plus rapides.

5 Annexes

5.1 : Données des ouvrages d'art

Ce reporter à la documentation CHAMOA_P disponible sur internet (site Cerema).

Les données sont limitées aux données nécessaires aux calculs convoa :

- **le profil en travers**
- **la géométrie de l'ouvrage**
- **les caractéristiques principales des matériaux y compris du sol le cas échéant** (pour le calcul des modules et des poids volumiques)
- **les charges de trafic d'origine**
- **leur affection sur le profil en travers de chargement réduit si nécessaire**

Eventuellement, on peut aussi définir les superstructures (calcul des coefficients dynamiques dans certains règlements) et les actions thermiques (calcul des ouvrages Béton Précontraint selon la date de l'ouvrage)

5.2 : Organisation de l'outil des fichiers de calcul

Ce paragraphe décrit le fonctionnement sans l'interface de saisie des données CONVOA.

5.2.1 Arborescence des répertoires

Le fonctionnement suggère une organisation des répertoires telle que décrite ci-dessous :

CONVOA\

Base_CV\

(Répertoire des fichiers et répertoires CONVOA hors chamoia ; peut être situé ailleurs que dans CONVOA)

A_Liste_CV.txt

CONV_XXXX_Y\

CONV_XXXX_Y.convoa (dit « fichier CONVOA »)

CONV_XXXX_Y.log

CONV_XXXX_Y_NDC.ndc (fichier de résultats chamoia au format txt)

CONV_XXXX_Y_NDC.html (fichier de résultats chamoia au format html)

Fichier_echanges\

CONV_XXXX_Y.convoa

CONV_XXXX_Y_RAP.txt

CONV_XXXX_Y_OA_CTRL.txt :

(Existence des ouvrages suite à l'appel avec EXIST_OA ou appel complet)

Module_Sortie\

CONV_XXXX_Y_CV_NDC.txt

CONV_XXXX_Y_CV_ERR.txt

Resu_OA\

Répertoire où sont copiés les résultats des calculs d'ouvrages calculs par chamoia

CONV_XXXX_Y_OA_CTRL_RESU.txt (fichier de contrôle de l'existence des ouvrages)

OA_YYYY_Z\

OA_YYYY_Z_M2_NDC_CV.txt

OA_YYYY_Z_M2_NDC_CV1.txt

OA_YYYY_Z_ERR.txt

...

Base_OA\

(Répertoire des fichiers de données d'ouvrages chamo avec leur charge de dimensionnement seule,
ce répertoire doit être situé à côté de Base_CV)

TYPOA_YYYY_0\TYPOA_YYYY_0.chamoa (dit « fichier CHAMOA »)

...

(ex TYP_OA: PIPO, PICF, PSIDA, PSIDP, PPE, PRAD, PRAD_TDC, ...)

Exe\

CONVOA.exe

Répertoires temporaires de calculs par type d'ouvrage :

Projets/

TYP_OA_WWWWW_Z/

Le répertoire "CONVOA" peut être placé n'importe où. Il est recommandé de le mettre sur C:\CEREMA ou bien dans un dossier du disque contenant les programmes, toujours **accessible en lecture, écriture et modification.**

NB : Base CV et Base OA doivent être 2 sous répertoires de 1^{er} niveau dans un même répertoire commun CONVOA_BASE (Par défaut CONVOA_BASE est le répertoire CONVOA).

CONVOA peut être installé en local, puis on peut définir un autre répertoire CONVOA_BASE à un autre emplacement dans lequel on peut créer 2 sous répertoires Base_OA et Base_CV pour créer et stocker les projets convoa.

Attention, il est déconseillé de faire les calculs sur le réseau directement car les temps d'accès peuvent être trop long par rapport à la vitesse de calcul et la création, lecture et ouverture, fermeture de fichiers. Il vaut mieux faire les calculs en local puis faire une synchronisation des répertoires de Base_OA et Base_CV entre un répertoire CONVOA_BASE_L local et CONVOA_BASE_R distant avec un outil de synchronisation en différé.

L'enchaînement des actions de CONVOA est le suivant :

- Rappel des données CONVOA
- Vérification de l'existence des fichiers d'ouvrages référence CHAMOA dans le répertoire BASE_OA

Pour chaque ouvrage :

- Création du répertoire CHAMOA dans le répertoire Projet et copie du fichier CHAMOA de BASE_OA vers Projets
- Création des Véhicules Généralisés défini à partir le fichier CONVOA dans le fichier Chamo
- Affectation du Profil de Chargement dans le fichier Chamo d'après les consignes du fichier CONVOA
- Appel du module de calcul d'effort CHAMOA adapté pour CONVOA :
 - Nettoyage du répertoire chamo
 - Calcul d'efforts chamo
 - Edition d'une note de calcul CHAMOA pour CONVOA
- Copie des NDC CHAMOA dans le projet CONVOA dans le sous répertoire Resu_OA
- Création de la note de calcul finale

L'interface Convoa fait appel à l'interface Chamo pour la saisie des données d'ouvrages avec leur charge de dimensionnement à stocker dans Base_OA

5.2.2 Fichiers intermédiaires

Les fichiers intermédiaires sont les fichiers générés par les autres noyaux de calcul et sont différents pour les différents types d'ouvrages. Ils sont disponibles dans le sous répertoire « Resu_OA » d'un projet CONVOA. Ils comprennent les fichiers d'indicateurs détaillés et les efforts associés (fichiers suffixés « **_NDC_CV** »).

Le fichier suffixé « **_NDC_CV1** » situé dans le répertoire « Resu_OA » permet d'avoir les *indicateurs détaillées filtrés et les efforts pour toutes les sections calculées pour chaque ouvrage d'art et l'ensemble des convois exceptionnels*.

NB : les fichiers dans le répertoire « projet » sont temporaires et sont écrasés si vous exécutez plusieurs calculs sur un même ouvrage, vous ne devez donc pas vous fier à ce répertoire sauf si vous ne faites qu'un seul calcul pour cet ouvrage

5.2.3 Fichiers finaux

Le fichier suffixé « **_CV_NDC** » situé dans le répertoire « Module_sortie » du projet convoa permet d'avoir la synthèse des indicateurs pour l'ensemble des ouvrages d'art et l'ensemble des Convois exceptionnels.

La note de calcul est également éditabile directement via le fichier hmtl suffixé « **_NDC** » situé à la racine du projet CONVOA ou du fichier texte **_NDC.ndc**.

NB : Pour le fichier texte **_NDC.ndc**, si vous souhaitez l'ouvrir avec un éditeur de type Word ou Libreoffice, il faut passer la police à la taille de 6, pour l'ensemble du document pour avoir une mise en page lisible. Vous pourrez ainsi l'enregistrer sous format docx ou odt par exemple.

6 Recommandations

6.1 : Bibliographie

6.1.1 Convois exceptionnels

Le corpus relatif aux convois exceptionnels est principalement composé des documents suivants qui sont complémentaires et forment un ensemble cohérent.

Le "Code de la route" qui donne la définition d'un transport exceptionnel ;

- [1] L'arrêté du 4 mai 2006 "relatif aux transports exceptionnels de marchandises, d'engins ou de véhicules et ensembles de véhicules comportant plus d'une remorque" (modifié les 4 septembre 2007, 25 février 2011, 4 avril 2011, 8 août 2011, 28 avril 2012 et 25 juin 2013), qui définit des catégories des transports exceptionnels et donne des limites dues à la résistance des chaussées et/ou à la performance des ouvrages d'art ;
- [2] Eurocodes 0 (NF EN 1990/A1 de juillet 2006) et Annexe nationale de l'Eurocode 0 (NF EN 1990/A1/NA de décembre 2007)
- [3] Eurocodes 1-2 (NF EN 1991-2 de mars 2004) et son annexe nationale (NF EN 1991-2/NA de mars 2008)
- [4] Guide annexé à l'annexe nationale de l'Eurocodes 1-2 intitulé "Guide pour la prise en compte des véhicules spéciaux sur les ponts routiers" qui propose des règles de calculs fonction des conditions de circulation retenues pour les ouvrages neufs (trafic routier concomitant, vitesse, etc.) ; Biblio_Guide_EC12
- [5] Le document "Transports exceptionnels – définition des convois-types et règles pour la vérification des ouvrages" (Sétra : octobre 1982) joint à la lettre-circulaire R/EG.3 du 20 juillet 1983, qui définit des convois types et donne des indications pour l'évaluation structurelle des ouvrages existants. (Document en cours de refonte : Cf. [9])

A ces documents, il convient d'ajouter :

- [6] le "Guide d'application des Eurocodes 0 et 1 au calcul des ponts routiers et des passerelles en France" qui donne des exemples de positionnement des voies de circulation (Sétra : février 2010) ;
- [7] Note d'information n°35 du Sétra : Méthodes courantes d'évaluation structurale des ouvrages existants : Pratiques en vigueur dans le réseau scientifique et technique (RST) (Sétra : mai 2012) ;
- [8] Le Guide de Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art - Pratiques du Réseau Scientifique et Technique (Cerema : 2015) ;
- [9] Le guide sur le franchissement des ouvrages d'art « Transport exceptionnels » (Cerema : 2022) ;
- [10] la carte nationale des itinéraires pour transports exceptionnels de 1^{ère} catégorie ;
- [11] la carte nationale des itinéraires des transports exceptionnels de 2^{ème} catégorie dans la limite en masse de la 1^{ère} catégorie.

Enfin, en ce qui concerne les convois militaires, on peut citer :

- [12] Le "Guide sur les conditions de passage du porte-engins-blindés Leclerc" (Sétra : février 1999) et ses compléments (Sétra : avril 2000) ;
- [13] Le guide "Étude des conditions de circulation de l'engin de franchissement de l'avant sur les routes et les ponts routes" (Sétra : février 2000).

6.1.2 Autre documentation

- [15] CHAMOA – PICF : CHaîne Algorithmique Modulaire Ouvrages d'Art - Programme de calcul des ouvrages de type PICF (Cerema 2023). Biblio_Chamoas_PICF
- [16] CHAMOA – PIPO : CHaîne Algorithmique Modulaire Ouvrages d'Art - Programme de calcul des ouvrages de type PIPO (Cerema 2023). Biblio_Chamoas_PIPO
- [17] CHAMOA – PSIDA : CHaîne Algorithmique Modulaire Ouvrages d'Art - Programme de calcul des ouvrages de type PSIDA (Cerema 2023). Biblio_Chamoas_PSIDA
- [18] Annales ITBTP Guyon Massonnet ;
- [19] Dossier PSIDN 81 – passage supérieur ou inférieur en dalle nervurée – conception et calcul - Sétra, 1981 ;
- [20] CHAMOA – PSIDP : CHaîne Algorithmique Modulaire Ouvrages d'Art - Programme de calcul des ouvrages de type PSIDP (Cerema 2023). Biblio_Chamoas_PSIDP
- [21] Buses Métalliques – Recommandations et règles de l'art (Sétra : 1981). Biblio_Buse
- [22] CHAMOA – PRAD : CHaîne Algorithmique Modulaire Ouvrages d'Art - Programme de calcul des ouvrages de type PRAD
- [23] Dossier pilote VIPP 67 (Sétra, décembre 1967)
- [24] Annales ITBTP Guyon Massonnet ;
- [25] Guide de conception des VIPP (Sétra, février 1996)

6.2 Les différentes approches pour l'évaluation structurelle des ouvrages existants

Le texte du présent chapitre est extrait du guide Cerema Transports exceptionnels [9].

Les considérations ci-après ne sont valables que pour les ouvrages structurellement en bon état. Les ouvrages présentant des pathologies susceptibles d'altérer leur résistance (par exemple ouvrages classés 3 ou 3U au sens d'IQOA) doivent faire l'objet de réflexions et études complémentaires.

Différentes approches sont possibles pour apprécier l'aptitude d'un ouvrage existant à supporter le passage d'un convoi ou pour préciser ses conditions de passage (vitesse, trafic routier concomitant, position transversale, conditions de température, etc.).

Lorsque des calculs sont nécessaires, ils doivent être menés conformément aux documents [3], [7],[8] et [9].

Ces différentes approches sont décrites ci-après.

Les méthodes exposées aux paragraphes suivants n'abordent pas la question de la fatigue.

6.2.1 Comparaison avec un convoi type

Cette première approche consiste à comparer la masse, la répartition des charges et la géométrie d'un convoi particulier à celles d'un convoi type dont on sait qu'il peut emprunter l'ouvrage pour des conditions de circulation connues.

Si le convoi particulier est moins agressif que le convoi type, alors les conditions de circulation connues pour le convoi type sont applicables.

Il s'agit en effet de comparer l'agressivité des deux convois en termes de sollicitations et non simplement en termes de poids (voir chapitre 3 du document [9], à poids égal un véhicule peut être jusqu'à 30% plus agressif qu'un autre s'il est plus compact).

6.2.2 Utilisation des organigrammes

Une autre approche très simplifiée pour évaluer un ouvrage repose sur l'utilisation d'organigrammes généraux (voir chapitre 5 du document [9]), à partir de données simples et peu nombreuses comme l'époque de construction, les charges prises en compte lors de la conception et le type de convoi.

L'approche est très conservatrice et si l'on ne peut pas affirmer à l'issue de cette analyse qu'un ouvrage est apte à supporter le passage d'un convoi selon une condition particulière, un calcul justificatif particulier peut alors être effectué pour déterminer s'il existe des conditions de passage acceptables.

6.2.3 Comparaison avec un convoi ayant déjà emprunté l'ouvrage

Cette méthode est à utiliser avec beaucoup de précaution.

Il s'agit en effet de comparer l'agressivité des deux convois en termes de configuration (poids et répartition des charges) et non simplement en termes de poids (voir chapitre 3 du document [9], à poids égal, un véhicule peut être 30% plus agressif qu'un autre s'il est plus compact).

Cette méthode s'apparente à celle exposée en « 2.1 - Comparaison avec un convoi type » avec un convoi de référence qui n'est pas type. Il est aussi "délicat" de comparer l'agressivité d'un convoi particulier à celle d'un autre convoi particulier, qu'à celle d'un convoi type.

Plusieurs facteurs doivent aussi être pris en compte :

- L'état de l'ouvrage, il s'agit aussi de s'assurer que le convoi de référence n'a pas produit sur l'ouvrage de dégradations, comme des fissures, qui lui seraient imputables ;
- L'approche suppose que le trafic concomitant n'est pas plus agressif que lors du premier passage ;
- La fatigue des ouvrages métalliques en cas de très nombreux passages.

Pour ces raisons, il convient de retenir un coefficient de sécurité, de l'ordre de 1,1 par exemple, pour admettre éventuellement un passage en se référant à un autre.

6.2.4 Comparaison des sollicitations

C'est l'approche retenue par CONVOA, hormis pour les ouvrages en maçonnerie, en général édifiés avant l'apparition des règlements de charges.

Cette approche plus fine consiste à comparer l'effet d'un convoi (type ou particulier) pour des conditions de circulation données, à l'effet des charges routières (civiles, militaires ou exceptionnelles) retenues à l'époque de la conception.

Cette méthode doit aussi être utilisée avec précaution, car il convient de bien prendre en compte dans la comparaison tous les coefficients de pondération, majoration et de combinaison, ainsi que toutes les dérogations ou insuffisances de calculs dont a fait l'objet l'ouvrage lors de sa conception. Le guide sur les conditions de passage du "porte-engins-blindés Leclerc" de février 1999 [13] détaille ces aspects.

Cette méthode suppose une connaissance précise de la géométrie de la structure et une modélisation particulière à l'ouvrage. Elle est intéressante notamment dans le cas des ouvrages existants pour lesquels les plans de ferraillage et de câblage ne sont pas connus.

Elle ne s'applique évidemment pas sans précaution aux ouvrages appartenant à des familles présentant des insuffisances structurelles connues. Par exemple, si l'ouvrage a été conçu sans prise en compte du gradient thermique, il faut faire intervenir celui-ci dans la comparaison, ou préciser les périodes de l'année ou de la journée favorables du point de vue de cet aspect.

Elle ne donne pas en général de résultats intéressants pour les ouvrages conçus avant l'application du règlement de charges 1958/1960. En effet, pour ces ouvrages le faible niveau des charges réglementaires ne permet en général pas de conclure positivement avec cette approche simplifiée.

On considère en général que si les effets sont plus faibles sur le tablier c'est également le cas sur les appuis (et appareils d'appui) et fondations.

6.2.5 Calcul complet

Beaucoup plus lourde à mettre en œuvre, cette méthode s'avère en général nécessaire pour des ouvrages anciens, pour les convois très lourds ou si une simple comparaison des sollicitations n'a pas permis de conclure favorablement. Cette étude fine, qui peut aller jusqu'au calcul des niveaux de contraintes dans toutes les parties de l'ouvrage et à l'étude des fondations, permet de définir si le convoi peut emprunter l'ouvrage et, si oui, dans quelles conditions.

Cette étude fine permet de considérer des réserves de capacité portante que la méthode précédente ne peut prendre en compte. Elle est intéressante en particulier dans le cas des ouvrages antérieurs à 1965.

On pourra utilement se reporter à la note d'information n°35 du Sétra de 2012 (Méthodes courantes d'évaluation structurale des ouvrages existants - Pratiques en vigueur dans le RST) [7] et au guide Cerema de 2015 « Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art - Pratiques du Réseau Scientifique et Technique » [8].

Il convient alors d'effectuer un recalcul complet en augmentant, lorsque cela est possible, les contraintes admissibles des matériaux.

Par exemple, pour un ouvrage en béton armé calculé selon le règlement de béton armé de 1934, on peut retenir à l'ELS pour des aciers doux un taux de travail sensiblement supérieur aux 13 kg/mm² (130 MPa) de l'époque.

On peut également rechercher des réserves de résistance en faisant des calculs de structure plus fins que ceux d'époque.

Par exemple, des calculs aux éléments finis permettent une meilleure prise en compte de la répartition des efforts que des calculs usuels simplifiés.

Il peut également s'avérer intéressant par exemple d'effectuer des justifications aux ELU selon la méthode des lignes de ruptures.

Comme la méthode précédente, cette méthode suppose une connaissance précise de la géométrie de la structure et une modélisation. Elle nécessite de plus la connaissance des aciers passifs, de câbles de précontrainte, des épaisseurs et types de tôles, du phasage, etc.

Cette étude doit être menée à l'ELU et à l'ELS.

En ce qui concerne les vérifications à l'ELU dans le cas d'un véhicule particulier unique dont le poids est connu avec une extrême précision, une légère réduction du coefficient partiel de sécurité de l'ELU est envisageable.

Dans les autres cas, et notamment pour l'étude de convois types, il convient de maintenir à 1,35 le coefficient partiel.

6.3 Prise en compte de l'ELS et de l'ELU

6.3.1 Généralités

La circulation des convois exceptionnels présente trois principales particularités :

Dans certains cas la charge est connue avec une très grande précision

Dans le cas d'un véhicule particulier unique dont le poids est connu avec une très grande précision, une réduction du coefficient donnant la valeur caractéristique est envisageable.

C'est en général le cas des véhicules très lourds, dont la circulation fait l'objet de réflexions préalables approfondies.

Document [2] paragraphe 2 (2) page 1

(2) Les valeurs caractéristiques des charges associées aux véhicules spéciaux sont les charges nominales de ces véhicules multipliées par 1,1.

NOTE Ce coefficient est destiné à couvrir des déséquilibres de charges sur les essieux dus à la non-planéité, aux pentes des chaussées ou aux tolérances de position des colis, ainsi que les incertitudes sur son poids réel. Pour les convois dont le poids et la répartition des charges sont connus avec précision ce coefficient peut être réduit (à 1,05 par exemple).

Document [3] du Sétra d'octobre 1982 joint à la lettre-circulaire du 20 juillet 1983 sur les transports exceptionnels, page 10 :

Pour les hourdis de pont, sous réserve du bon état de l'ouvrage : $\gamma_{Q1} = 1,35/1,2 = 1,125$.

Cependant, dans les autres cas, notamment pour l'étude de familles de convois (grues automotrices par exemple) et en particulier pour l'étude de convois types, il convient de maintenir à 1,1 le rapport entre charge nominale et caractéristique.

L'agressivité de la charge empruntant l'ouvrage peut être très proche de celle des charges civiles théoriques

Les intensités des sollicitations dues aux charges civiles théoriques ne sont en général pas approchées par le trafic réel pour la plupart des ouvrages. Au contraire, l'ouvrage va supporter le passage du convoi et son agressivité peut être très proche de celle des charges civiles théoriques.

En cas de sous dimensionnement de l'ouvrage non connu, et même si le convoi est moins agressif que les charges civiles théoriques, il peut donc créer des désordres dans la mesure où ces dernières n'ont probablement jamais été effectivement supportées.

Compte tenu :

- du fait que les charges de calculs sont réellement atteintes,
- du fait que le passage du convoi ne doit pas créer d'endommagement,

L'ouvrage doit être justifié à l'ELS et à l'ELU.

Le nombre de passages d'un convoi particulier sont en général limités

1.1.1.1.1 La fatigue

La question du nombre de passages à considérer est délicate, que ce soit vis-à-vis de la fatigue des ouvrages métalliques ou mixtes ou même des ouvrages en béton précontraint calculés en classe II ou III.

Convoa fournit à titre indicatif une comparaison vis-à-vis des valeurs fréquentes de charges de dimensionnement, ce qui donne toute de même une idée de l'agressivité des charges.

Les études pour un convoi particulier sont faites au cas par cas, pour un ou quelques passages. Mais en théorie c'est l'ensemble des passages de convois particuliers, et des poids lourds, qui devraient être pris en compte vis-à-vis de cet aspect, ce qui est dans les faits impossible à réaliser pour une étude particulière.

Le guide Transports Exceptionnels [9] aborde ces questions en évaluant la diminution de la durée de vie des ouvrages métalliques en flexion longitudinale, guide auquel on se reportera pour plus de détails. Nous ne reprendrons ici que les conclusions générales de cette étude :

Guide Transports Exceptionnels [9]:

La durée de vie en fatigue n'est significativement réduite que dans le cas du passage de plusieurs convois lourds par mois. La prise en compte des convois exceptionnels dans les calculs de fatigue concerne donc essentiellement les ouvrages à très forte circulation de convois (convoi de masse de l'ordre de 400 tonnes avec une fréquence de passage s'approchant de la semaine).

L'analyse permet également de mettre en évidence que le passage mensuel de convois E ne diminue que très légèrement la durée de vie d'un ouvrage de type bipoutre non calculé à la fatigue et pour lequel ce calcul aurait été dimensionnant. En effet, dans ce cas, le principal endommagement provient du trafic réel.

1.1.1.1.2 La fissuration des ouvrages en béton

Pour l'étude des convois types, la fréquence de leurs passages doit être considérée, et il convient de les considérer comme des charges fréquentes.

Si l'on se réfère à l'esprit de l'Eurocode, pour lequel les justifications à l'ELS relèvent des combinaisons fréquentes, on constate que les justifications à l'ELS peuvent être moins sévères pour l'étude d'un convoi empruntant très rarement l'ouvrage. Dans ce cas une ouverture des fissures plus importante est envisageable, mais il convient de s'assurer de leur réversibilité, par exemple en limitant à 0,8 fe le taux de travail des aciers.

Document [3] du Sétra d'octobre 1982 joint à la lettre-circulaire du 20 juillet 1983 sur les transports exceptionnels, page 10 :

Les ouvrages classiques en béton armé (ponts à poutres, ponts dalles) présentent une réserve importante de sécurité vis-à-vis de la rupture des bétons à la flexion alors qu'ils sont limités en général par les aciers ou par le cisaillement du béton. La seule vérification aux états-limites de service concerne la traction des armatures dont les contraintes admises par l'article A) 4.5.33 seront augmentées de 20%.

Il est à noter que le logiciel CONVOA n'utilise pas cette possibilité de majoration des contraintes dans les aciers pour les ouvrages calculés en fissuration préjudiciable.

6.3.2 ELS et ELU

Les vérifications doivent donc être menées à l'ELS et à l'ELU.

Cas des ouvrages calculés avec BUSE

1.1.1.1.3 Buses métalliques construites après 1982

La vérification est menée directement à l'ELU. Compte tenu de l'importance du facteur de sécurité γ_{F3} retenu par CONVOA (de 1,5 à 2,0 au lieu de 1,125 habituellement), on considère que c'est l'ELU qui est largement dimensionnant et que la vérification de l'ELS est implicite.

1.1.1.1.4 Cas des buses minces en béton construites après 1966

Pour les buses en béton, les considérations relatives au cas des ouvrages en béton armé postérieurs à 1966 s'appliquent également à cette famille. On considère donc que si le convoi est moins agressif à l'ELS, il l'est également à l'ELU.

Cas des ouvrages calculés avec CHAMOA

Les comparaisons entre l'effet du convoi (éventuellement accompagné) et l'effet des charges de dimensionnement sont effectués à l'ELS mais on considère que ces conclusions sont extrapolables à l'ELU, en effet :

1.1.1.1.5 Cas d'un ouvrage dimensionné selon les Eurocodes

Les mêmes coefficients s'appliquent aux charges routières de dimensionnement et aux convois exceptionnels, à savoir 1,0 à l'ELS et 1,35 à l'ELU. Donc si le convoi est moins agressif que les charges de dimensionnement à l'ELS il est également moins agressif à l'ELU.

1.1.1.1.6 Cas d'un ouvrage en béton armé postérieur à 1966 ou d'un ouvrage en béton précontraint postérieur à 1987 non calculé aux Eurocodes

A l'ELS les charges routières de dimensionnement sont pondérées par 1,2 et à l'ELU par 1,5 ou par 1,6 (1,07 x 1,5).

A l'ELS, les convois sont pondérés par 1,0 et à l'ELU par 1,35.

Si les charges de dimensionnement x 1,2 sont plus agressives que le convoi (ELS) x 1 alors les charges de dimensionnement x 1,5 fois ($\approx 1,35 \times 1,2$) est plus agressif que le convoi fois 1,35 (ELU).

Donc si le convoi est moins agressif à l'ELS, il l'est également à l'ELU.

1.1.1.1.7 Cas des ouvrages en béton précontraint calculés selon l'IP1

Pour ces ouvrages, le règlement ne considérait pas de vérification ELU mais considérait une vérification dite "à rupture" avec un coefficient 1,8 sur les charges mobiles Q mais en contrepartie un coefficient 1 sur les charges permanentes G.

Si l'on considère 2/3 des charges permanentes G et 1/3 de charges d'exploitation Q, soit $G=2Q$ on obtient

$$P + G + 1,8 Q = P + 3,8 Q, \text{ à comparer à } P + 1,35 G + 1,6 Q = P + 4,3 Q$$

Il convient de considérer cependant que, vis-à-vis de la flexion, ces ouvrages étaient en général dimensionnés par l'ELS et non pas par le calcul à rupture ce qui laisse des réserves pour une vérification à l'ELU. Vis-à-vis des aciers d'effort tranchant, il y avait également une approche ELS et une approche ELU, l'approche ELS étant en général dimensionnant.

Pour la population d'ouvrages concernés par la version V3 de CONVOA, on peut donc considérer que si l'ELS est vérifié, alors l'ELU l'est également.

6.4 Effets examinés et compléments d'études à envisager

Le chapitre III détaille les effets évalués permettant de définir les indicateurs. L'objectif est de démontrer que le passage du convoi étudié n'est pas plus agressif que les charges de dimensionnement.

6.4.1 Cas général

Ces études permettent :

- de valider le fonctionnement de flexion générale des ouvrages par l'évaluation des moments fléchissant et efforts tranchants, ou l'indicateur de cisaillement des caissons.

- de valider les dalles de couverture par l'étude de la flexion transversale.

Ces études tiennent compte des conditions réglementaires d'application des charges (positionnement des charges, coefficients de pondération, coefficients de majoration dynamique, ...) et résultent d'une analyse structurale fine (modèles, prise en compte de la souplesse transversale des tabliers).

6.4.2 Cas non examinés

Les cas suivants ne sont pas examinés par CONVOA et les paragraphes qui suivent visent à indiquer au gestionnaire l'opportunité ou non de mener des études complémentaires.

Appuis

Il convient de valider l'intégrité des piles et les fondations par l'examen des réactions d'appui

Modification des charges permanentes

La comparaison au seul effet des charges de dimensionnement n'est pertinente qu'à condition d'être certain que l'ouvrage n'a pas été surchargé « abusivement ». Les interventions ultérieures à la vie de l'ouvrage ne sont pas toujours parfaitement traitées et la majoration de charge permanente est possible.

Les cas les plus fréquents sont les rechargements de chaussée et l'ajout de superstructures.

Freinage

Le guide Transports Exceptionnels [9] aborde la question des efforts horizontaux et en particulier du freinage des véhicules spéciaux. Il conviendra de s'y reporter pour plus de détails afin d'examiner s'il est nécessaire d'entreprendre des études particulières.

Le document [4] (§3(4)) indique les efforts horizontaux à prendre en compte en fonction de la vitesse des convois.

- circulation à faible vitesse (inférieure ou égale à 5 km/h) : pas d'effort horizontal (si pas de freinage d'urgence considéré) ;
- circulation à vitesse normale (de l'ordre de 70 km/h) : « Il convient de tenir compte d'une force horizontale de freinage. La force de freinage à retenir est égale à 30 % du poids total des véhicules spéciaux, deux véhicules spéciaux au maximum étant supposés freiner simultanément ». On ne prend pas en compte de freinage simultané des charges d'accompagnement. Conformément au document [4], une inter-distance de 25 mètres est à considérer entre deux véhicules spéciaux, sauf consigne de circulation particulière.

Les efforts d'accélération sont en général couverts par les efforts de freinage. Cependant, il est à noter que si la remorque avec le colis transporté n'a pas encore atteint le tablier, la totalité des efforts d'accélération (essieux moteurs) peut s'appliquer à l'ouvrage alors même que la charge verticale concomitante reste faible, ce qui peut être défavorable vis-à-vis de certaines justifications.

Dans le cas de convois très lourds (supérieurs à 400 tonnes) circulant à faible vitesse et/ou d'ouvrages présentant une pente longitudinale très forte, les efforts moteurs peuvent être très importants et demander une attention particulière. Dans ces cas spécifiques, il convient également d'éviter tout freinage d'urgence sur ouvrage, en imposant par exemple une vitesse extrêmement réduite (1 à 2 km/h maximum).

Fatigue des Ouvrages mixtes

L'étude réalisée par CONVOA compare les effets de la valeur caractéristique (ou rare) du convoi étudié aux effets de la valeur caractéristique (ou rare) des charges de dimensionnement.

La répétition des charges est susceptible de provoquer la fatigue des matériaux et les ouvrages mixtes sont sensibles à ce problème. Les règlements modernes prévoient des justifications particulières pour couvrir ce risque, qui ne sont pas examinés par CONVOA.

Dans le cas des convois exceptionnels, la répétition des circulations d'un convoi donné, mais plus encore la répétition de convois indépendants, mais globalement assez nombreux, constitue une source d'endommagement de la charpente. L'endommagement est d'autant plus élevé que l'effet (contrainte dans l'assemblage) est élevé et que la fréquence est importante.

Cet endommagement peut être traduit par une réduction de la durée de vie de l'ouvrage, information particulièrement intéressante pour le maître d'ouvrage.

Le guide Transports Exceptionnels [9] aborde ces aspects et il conviendra de s'y reporter pour plus de détails afin d'examiner s'il est nécessaire d'entreprendre des études particulières.

Gradient thermique des ouvrages en béton précontraint (caisson et dalle)

Pour les ouvrages anciens avant 1975, n'ayant pas été renforcés, les charges de dimensionnement n'ont pas pris en compte de gradient thermique d'accompagnement. Une telle étude sort du champ d'analyse de CONVOA et nécessiterait un recalculation complet.

Les conditions de circulation du convoi seront alors assorties ou non de critères de gradient d'accompagnement, éventuellement limité, qui pourront être calées sur des périodes de l'année à gradient nul ou faible.

Murs

CONVOA n'étudie pas les murs liés aux ouvrages. Il s'agit :

- des murs de tête des culées (murs en aile ou en retour) ou de murs de soutènement et murs tympans des ponts en maçonnerie
- des murs garde-grève et murs de front des culées.

Le guide Transports Exceptionnels [9] aborde ces aspects et il conviendra de s'y reporter pour plus de détails afin d'examiner s'il est nécessaire d'entreprendre des études particulières.

L'annexe13.1 - Evaluation des murs au passage des convois exceptionnels, page 121, donne ces éléments.

Les principales conclusions sont résumées ci-dessous :

« pour les murs garde-grève et murs de front, *a priori* pas de problème.

pour les murs en retour et en aile : potentiels problèmes sur les ouvrages étroits (moins de 2 voies de circulation et pas de trottoirs) ou pour les charges circulant trop près du bord (moins de 3m - ce positionnement est possible pour C2 par exemple)

pour les murs de soutènement : potentiels problèmes pour les charges circulant trop près du bord (moins de 3m). La position limite des convois peut alors être donnée en fonction de la hauteur du mur et de la charge de dimensionnement. »

6.5 Règles de prises en compte de règlements de charge et de matériau et coefficients de combinaison

CONVOA propose un règlement de charge et peut proposer un règlement de matériaux à l'utilisateur en fonction de la date de référence de l'ouvrage qu'il a renseignée. L'option proposée peut être modifiée par l'utilisateur, notamment dans les périodes de transition entre règlements.

A ce binôme de règlements est associé un coefficient γ_2 appliqué sur les charges civiles de dimensionnement. Selon la formulation de CHAMOA, une valeur de combinaison peut s'exprimer sous la forme $\gamma_1 \times [\gamma_2 Q]$. A l'ELS, $\gamma_1 = 1,0$ et γ_2 varie de 1,00 à 1,2 selon les règlements.

Par défaut, les modalités retenues veillent à se situer du côté de la sécurité pour les dates transitoires.

6.5.1 Règlements de référence

Pour la période couverte par CONVOA, ouvrages construits depuis 1966 inclus, les règles de charges et de matériaux à considérer sont les suivantes :

Règlements de charges

Sur la période couverte par CONVOA, les règlements de charge des ponts routes ont été les suivants :

- circulaire du 5 avril 1958 (Instructions relatives aux programmes de surcharges et aux épreuves des ponts-routes) remplacée avec des modifications de détail (sans influence pour CONVOA) par la circulaire du 19 août 1960 (fascicule 61, Titre I à V - conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art). On désigne ces règles par la suite par "Fascicule 61, titre II de 1960"
- circulaire du 29 décembre 1971 (fascicule 61, Titre II - Programme de charges et épreuves des ponts routiers). On désigne ces règles par la suite par la suite "Fascicule 61, titre II de 1971"
- Eurocode 1

Pour les ouvrages de faible portée, tels que les cadres, portiques et ponts dalles, le règlement de 1960 est en général plus sévère que celui de 1971. Si on considère que le fascicule 61, titre II de 1971 a été utilisée dès le 1^{er} janvier 1972, l'hypothèse, de sous-estimer les charges de conception pour les ouvrages construits en 1971, va donc dans le sens de la sécurité.

Pour les ouvrages de plus grande portée (ponts à poutres, ponts mixtes et ponts caissons en béton précontraint), on se trouve dans la situation inverse, il vaut mieux considérer, par sécurité, que les ouvrages étudiés n'ont été dimensionnés avec le fascicule 61, titre II de 1971 qu'à partir du 1^{er} janvier 1973.

Règlements de béton armé

Pour la période couverte par CONVOA, ouvrages construits depuis 1966, les textes relatifs aux ouvrages en béton armé à considérer sont les suivants :

- circulaire n°70 du 14 novembre 1964 : fascicule 61, Titre VI - conception et calcul des ouvrages en béton armé
- circulaire MEL n°68-119 du 11 décembre 1968 : fascicule 61, Titre VI (CCBA 68)
- circulaire n°79-115 du 2 novembre 1979 fascicule spécial n°79-48 bis (règles BAEL 80)
- circulaire du 8 octobre 1983 : fascicule n°62 Titre I section I (BAEL 83)
- circulaire n°92-75 du 1er décembre 1992 : fascicule n°62 Titre I section I (BAEL 91)
- circulaire n°99-28 du 6 avril 1999 modifiant le BAEL91 : fascicule n°62 Titre I section I (BAEL 99)
- Eurocode 2

Avant la circulaire du 14 novembre 1964 les charges routières étaient pondérées par 1,0 (équivalent de l'ELS). Après cette circulaire, elles étaient pondérées par 1,2.

Pour simplifier, on suppose que les ouvrages construits ont été effectivement dimensionnés avec la circulaire de novembre 1964 à partir du 1er janvier 1966 ce qui correspond à la date limite des ouvrages traités par CONVOA.

Règlements de béton précontraint

Pour la période couverte par CONVOA, ouvrages construits depuis 1960 inclus, les textes relatifs aux ouvrages en béton précontraint à considérer sont les suivants :

- circulaire n°141 du 26 octobre 1953 : Instructions provisoires relatives à l'emploi du béton précontraint
- circulaire n°44 du 12 août 1965 : IP1 - Instruction provisoire relative à l'emploi du béton précontraint
- circulaire n°71-156 du 30 décembre 1971 mesures d'application du fascicule 61, Titre II - Programme de charges et épreuves des ponts routiers
- circulaire n°73-153 du 13 août 1973 : IP2 - Instruction provisoire n°2 relative à l'emploi du béton précontraint
- circulaire n°74-60 du 23 avril 1974 : IP1 modifiée
- circulaire n° du 2 avril 1975 : IP1 modifiée
- circulaire du 8 octobre 1983 : fascicule n°62 Titre I section II (BPEL 83)
- circulaire n°92-57 du 30 décembre 1992 : fascicule n°62 Titre I section II (BPEL 91)
- circulaire n°99-28 du 6 avril 1999 modifiant le BPEL91 : fascicule n°62 Titre I section II (BPEL 99)
- Eurocode 2

Avant la circulaire du 30 décembre 1971, les charges routières étaient pondérées par 1,0 (équivalent de l'ELS). Pour les ouvrages dimensionnés selon l'IP1 après cette date, les charges routières étaient pondérées par 1,1 (équivalent de l'ELS). On ne considère pas l'IP2 qui n'a dans les faits quasiment pas été appliquée. A partir du BPEL 83, elles étaient pondérées par 1,2 à l'ELS.

Règlements de ponts mixtes

Les premières règles parurent en 1966. Ces règles furent basées pour le calcul des parties métalliques sur les règles de 1960 (titre V du fascicule 61 du CPC). Il s'agissait de règles aux contraintes admissibles. L'article 4.2.2 de ces règles imposait en service à vide que la dalle de couverture en béton ne subisse aucune traction. Des dénivellations d'appui étaient souvent nécessaires pour respecter cette condition.

On notera, que, pour ce qui concerne la charpente métallique, une nouvelle version du fascicule 61, titre V fût introduite par la circulaire du 4 février 1970, puis le 4 juillet 1972 afin d'y introduire les principes des états limites, enfin une dernière mise à jour fût imprimée en 1978 suite au décret du 22 juin 1977.

En 1981 paraît l'instruction du 21 juillet 1981 pour le calcul des ponts mixtes. Ces règles furent basées pour le calcul des parties métalliques sur les règles de 1978 précédemment citées. Il s'agissait donc de règles aux états-limites se référant aux DC. 71. L'article 11 de ces règles admet la mise en traction du béton.

Les dernières règles, utilisées actuellement, sont les Eurocodes, qui sont devenus d'utilisation obligatoire pour les ponts du réseau national de l'Etat à partir du 1^{er} mars 2010.

6.5.2 Dates de prise en compte des règlements

Règlement	Libellé pour interface utilisateur	Mot clé	Type	Date parution	Date prise en compte
Règlements de charges					
fascicule 61 titre II Circulaire n°65 du 19 Août 1960	Fascicule 61, titre II de 1960	Fasc_61_T2_60	Charges	1960	1961
Fascicule 61 titre II CONVOA v3 Circulaire n°71-155 du 29 Décembre 1971	Fascicule 61, titre II de 1971	Fasc_61_T2_71	Charges	1972	1973
Eurocode 1	Annexe nationale de l'Eurocode 1	Eurocode	Charges	2008	2010

Figure 1

Règlement	Libellé pour interface utilisateur	Mot clé	Type	Date parution	Date prise en compte
Règlements de béton armé					
Fascicule 61, Titre VI Circulaire n°70 du 14 novembre 1964	Règlement de béton armé de 1964	BA_64	BA	1964	1966 ¹
Fascicule 61, Titre VI Circulaire MEL n°68-119 du 11 Décembre 1968	Règlement de béton armé (CCBA 68)	CCBA_68	BA	1969	1969
Fascicule n°62 Titre I section I Circulaire 2 Novembre 1979 (BAEL 80) Circulaire du 8 Octobre 1983 (BAEL 83) Circulaire du 1er décembre 1992 (BAEL 91) Circulaire du 6 avril 1999 (BAEL 99)	Règlement de béton armé aux États Limites	BAEL	BA	1980 1983 1992 1999	1981
Eurocode 2	Annexe nationale de l'Eurocode 2	Eurocode	BA	2007	2010

Figure 2

¹ L'application de la circulaire du 14 novembre 1964 ne peut être considérée comme effective qu'à partir de 1966.

Règlement	Libellé pour interface utilisateur	Mot clé	Type	Date parution	Date prise en compte
Règlements de béton précontraint					
Instructions provisoires relatives à l'emploi du béton précontraint Circulaire n°141 du 26 Octobre 1953	Instruction provisoire de 1953 (IP0)	IP0	BP	1953	pm
IP1 - Instruction provisoire relative à l'emploi du béton précontraint Circulaire n°44 du 12 Août 1965	Instruction provisoire de 1965 (IP1)	IP1	BP	1966	1966
Circulaire de la Direction des Routes du 2 avril 1975		IP1_gradient	BP	1975	1977
fascicule 62 Titre I section II Circulaire du 8 Octobre 1983(BPEL 83) Circulaire du 30 décembre 1992(BPEL 91) Circulaire n°99-28 du 6 avril 1999 (BPEL 99)	Règlement de béton précontraint aux États Limites	BPEL	BP	1983 1992 1999	1987 ²
Eurocode 2	Annexe nationale de l'Eurocode 2	Eurocode	BP	2007	2010

Figure 3

Règlement	Libellé pour interface utilisateur	Mot clé	Type	Date parution	Date prise en compte
Règlements de ponts mixtes					
Circulaire d-10944 du 25 mars 1966	Règlement de pont mixte de 1966	OM_66	OM	1966	1966
Circulaire 81-63 du 28 juillet 1981	Règlement de pont mixte de 1981	OM_81	OM	1981	1981
Eurocode 3-4	Eurocode 3 – 4	Eurocode	OM	2005	2010

Tableau 3 - Prise en compte des règlements de matériau et de charges

Figure 4

² Le BPEL (publié en 1983) a cohabité avec l'IP1 (supprimé en 1987). Ce n'est donc qu'à partir de 1987 que le BPEL est devenu obligatoire. Dans la période de transition, l'utilisateur aura la possibilité de préciser le règlement utilisé en fonction de la connaissance qu'il a de l'ouvrage.

Coefficients de combinaisons ELS

Période	Règlements concernés	γ_2
Béton armé		γ_2
De 1966 à 1968 inclus	Règlement de Béton Armé de 1964	1,20
De 1969 à 1980 inclus	Règlement de Béton Armé CCBA 68	1,20
De 1981 à 2009 inclus	Règlement de Béton Armé aux Etats Limites (BAEL)	1,20
Depuis 2010	Eurocode 2	1,00
Béton précontraint		γ_2
De 1966 à 1971 (ou 1972) inclus	IP1 et Règles de charges de 1960	1,00
De 1972 (ou 1973) à 1986 inclus	IP1 et Règles de charges de 1971	1,10
De 1987 à 2009 inclus	Règlement de Béton Précontraint aux Etats Limites (BPEL) et Règles de charges de 1971	1,20
Depuis 2010	Eurocode 2	1,00
Ouvrages mixtes		γ_2
De 1966 à 1980 inclus	Règlement de pont mixte de 1966	1,20
De 1981 à 2009 inclus	Règlement de pont mixte de 1981	1,20
Depuis 2010	Eurocode 3 – 4	1,00

Figure 5

Dans CONVOA v3, par simplification, sauf indication contraire, gamma2 vaut 1.0 avant 1971 (règle 1960), 1.2 de 1972 à 2010 (fascicule 61 titre 2 de 1971) et 1.0 après 2010 (Eurocode)

6.6 Charges de chaussée

6.6.1 Définition des chaussées

CONVOA se base sur le profil en travers géométrique des charges de dimensionnement défini dans le projet CHAMOA (le profil en travers définitif ou actuel). A partir de ce profil, dans le projet CHAMOA, on peut définir la zone du profil en travers pour accueillir les charges de dimensionnement.

Dans le cas du règlement de charges de dimensionnement Eurocode, l'utilisateur peut définir la classe de trafic (classe 2 par défaut, route à trafic normal, la classe 1 étant réservé au route à trafic lourd style périphérique parisien).

Dans le cas du règlement de charges du fascicule 61, titre II de 1971, la classe de trafic est définie à partir de la largeur roulable du profil initial (sans diminution des bandes neutralisées à proximité des barrières).

```
Largeur >= 7.      Def_Classe=1
5.5 > Largeur < 7.  Def_Classe=2
Largeur <= 5.5      Def_Classe=3
```

6.6.2 Charges de dimensionnement

Les charges de dimensionnement sont spécifiques à chaque ouvrage.

Toutes les charges de dimensionnement sont définies par rapport au **profil initial**.

Les règlements de charge et de matériau utilisés sont définis à partir de la date de construction de l'ouvrage.

Sauf indication contraire explicite, les charges de dimensionnement sont les **charges civiles** du règlement de construction. Les charges de trottoirs sont prises en compte par CONVOA dans les charges de dimensionnement si elles sont définies.

Des charges militaires ou exceptionnelles de dimensionnement peuvent être définies par l'utilisateur parmi les charges types proposées ou par un convoi utilisateur.

1.1.1.8 Charges civiles

Par défaut l'ouvrage est dimensionné pour les charges civiles définies par le règlement de charge de référence.

Nom	Règlement	Dynamique	Largeur chargeable	Observation
A(I) 60	F 61 TII 1960	1	Largeur chaussée	
Bc60	F 61 TII 1960	δ	Largeur chaussée	
A(I)	F 61 TII 1971	1	Largeur chargeable réduite près des barrières	Pour la flexion locale largeur chaussée
Bc	F 61 TII 1971	δ	Largeur chargeable réduite près des barrières	Pour la flexion locale largeur chaussée
Bt	F 61 TII 1971	δ	Largeur chargeable réduite près des barrières	Pour la flexion locale largeur chaussée
LM1	Eurocode	1	Largeur chaussée	Classe de trafic 1 ou 2
LM2	Eurocode	1	Largeur chaussée	Classe de trafic 1 ou 2

Figure 6

1.1.1.1.9 Charges militaires

Nom	Règlement	Dynamique	Largeur chargeable ³	Observation
Classe 3	circulaire A n°27 du 11 février 1946	δ	circulation du convoi dans l'axe du pont ou circulation excentrée pour permettre le doublement ou le croisement d'une colonne légère de 2,50m de large pesant 175 kg/m ²	La charge de 175 kg/m ² n'est pas prise en charge pas CONVOA,
Classe 4	circulaire A n°27 du 11 février 1946	δ	circulation du convoi dans l'axe du pont ou circulation excentrée pour permettre le doublement ou le croisement d'une colonne légère de 2,50m de large pesant 175 kg/m ²	La charge de 175 kg/m ² n'est pas prise en charge pas CONVOA
M80 et M120	F 61 TII 1971	δ	Largeur chargeable réduite près des barrières	

Figure 7

1.1.1.1.10 Charges Exceptionnelles de dimensionnement

Les convois circulent au pas (pas de majoration dynamique).

Nom	Règlement	Coefficient d'incertitude	Zone de chargement	Observation
Convoi D	F 61 TII 1971	1	Axe du convoi au moins à 3,50 m du bord de chaussée	
Convoi E	F 61 TII 1971	1	Axe convoi au moins à 3,50 m du bord de chaussée	
Convois C	Circulaire de 1983	1,1	Largeur chargeable	
Convois D et E	Circulaire de 1983	1,1	Centré avec tolérance de 0,30 m	
Convois utilisateur	Convoa	Défini par l'utilisateur	Défini par l'utilisateur	Un coefficient de majoration dynamique peut être également défini

Figure 8

³ Pour les chars de classe 3 ou 4, le règlement prévoit une position centrée sur l'ouvrage, et, pour les ouvrages larges (largeur supérieure à 6,00 m) en complément un chargement excentré (à gauche et à droite). Dans ce dernier cas, CONVOA fait effectuer au char un balayage transversal entre les deux positions transversales extrêmes, où le nu extérieur de la chenille est situé à 0,35 m ou 0,45 m du trottoir).

6.6.3 Convoi exceptionnel étudié

Le convoi étudié est examiné selon les situations de circulation suivantes :

- **Convoi seul au pas** sur l'ouvrage. Aucune majoration dynamique n'est appliquée.
- **Convoi seul sur l'ouvrage à vitesse normale**. Il est alors affecté d'un coefficient de majoration dynamique.
- **Convoi rapide mêlé à la circulation**. Il est alors affecté d'un coefficient de majoration dynamique et circule avec LM1 fréquent.
- **Convoi lent mêlé à la circulation**. Aucune majoration dynamique n'est appliquée.

En outre

- **Convoi peut être centré** sur l'ouvrage avec une tolérance de 0,30m si inférieur à 400t ou 0,50 m si inférieur à 250t .
- **Convoi peut être limité par des bandes dérasées**.
- **Convoi peut circuler sur toute la largeur de la chaussée**.

6.6.4 Définition des profils de chargement

Pour chaque profil transversal, initial ou actuel, les charges de trafic à prendre en compte sont décrites en les appliquant sur un "profil de chargement", qui est une restriction (nulle, partielle ou totale) des différentes zones chargeables sur le profil transversal géométrique

1.1.1.1.11 Restriction des zones de chaussée

La partie chargeable d'une zone de chaussée peut être restreinte de deux manières :

- Définition de bandes neutralisées, non chargeables, à gauche et/ou à droite, qui déterminent une zone chargeable fixe.
- Définition d'un axe de roulement et d'un débattement, uniquement applicable à un véhicule ou une seule file de véhicules, qui déterminent une zone chargeable variable en fonction du véhicule.

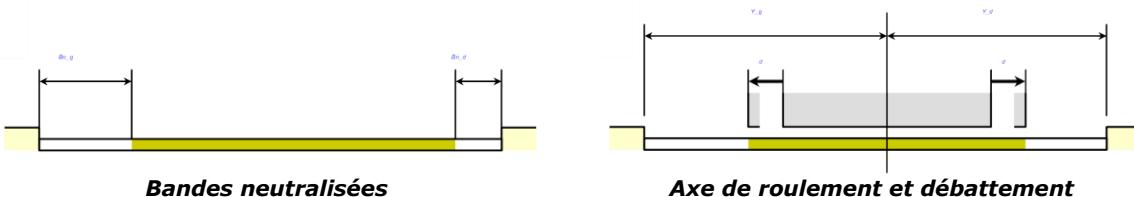


Figure 9– Définition des restrictions des zones de chaussée

1.1.1.1.12 Profils de chargement pour les charges de dimensionnement

Il s'agit des profils de chargement sur lesquels seront définies les différentes charges de dimensionnement. Ils sont directement issus du profil en travers initial.

1.1.1.1.12.1 Cas général

La largeur chargeable est la largeur de chaussée sans restriction de chargement, solution adoptée par les règlements de charge de 1960 et par l'Eurocode.

1.1.1.1.12.2 Cas particulier du fascicule 61, titre II de 1971

Pour les charges civiles et militaires, la largeur chargeable tient compte des bandes non chargées à gauche et à droite dues à des dispositifs de retenue situés à proximité immédiate de la chaussée.

Les charges exceptionnelles circulent centrées, à une tolérance près de 0,50 m

1.1.1.12.3 Cas d'un TPC

Les règlements de charge considèrent que le TPC est amovible. La largeur roulable, dont ont déduit éventuellement la largeur chargeable, intègre la largeur du TPC (bandes dérasées et bande médiane).

Il est équivalent de considérer que le TPC n'existe pas pour les charges de dimensionnement

1.1.1.13 Profils de chargement pour convoi

CONVOA explore plusieurs situations possibles d'utilisation de la largeur roulable par le convoi (éventuellement mêlé à la circulation, à vitesse normale ou au pas).

- Le convoi sans restriction de circulation (circulant sur toute la largeur chargeable)
- Un convoi "centré" en jouant sur les restrictions de zones de chaussée. Cette notion est à préciser comme étant une zone restrictive plus favorable.

On définira les profils de chargement suivants à partir du profil actuel

1.1.1.13.1 Profil sans restriction

1.1.1.13.2 Profil sans restriction sur chaussée unique

Il sera utilisé pour le convoi seul sans restriction et pour le convoi mêlé à la circulation.

1.1.1.13.3 Profil sans restriction avec TPC

L'utilisateur précise la chaussée empruntée par le convoi, comme sur l'exemple ci-dessous.

Le profil de chargement du convoi est alors réduit par neutralisation d'une bande correspondant à la largeur de la chaussée non empruntée majorée de celle du TPC. Ainsi le convoi est déplacé sur toute la largeur de la chaussée désignée. A noter qu'aucune restriction due à des dispositifs de retenue de bord de chaussée n'est définie puisque l'évaluation de l'effet des convois est réalisée dans l'esprit de l'Eurocode, qui ne prévoit pas de telles réductions.

La charge d'accompagnement circule sur l'ensemble de la chaussée sans restriction (les deux chaussées et le TPC). Il n'est en effet pas possible de neutraliser seulement la largeur du TPC pour cette charge d'accompagnement qui est placée sur les aires résiduelles de la chaussée empruntée par le convoi, de la chaussée opposée, et également sur la largeur du TPC, ce qui est défavorable.

1.1.1.13.4 Profil centré

Il s'agit de définir une circulation centrée du convoi avec une tolérance de 0,50 m. Cette tolérance est noté d dans les paragraphes qui suivent.

Il faut distinguer le cas « chaussée unique » du cas « chaussée avec TPC ». L'option adoptée par CONVOA est la définition par des bandes neutralisées de gauche et de droite.

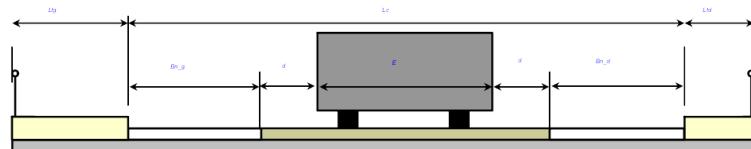


Figure 10– Circulation centrée dans le cas d'une chaussée unique

1.1.1.13.5 Profil centré chaussée unique

Il s'agit d'une circulation centrée sur la chaussée, à une tolérance près d de 0,50 m.

1.1.1.13.6 Profil centré chaussée séparée

Le convoi circule centrée sur la chaussée de circulation du convoi avec la tolérance de 0,50 m.

A noter que cette situation n'est pas forcément la plus favorable pour l'ouvrage.

6.6.5 Données de convois pour CONVOA

Une demande d'autorisation peut être déclinée en plusieurs configurations. Chacune de ces configurations nécessite de définir un convoi au sens d'un cas de charge.

1.1.1.1.14 Données au format du formulaire de demande d'autorisation

Les données relatives à la géométrie du convoi sont essentiellement à puiser dans **la fiche d'ensemble routier**. Lorsque l'on est en présence d'essieux de type pendulaire, une donnée (entraxe DT) sera à chercher dans les fiches véhicules.

Les convois peuvent être composés :

- De véhicule porteur ou automoteur :

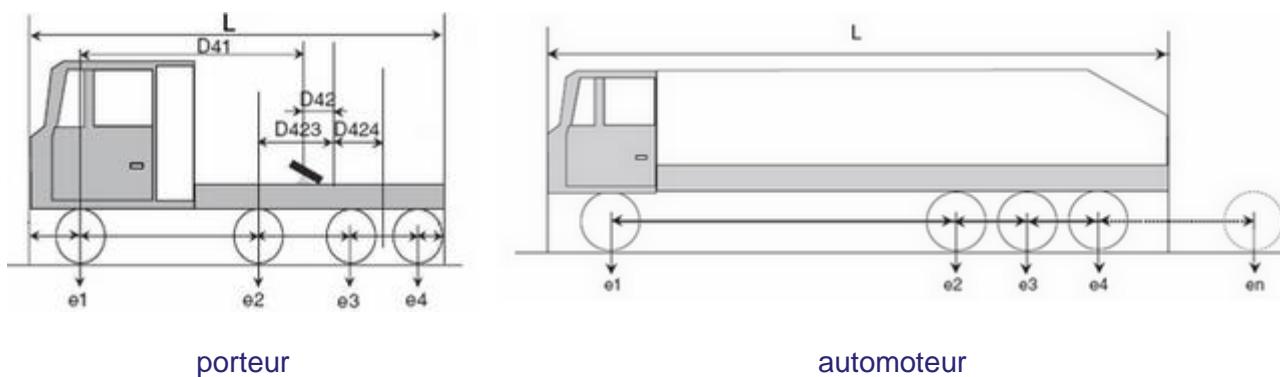


Figure 11

- De combinaisons d'un véhicule tracteur et de véhicules remorqués formant un ensemble routier.

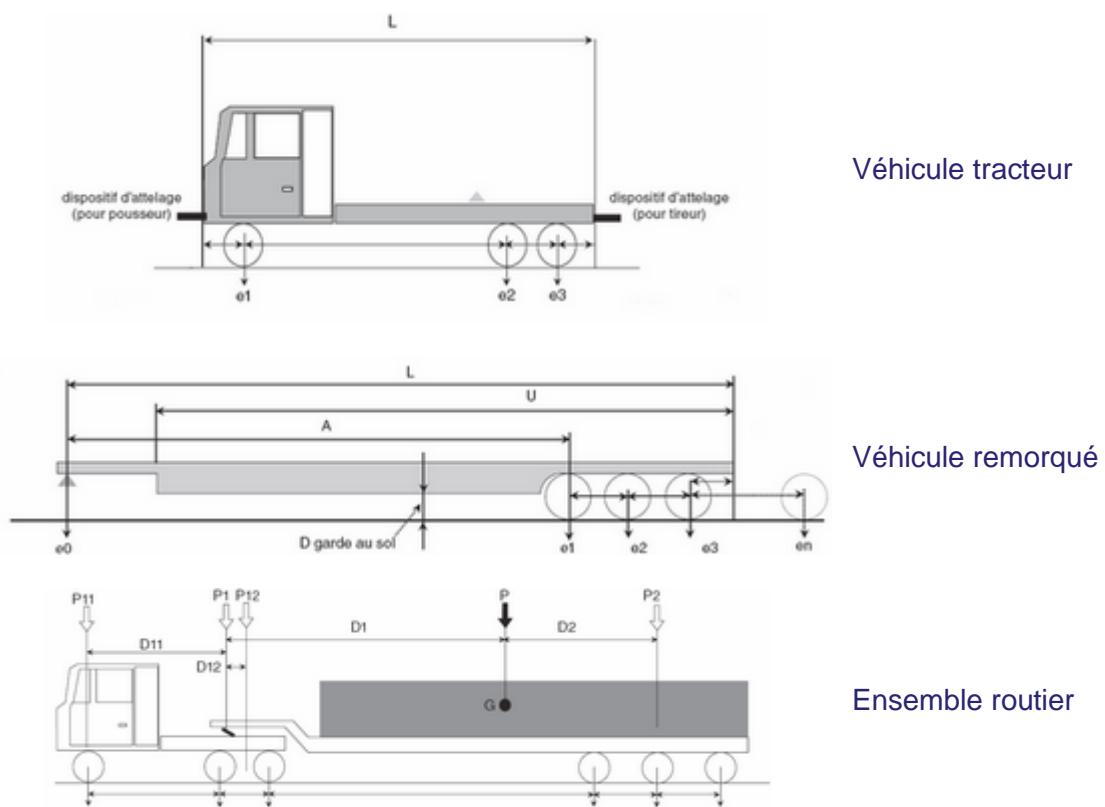


Figure 12

La définition transversale des convois varie essentiellement suivant le type d'essieu :

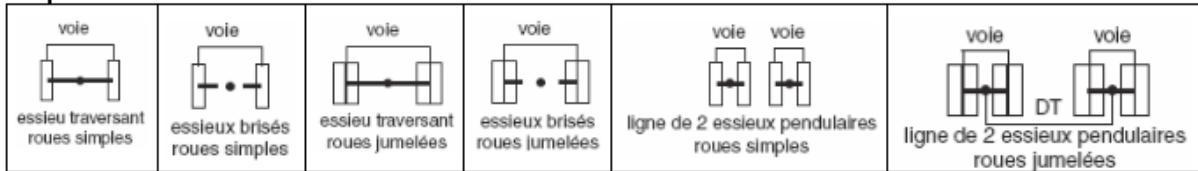


Figure 13

D'après les imprimés Cerfa, les essieux sont définis transversalement par deux paramètres :

- "largeur voie" qui définit la distance transversale entre les deux axes de roues d'un essieu (données accessibles dans la fiche d'ensemble routier qui concerne tous les types de roues et d'essieux). Cette donnée est disponible dans la fiche d'ensemble routier ;
- "distance DT" représentant la distance transversale entre les axes des essieux (ne concerne que les lignes d'essieux pendulaires). Si cette donnée ne figure pas sur l'imprimé Cerfa 12110*2 (ensemble routier), il faut la récupérer sur les fiches véhicules, imprimés 12111*02 à 12120*02 ainsi que 12664*01 et 12665*01.

Pour chaque convoi, l'utilisateur doit préciser si les masses sont connues avec précision. Cette information sera obtenue par une case à cocher et permettra de prendre en compte un coefficient de valeur caractéristique 1,05 au lieu de 1,10 par défaut.

1.1.1.1.15 Transformation des données Cerfa en données CONVOA

A partir des données Cerfa, il convient de définir un convoi au sens de CONVOA.

Adaptations des données relatives aux convois peuvent se faire suivant les règles suivantes :

Données CHAMOA	Description des données	Traduction en données CONVOA							
		Essieu traversant à roue simple	Essieu brisé à roue simple	Essieu traversant à roues jumelées	Essieu brisé à roues jumelées	Essieux pendulaires à roues simples	Essieux pendulaires à roues jumelées		
<i>Nvg</i>	Numéro produit par l'interface et affecté au véhicule généralisé lors de sa création.	<i>Numéro</i>							
<i>(Titre)</i>	Titre du véhicule généralisé. On retrouvera ici le nom « utilisateur » du convoi	<i>(Titre)</i>							
<i>E</i>	Largeur d'encombrement du véhicule.	<i>E</i>							
<i>L</i>	Longueur d'encombrement du véhicule.	<i>L</i>							
<i>Xi</i>	Positions des essieux par rapport à l'avant du véhicule.	pour $i = 1$ $Xi = 0$							
		pour $i = 2$ à $(n-1)$ $Xi = Xi-1 + e(i)_e(i+1)$							
<i>Pi</i>	Poids des essieux (kN).	<i>Pi * précision_masse</i>							
<i>dxi</i>	Impacts longitudinaux et transversaux des roues de chaque essieu.	<i>dxi</i> = 0.30	<i>dxi</i> = 0.30	<i>dxi</i> = 0.30					
<i>dyi</i>		<i>dyi</i> = 0.30	<i>dyi</i> = 0.45	<i>dyi</i> = $L_{voie} + 0.30$	<i>dyi</i> = $L_{voie} + 0.45$				
<i>(dyn)</i>	Coefficient de majoration	$dyn = 1 + \frac{0,7}{1+0,2L}$							
<i>(N)</i>	Nombre de roues de l'essieu, par défaut.	<i>N=2</i>							
<i>(D)</i>	Seulement si <i>N > 1</i> : distance entre axes des roues.	<i>D = L_voie</i>			<i>D = DT</i>				

Figure 14 Caractéristiques du convoi

Les masses définies par le convoi sont à majorer par :

- Le coefficient de valeur caractéristique défini par la circulaire qui vaut 1,10 dans les cas courants et qui peut être ramené à 1,05 lorsque la masse du convoi est connue avec une très bonne précision [1,10]. Ce coefficient ne dépend que du convoi, il est défini par l'utilisateur et correspond à la donnée *Precision_masse* du bloc *CONDITION_DE_PASSAGE*. Dans le cadre de CONVOA, ce coefficient est à appliquer à la masse des essieux définis par l'utilisateur.

Ainsi les coefficients pris en compte seront les suivants :

- Convoi roulant au pas avec *Precision_masse*
- Convoi circulant à vitesse normale avec *Precision_masse x dyn*

Les coefficients de combinaisons sont également à prendre en compte en fonction des règlements de calculs utilisés.

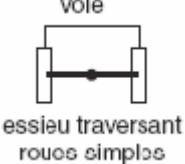
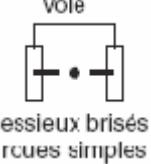
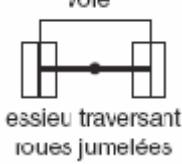
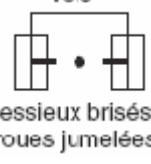
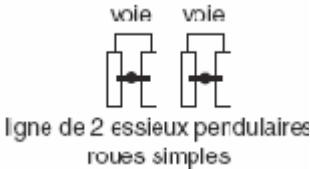
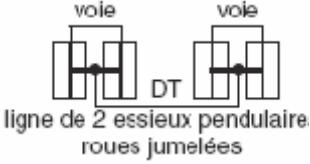
Arguments du type d'essieu utilisé dans bloc CONVOA	Types d'essieux décrits dans l'annexe à la circulaire de mai 2006	Proposition de définition de l'essieu pour CONVOA	Commentaires
TRAVERSANT_ROUES_SIMPLES	 essieu traversant roues simples		
BRISE_ROUES_SIMPLES	 essieu brisés roues simples		$dx = dy = 0,30 \text{ m}$
TRAVERSANT_ROUES_JUMELEES	 essieu traversant roues jumelées	$dx1 = dx2$ $D1 = \text{voie}$ $dy1 = dy2$	
BRISE_ROUES_JUMELEES	 essieu brisés roues jumelées		$dx = 0,30 \text{ m}$ $dy = 0,45 \text{ m}$
PENDULAIRES_ROUES_SIMPLE	 ligne de 2 essieux pendulaires roues simples		$dx = 0,30 \text{ m}$ $dy = \text{voie} + 0,30 \text{ m}$
PENDULAIRE_ROUES_JUMELEES	 ligne de 2 essieux pendulaires roues jumelées	$dx1 = dx2$ $D1 = DT$ $dy1 = dy2$	$dx = 0,30 \text{ m}$ $dy = \text{voie} + 0,45 \text{ m}$

Figure 15

La largeur des pneus étant inconnue, les hypothèses prises en compte sont :

- 0,30 m dans le cas des roues simples ;
- 0,45 m dans le cas des roues jumelées.

6.7 Calcul des BUSE avec CONVOA

6.7.1 Ouvrages calculables par BUSE

CONVOA ne traite que des buses minces telles que les buses métalliques construites depuis 1982 et les buses minces en béton armé construites postérieurement à 1965.

Une méthodologie précise du dimensionnement des **buses métalliques** a été définie, à partir de 1982, suite à la parution du guide "Buses métalliques, recommandations et règles de l'art" du Sétra de 1981 [13], document qui définit notamment des règles de dimensionnement à partir des charges du Fascicule 61, titre II de 1971.

Dans ce guide de 1981, les pressions dues aux charges de dimensionnement appliquées à la clé servant au dimensionnement de la buse métallique ont été évaluées par la méthode de diffusion des charges de Boussinesq. Le guide fournit les valeurs de ces pressions tabulées en fonction de la hauteur du remblai.

Pour évaluer l'effet du convoi exceptionnel à étudier ou d'une charge quelconque, prise en compte ou non par le guide du Sétra, CONVOA fait appel à un module BUSE, spécialement développé, permettant de calculer la pression à la clé de la buse par application de la méthode de Boussinesq.

Ainsi BUSE évalue :

- L'effet de chaque charge variable de dimensionnement et leur enveloppe, calculées par le module Boussinesq pour les buses en béton construites après 1965.
- L'effet du convoi exceptionnel étudié par le module Boussinesq pour les buses étudiées en béton quelle que soit leur date de construction postérieure à 1965.

Les données géométriques principalement utilisées par BUSE sont l'ouverture de l'ouvrage, l'épaisseur de remblai et la largeur de la chaussée portée.

Dans cette analyse, le biais de l'ouvrage n'intervient pas.

6.7.2 Méthodes de calcul de BUSE

Méthode de Boussinesq

Formule de Boussinesq

BUSE utilise la formule de dispersion d'une charge ponctuelle dite de Boussinesq pour calculer la pression maximale exercée à la clé d'un ouvrage par un chargement.

$$\Delta\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{z^3}{(r^2 + z^2)^{5/2}} = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{1}{z^2} \cdot \cos^5\theta$$

$$\Delta\tau_{zr} = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{z^2 \cdot r}{(r^2 + z^2)^{5/2}} = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{r}{z^3} \cdot \cos^5\theta$$

$\Delta\sigma_z$ et $\Delta\tau_{zr}$ sont indépendants de E et v .

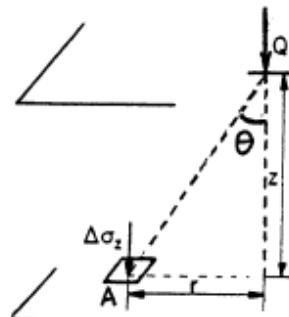


Figure 16 – Formule de Boussinesq (charge ponctuelle)

La formule précédente t utilisé pour le calcul des surfaces d'influence pour obtenir l'effet des charges mobiles.

Dans le cas des charges permanentes, on utilise plutôt la formule correspondant à son intégration sur un rectangle :

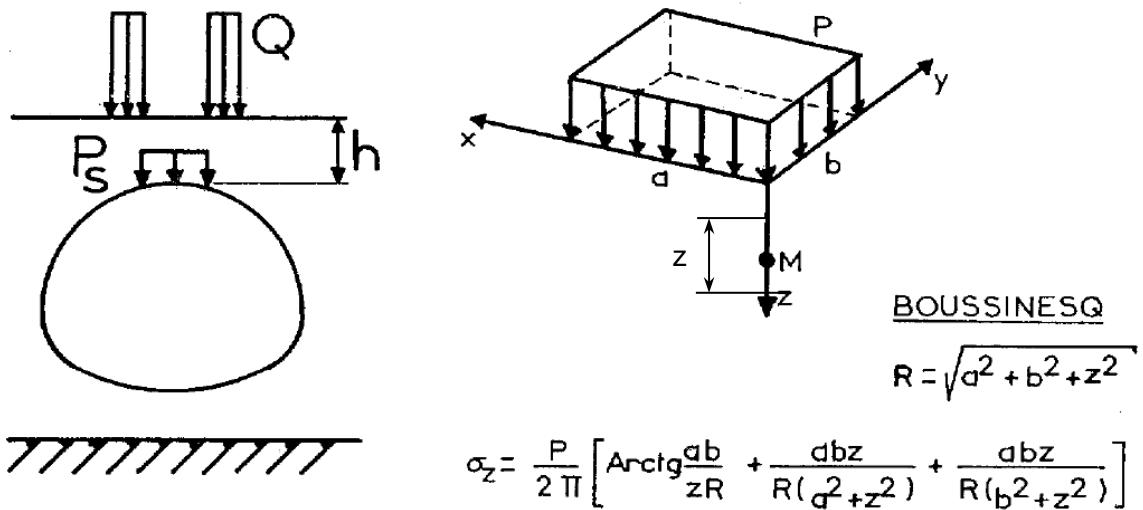


Figure 17 – Formule de Boussinesq pour une charge rectangle

6.7.3 Méthode 1 : Application de Boussinesq à un impact

La formule énoncée au paragraphe précédent permet de calculer la pression due à un impact en un point particulier situé à l'aplomb de l'impact. Pour évaluer l'effet d'un impact excentré par rapport au point d'étude, le module Buse fait appel à une fonction qui exploite les formules de Boussinesq.

Pour évaluer la pression P d'un impact Q de dimensions dx et dy au niveau d'un point M excentré de l'impact de x et y et situé à une profondeur z , tel que décrit sur le schéma suivant :

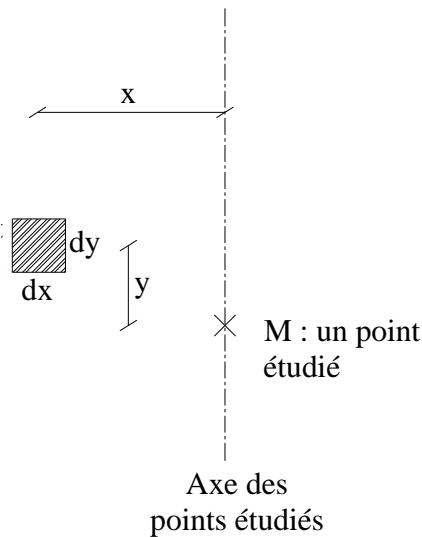
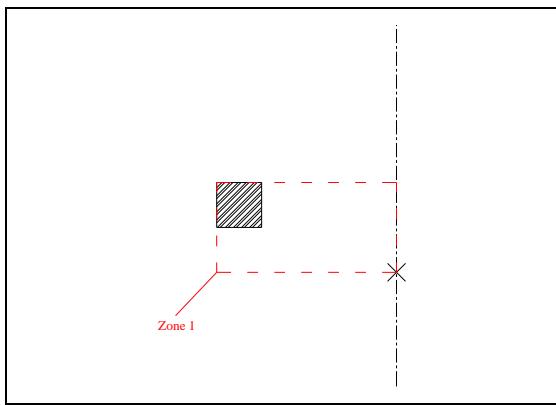


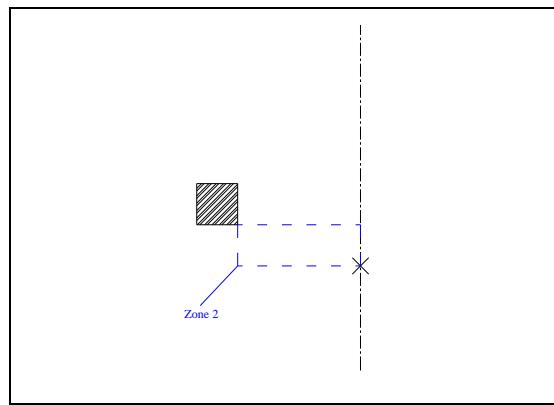
Figure 18

on pose $R = \sqrt{a^2 + b^2 + z^2}$, et $P = \frac{Q}{dx \cdot dy}$

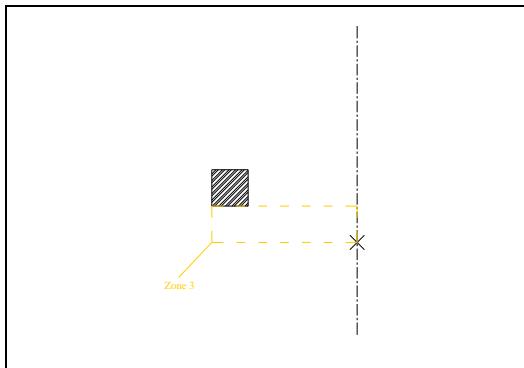
Et on décline la formule $\sigma_{zi} = \frac{P}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\operatorname{Arctg} \frac{a \cdot b}{z \cdot R} + \frac{a \cdot b \cdot z}{R \cdot (a^2 + z^2)} \cdot \frac{a \cdot b \cdot z}{R \cdot (b^2 + z^2)} \right]$ aux cas décrits ci-dessous :



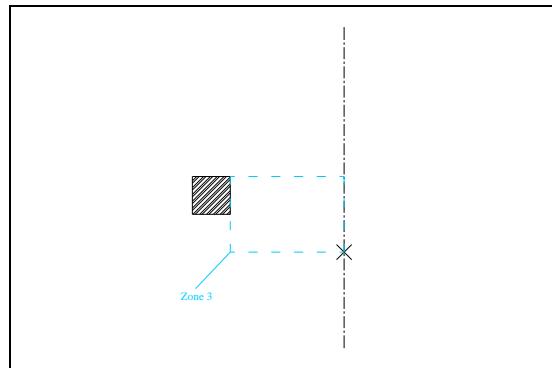
$$\text{Cas n}^{\circ} 1 : a = x + \frac{dx}{2} \text{ et } b = y + \frac{dy}{2}$$



$$\text{Cas n}^{\circ} 2 : a = x - \frac{dx}{2} \text{ et } b = y - \frac{dy}{2}$$



$$\text{Cas n}^{\circ} 3 : a = x + \frac{dx}{2} \text{ et } b = y - \frac{dy}{2}$$



$$\text{Cas n}^{\circ} 4 : a = x - \frac{dx}{2} \text{ et } b = y + \frac{dy}{2}$$

Figure 19

La valeur de la pression à la clé en M est alors la superposition des σ_{zi} des différents cas, dont le signe varie en fonction du signe de « a » et de « b ».

Dans le cas décrit ci-dessus, on a $\sigma_z = \sigma_{z1} + \sigma_{z2} - \sigma_{z3} - \sigma_{z4}$

Pour calculer la pression maximale due au passage d'une charge, on balaye toutes les positions longitudinales de position de charge par rapport à la clef de voute. A la fin de ces opérations, on retient la pression maximale parmi les cas évalués.

C'était la méthode employée dans CONVOA v2.

CONVOA v3 utilise la méthode des impacts uniquement pour les charges fixes.

6.7.4 Méthode 2 : Surface d'influence de Boussinesq

Pour les charges mobiles, CONVOA v3 se base directement sur la surface d'influence aux points d'études et place les charges automatiquement pour avoir l'effet le plus défavorable.

Les points d'études sont situés à la clef de la buse et sur différentes positions transversales du profil en travers.

Application au tablier de pont (effets de bords)

Si on simule le tablier réel et que l'on calcule la poussée de Boussinesq selon la méthode précédente, on tronque artificiellement une partie des charges, celle diffusée hors du tablier car la surface d'influence se diffuse à l'infini avec la formule de Boussinesq. Or le tablier n'a pas une largeur infinie. Ce simple calcul conduit donc à une sous-estimation de la charge appliquée réellement sur l'ensemble de l'ouvrage et une erreur majeure sur le calcul des effets au bord.

Pour avoir la charge totale appliquée sur le tablier, il faut calculer la portion de charge potentiellement diffusée hors ouvrage et la redistribuer sur l'ouvrage. Pour appliquer la partie manquante sur l'ouvrage, plusieurs options sont possibles : on pourrait choisir d'appliquer une charge ponctuelle au bord de l'ouvrage, ou bien de diffuser la charge par symétrie par rapport au bord par exemple. C'est cette dernière option qui est retenue.

Pour obtenir les fractions manquantes de charges diffusées hors ouvrage, on simule 1 tablier à profil symétrique coté bord gauche du tablier et 1 tablier profil symétrique coté bord droite du tablier. On a donc 2 tabliers fictifs accolés au tablier réel. Pour chaque charge mobile appliquée sur le tablier central réel, on applique la même charge mobile depuis les 2 tabliers fictifs de rive (par symétrie au bord respectif), ce qui permet d'obtenir le reliquat de charge sur le tablier central sur les 2 cotés.

6.7.5 Cas des buses métalliques construites après 1982

Ces ouvrages sont censés avoir été dimensionnés conformément aux règles du guide du Sétra de 1981, qui décrit les justifications à l'ELU. Dans les paragraphes qui suivent nous avons repris le formalisme de ce guide à l'ELU, alors que l'ensemble des justifications faites pour les autres types de buses, comme pour les ouvrages évalués par CHAMOA sont réalisées à l'ELS.

Alors que dans les cas usuels le rapport des sollicitations ELU/ELS est de l'ordre de 1,35, le guide du Sétra de 1981 définit des sollicitations "extra-réglementaires" faisant notamment appel un coefficient γ_{F3} majoré. Il a donc été nécessaire de réaliser une évaluation des effets des actions selon les prescriptions du guide pour le cas particulier des buses métalliques dimensionnées après 1981.⁴

⁴ En pratique dans CONVOA, on considérera que la méthodologie du guide du Sétra a été mise en œuvre dès le 1^{er} janvier 1982.

Principes définis dans le guide du Sétra

Les justifications du guide sont faites à l'état limite ultime, conformément à la circulaire 79-25 du 13 mars 1979, dite "Directives Communes de 1979", aussi, selon les notations de l'époque, les sollicitations de calcul sont données par l'expression suivante :

$$Sc = \gamma_{F3} \cdot S(\gamma_{F1G} \cdot G + \gamma_{F1Q} \cdot Q)$$

Équivalent de l'expression $Ed = \gamma_{Sd} \cdot E(\gamma_g \cdot G + \gamma_q \cdot Q)$ de l'Eurocode (EC0 : chapitre 6.3) avec :

γ_{F3} : coefficient de modèle, tenant compte des incertitudes sur l'évaluation des effets des actions. Ce coefficient vaut normalement 1,125. (Il est l'équivalent du coefficient γ_{Sd} de l'Eurocode).

γ_{F1G} et γ_{F1Q} : sont des coefficients partiels pour les actions, qui tiennent compte de la possibilité d'écart défavorables des valeurs de l'action par rapport aux valeurs représentatives. (Ils sont l'équivalent des coefficients γ_g et γ_q de l'Eurocode). Ces coefficients dépendent de la nature de l'action :

- $\gamma_{F1G} = 1,20$ pour les actions permanentes
- $\gamma_{F1Q} = 1,42$ pour les charges routières sans caractère particulier, y compris les charges de remblai.
- $\gamma_{F1Q} = 1,20$ pour les convois militaires et exceptionnels.

En effectuant le produit des coefficients $\gamma_{F3}\gamma_{F1}$, on retrouve les coefficients usuels de combinaison à l'ELU :

- $\gamma_G = \gamma_{F3}\gamma_{F1G} = \gamma_{Sd}\gamma_g = 1,125 \times 1,20 = 1,35$ pour les actions permanentes
- $\gamma_Q = \gamma_{F3}\gamma_{F1Q} = \gamma_{Sd}\gamma_q = 1,125 \times 1,42 = 1,60$ pour les charges routières sans caractère particulier
- $\gamma_Q = \gamma_{F3}\gamma_{F1Q} = \gamma_{Sd}\gamma_q = 1,125 \times 1,20 = 1,35$ pour les convois militaires et exceptionnels.

Le guide du Sétra de 1981 précise que "pour tenir compte de l'approximation grossière qui consiste à négliger les moments fléchissants dans la paroi, on est amené à donner à γ_{F3} une valeur élevée.

On retiendra $\gamma_{F3} = 2$ pour l'ensemble des charges mobiles pour les buses métal.

1.1.1.1.16 Adaptations dans le cadre de CONVOA (buse métal)

Si la précaution du guide est parfaitement légitime pour les ouvrages sous faible remblai, elle paraît relativement sécuritaire pour les ouvrages sous fort remblai, qui sont chargés uniformément. C'est pourquoi, nous proposons d'évaluer l'effet du convoi exceptionnel étudié en tenant compte d'un coefficient de modèle réduit, noté $\gamma_{F3, réduit}$. On considère que ce coefficient, conserve la valeur de 2 proposée par le guide pour une faible profondeur, diminue en fonction de la hauteur du remblai pour devenir égal à 1,5 à partir d'une profondeur plus conséquente, conservant une marge significative par rapport à la valeur de 1,125 des DC 79.

Pour les convois à vérifier pour les buses métal, on retient donc pour ces ouvrages les valeurs suivantes de $\gamma_{F3, réduit}$ égales à :

- $\gamma_{F3, réduit} = 2$ entre 0 et 2 m d'épaisseur de remblai
- $\gamma_{F3, réduit} = 1,5$ au-delà de 4 m d'épaisseur de remblai
- $\gamma_{F3, réduit}$ varie linéairement entre ces deux valeurs entre 2 et 4 m d'épaisseur de remblai.

1.1.1.1.17 Sollicitation ultime de dimensionnement

Elle résulte de la combinaison définie dans le guide. Dans le cas de la pression à la clé P :

$$Pu, dim = \gamma_{F3} \cdot P(\gamma_{F1G} \cdot G + \gamma_{F1Q} \cdot Q)$$

$$Pu, dim = 2 \cdot (1,2 \cdot \gamma_{remblai} \cdot h + \gamma_{F1Q} \cdot P_Q)$$

Le tableau d'enveloppe des pressions dues aux charges d'exploitation seules à l'ELS figurant au 4.3.1.2 du guide est repris ci-dessous :

h (m)	$Ps = S(\gamma_{F1Q} \cdot Q) = S(1,42 \cdot Q)^*$ (kPa)	Equivalent ELS $P^* = S(\gamma_{F1Q} \cdot Q) \times 1,2 / 1,42$ (kPa)	CONVOA V3 (largeur 25m) Els (kPa)	Type de charge dimensionnant dans convoa
0.5	238.2	201.3	201,6	Bc
1	82.7	69.9	69.9	Bc
1.5	61.7	52.1	52.6	Bt
2	48.6	41.1	41.0	Bt
2.5	38.3	32.4	32.2	Bt
3	31.0	26.2	26,0	Bt
3.5	25.6	21.6	21.5	Bt
4	23.6	19.9	17,8 (18.2)	Bt/(Al60)
5	21.7	18.3	15,1(15.8)	Al/(BC_60)
6.0	20.2	17.1		Al
7	18.9	16	12,2 (14.2)	Al (AL60)
8	17.8	15		
9	16.8	14.2		
10	15.9	13.4	11,7 (12.9)	1t/m2 (AL_60)
11	15.2	12.8		
12	14.2	12.0	11,5(12.1)	1t/m2 (AL_60)

*Compte tenu des valeurs adoptés pour les coefficients γ_{F1Q} , les charges de caractère exceptionnel ne sont jamais prises en compte ici

**AL 60 et BC 60 n'ont pas de coefficient d'abattement a1, a2, mais sont pondérés par $\gamma_{F1Q} = 1.0$

Figure 20 – Tableau des pressions des charges de dimensionnement (colonne de gauche) (chapitre 4.3.1.2 du guide Sétra)

NB : pour retrouver les charges repartie AL et 1t/m2, le calcul du guide suppose implicitement une largeur infinie, il faut considérer une chaussée large (car la zone d'influence devient grande), CONVOA étant limité à 25m de large pour la chaussée, on atteint une borne de chargement pour les charges reparties pour des remblais supérieurs à 4m de haut.

1.1.1.1.18 Sollicitation ultime due au convoi étudié (buse métal)

La sollicitation due au convoi seul est évaluée en application des formules de Boussinesq.

La sollicitation ultime au passage du convoi est la suivante

$$Pu, convoi = \gamma_{F3, réduit} \cdot P(\gamma_{F1G} \cdot G + \gamma_{F1Q, convoi} \cdot Q_{convoi})$$

NB : Dans CONVOA v3, on ne prend que la partie charge mobiles.

1.1.1.1.19 Résumé des coefficients pris en compte (buse métal)

Charge	γ_{F3}	γ_{F1G}	Majoration dynamique
Charges permanente			
	2	1,20	1
Charge	γ_{F3}	γ_{F1Q}	Majoration dynamique
Charges de dimensionnement du fascicule 61, titre II de 1971			
A(l)	2	1,42	1,00
Br, Bc, Bt	2	1,42	1,20
Remblai (1t/m ²)	2	1,42	1,00
Militaires	2	1,20	1,20 ⁵
Engins de chantier	2	1,20	1,20 ⁶
Exceptionnelles D et E	2	1,20	1,0⁷
Charges de dimensionnement des Eurocodes			
LM1 et LM2		1,00	1 ⁸
Remblai		1,00	1,0
LM3		1,00	$\delta_{convoi} = 1 + \frac{0,7}{1 + 0,2 L}$ ⁹
Charge d'accompagnement (LM1)	$1,5 \leq \gamma_{F3} \leq 2$	$1,2 \times (0,4 \text{ UDL} + 0,75 \text{ TS})^{10}$	1 ¹¹
Charges du convoi exceptionnel étudié			
Convoi circulant seul au pas	$1,5 \leq \gamma_{F3} \leq 2$	1,2	1
Convoi circulant seul à vitesse normale	$1,5 \leq \gamma_{F3} \leq 2$	1,2	$1 \leq \delta_{convoi} \leq 1 + \frac{0,7}{1 + 0,2 L}$ ¹²
Charge d'accompagnement (LM1)	$1,5 \leq \gamma_{F3} \leq 2$	$1,2 \times (0,4 \text{ UDL} + 0,75 \text{ TS})^{13}$	1 ¹⁴

Figure 21

⁵ Le guide ne précise pas la majoration dynamique prise en compte pour les charges militaires, mais indique seulement que les charges militaires ne sont pas dimensionnantes. On prendre un coefficient proche de celui pris pour Bc, soit 1,2.

⁶ Même règle que pour les charges militaires.

⁷ Pour les convois D et E d'origine, déplacement au pas.

⁸ Un abattement automatique klm appliquée selon l'épaisseur de remblai (1.0 si $e < 0.5m$ et 0.7 si $e > 2m$)

⁹ Un coefficient automatique k1 appliquée selon l'épaisseur de remblai (δ si $e < 0.5m$ et 1.0 si $e > 2m$)

¹⁰ $1,2 = 1,35 / 1,125$

¹¹ Un abattement automatique klm appliquée selon l'épaisseur de remblai (1.0 si $e < 0.5m$ et 0.7 si $e > 2m$)

¹² Un coefficient automatique k1 appliquée selon l'épaisseur de remblai (δ si $e < 0.5m$ et 1.0 si $e > 2m$)

¹³ $1,2 = 1,35 / 1,125$

¹⁴ Un abattement automatique klm appliquée selon l'épaisseur de remblai (1.0 si $e < 0.5m$ et 0.7 si $e > 2m$)

6.7.6 Cas des buses minces en béton construites après 1965

Pour ces ouvrages, la méthode de dimensionnement utilisée n'est en général pas connue.

L'effet des charges de dimensionnement et l'effet du convoi exceptionnel étudié sont évalués par la méthode de Boussinesq.

1.1.1.1.20 Sollicitations

Il s'agit de la sollicitation de type ELS résultant de la combinaison rare/caractéristique, pour les charges de dimensionnement comme pour les charges dues au convoi. La pression à la clé P :

$$P_{dim} = P(G + \xi_Q \cdot Q), \quad \text{soit} \quad P_{dim} = \gamma_{remblai} \cdot h + \xi_Q \cdot P_Q$$

et

$$P_{Convoi} = P(G + \xi_{Q, convoi} \cdot Q) \quad \text{soit} \quad P_{Convoi} = \gamma_{remblai} \cdot h + \xi_{Q, convoi} \cdot P_{Convoi}$$

Les combinaisons ELU sont les combinaisons classiques

1.1.1.1.21 Résumé des coefficients pris en compte (buse béton)

Charge	ξ_Q	Majoration dynamique
Charges de dimensionnement du fascicule 61, titre II de 1960		
A(l) 60	1,0	1
Br60, Bc60	1,0	$\delta_{EC} = \frac{0,7}{1 + 0,2 L}$
Remblai (1t/m ²)	1,0	1,0
Charges de dimensionnement du fascicule 61, titre II de 1971		
A(l)	1,20	1
Br, Bc, Bt	1,20	$\delta_{EC} = \frac{0,7}{1 + 0,2 L}$
Remblai (1t/m ²)	1,20	1
Exceptionnelles D et E	1,00	1 ¹⁵
Charges de dimensionnement des Eurocodes		
LM1 et LM2	1,00	1 ¹⁶
Remblai	1,00	1,0
Militaires	1,00	$\delta_{EC} = \frac{0,7}{1 + 0,2 L}$ ¹⁷
LM3	1,00	$\delta_{convoi} = 1 + \frac{0,7}{1 + 0,2 L}$ ¹⁸
Charge d'accompagnement dans LM3 (LM1)	(0,4 UDL + 0,75 TS)	1,00 ¹⁹
Charges du convoi à vérifier		
Convoi circulant seul au pas	1,00	1,00
Convoi circulant seul à vitesse normale	1,00	$1 \leq \delta_{convoi} \leq 1 + \frac{0,7}{1 + 0,2 L}$ ²⁰
Charge d'accompagnement (LM1)	(0,4 UDL + 0,75 TS)	1,00 ²¹

Figure 22

¹⁵ Pour les convois D et E d'origine, circule « au pas »

¹⁶ Un abattement automatique klm appliqué selon l'épaisseur de remblai (1.0 si e<0.5m et 0.7 si e>2m)

¹⁷ Un coefficient automatique k1 appliqué selon l'épaisseur de remblai (δ si e<0.5m et 1.0 si e>2m)

¹⁸ Un coefficient automatique k1 appliqué selon l'épaisseur de remblai (δ si e<0.5m et 1.0 si e>2m)

¹⁹ Un abattement automatique klm appliqué selon l'épaisseur de remblai (1.0 si e<0.5m et 0.7 si e>2m)

²⁰ Un coefficient automatique k1 appliqué selon l'épaisseur de remblai (δ si e<0.5m et 1.0 si e>2m)

²¹ Un abattement automatique klm appliqué selon l'épaisseur de remblai (1.0 si e<0.5m et 0.7 si e>2m)

1.1.1.1.22 Calcul du coefficient de majoration dynamique (buse béton)

1.1.1.1.22.1 Cas du convoi exceptionnel étudié

Le coefficient de majoration dynamique pris en compte pour le convoi est défini par l'annexe à l'annexe nationale de l'EN 1991-2 constituant le Guide pour la prise en compte des véhicules spéciaux sur les ponts routiers et vaut :

$$\delta_{convoi} = 1 + \frac{0,7}{1+0,2 L}$$

Pour tenir compte du rôle d'amortisseur que constitue le remblai, le coefficient retenu par CONVOA pour l'évaluation de l'effet du convoi étudié varie linéairement de :

$$\delta_{convoi} = 1 + \frac{0,7}{1+0,2 L} \text{ pour } 0,50 \text{ m d'épaisseur de remblai (L étant l'ouverture de la buse).}$$

$$\delta_{convoi} = 1 \text{ pour } 2,00 \text{ m d'épaisseur de remblai.}$$

Ce coefficient de majoration est appliqué au convoi lors du passage dit "seul à vitesse normale" et lors du passage dit "mêlé à la circulation" mais dans ce dernier cas uniquement au convoi et non à l'accompagnement (la majoration dynamique est en effet comprise dans la définition de la charge d'accompagnement de LM1 de l'Eurocode).

1.1.1.1.22.2 Cas des règlements de 1960 et 1971

Ces règlements utilisaient une formule pour la majoration dynamique donnant des résultats très proches de celle de l'Eurocode. Par simplification on retiendra la formule de l'Eurocode, plus simple d'utilisation.

On appliquera cette valeur quelle que soit l'épaisseur du remblai, le règlement n'évoquant pas d'éventuel abattement sur la valeur du coefficient de majoration dynamique en fonction de l'épaisseur du remblai.

1.1.1.1.22.3 Cas de l'Eurocode

Pour l'Eurocode, le coefficient de majoration dynamique est directement intégré dans les charges LM1 et LM2.

L'annexe nationale à l'Eurocode 1-2 traitant des parties d'ouvrages soumises aux charges sur les remblais contigus (article 4.9.1) donne une indication sur la part de l'intensité des charges relative à la majoration dynamique et propose un abattement de 30 % pour tenir compte « de la réduction des amplifications dynamiques par rapport aux charges sur l'ouvrage ».

Sur le même principe que celui retenu pour le convoi nous ferons donc varier linéairement l'intensité des charges de trafic LM1, LM2 de 100 % pour les remblais de 0,50 m de couverture à 70 % pour les remblais de 2 m



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

