

UNI LONGITUDINAL

Jean Paul MICHAUT
COLAS S;A

L'uni longitudinal est une préoccupation permanente pour tous les constructeurs de chaussée. Cette caractéristique de surface joue un rôle important dans le confort de conduite et a une influence sur la sécurité routière. Il est donc essentiel de définir et de caractériser cette propriété. Les différents chapitres qui suivent, permettent de rappeler ce qu'est l'uni et les spécifications qui s'y rattachent. Son incidence sur le trafic sera également évoquée. Au travers de la circulaire française, il sera possible de définir les niveaux d'uni que doivent atteindre les chaussées. La dernière partie dresse un bilan de son application sur le réseau français et donne des indications sur les gains potentiels lors de la mise en oeuvre des couches de chaussée. La conclusion permettra de mettre en avant les évolutions de cette mesure et son interprétation pour améliorer le confort de l'usager.

1. DEFINITION DE L'UNI.

On appelle uni les défauts longitudinaux de planéité de la route qui provoquent des mouvements parasites pour les véhicules. L'uni se ressent donc par les mouvements qu'il entraîne sur les véhicules en circulation. De nombreuses enquêtes ont démontré que le niveau d'uni est le critère le plus ressenti par les usagers comparativement aux autres caractéristiques. Cela s'explique par l'incidence de l'interaction dynamique route/véhicule sur le confort vibratoire.

Concrètement, l'uni représente la différence entre le profil réel de la chaussée et le profil idéal recherché. C'est une mesure altimétrique entre deux profils: l'un de référence et l'autre de la chaussée. Cette mesure est ensuite exploitée en coefficient APL 25 ou CAPL, ou en notation par bande d'onde (NBO).

2. MOUVEMENT DU VEHICULE

Un véhicule en circulation est soumis à différents mouvements liés à la surface sur laquelle il roule. Ceux-ci se traduisent en fréquence qui sont indiquées dans le tableau 1 suivant.

Tableau 1

Mouvements	Fréquences
Tangage	1 Hz
Roulis	1 à 2 Hz
Pompage	1 à 1,5 Hz
Battement de roue	10 à 13 Hz

En fonction de ces fréquences dites d'excitation, il est possible de déterminer les longueurs d'onde correspondantes à ces irrégularités de la chaussée et qui influent sur la conduite des véhicules. Cette fréquence d'excitation est égale à :

$$\text{Fréquence} = \text{Vitesse du véhicule} / \text{Longueur d'onde des ondulations}$$

Le tableau 2, quant à lui, traduit en gamme de longueur d'onde les fréquences précédentes mises en relation avec les vitesses de circulation.

Tableau 2

Vitesse en m/s	Longueur d'onde excitant la dynamique	
	de caisse (1 à 1,5 Hz)	de roue (10 à 13 Hz)
36 (130 km/h)	de 24 à 36 m	de 3 à 3,6 m
20 (72 km/h)	de 13 à 20 m	de 1,6 à 2 m
6 (22 km/h)	de 4 à 6 m	de 0,5 à 0,6 m

Ces éléments soulignent les longueurs d'ondes qui nous intéressent pour le confort de l'usager et dans le cas de l'uni qui vont avoir une influence sur le trafic. Les défauts d'uni sont donc perçus comme des oscillations aléatoires décomposables en mouvements vibratoires de fréquences allant de quelques 1/10 à une vingtaine de Hz.

Les irrégularités longitudinales de longueurs d'ondes comprises entre 0,5 et 50 m appartiennent au domaine de l'uni.

3. INFLUENCE DE L'UNI SUR LE TRAFIC.

L'uni, en fonction des longueurs d'ondes précédentes, influe sur la circulation:

1. Sur les qualités d'usage

- sur la sécurité par l'augmentation des distances de freinage pour des irrégularités d'uni importantes et par le délestage et la stabilité du véhicule. Les ondes courtes (de 0,7 à 2,8 m) qui vont générer des défauts d'uni sur la sécurité dans certaines configurations: courbes, carrefours, etc. Les moyennes ondes (de 2,8 à 11,2 m) qui vont avoir une incidence sur la sécurité dans certains cas à vitesses élevées. Les grandes ondes (de 11,2 à 44,8 m) qui n'entraîne pas d'incidence notable sur la sécurité pour les véhicules routiers mais qui sont importantes pour les avions.

- sur le coût de fonctionnement des véhicules: augmentation de la consommation de carburant, incidence sur l'usure des véhicules,
- sur le confort du conducteur et des passagers: désagrément dû aux oscillations (grandes longueurs d'ondes), aux vibrations du volant et du plancher (courtes longueurs d'ondes), sans oublier la génération de bruit (hautes et basses fréquences).

2. Sur les surcharges dynamiques des poids lourds

- le délestage provoque des surcharges dynamiques importantes (qui peuvent être supérieures à 10 % de la charge par essieu) qui réduisent la durée de vie de la chaussée.

Des recherches ont exprimé l'influence de l'uni sur la consommation de carburant par la relation:

$$Sr(l/100 \text{ km}) = 0,6 (0,5 R + (0,3,0,8R))$$

avec R = moyenne des notes d'uni à l'APL 72 en PO, MO et GO.

La surconsommation est d'environ 5 % pour une chaussée ayant un mauvais uni.

Après ces rappels, il est intéressant d'étudier les documents relatifs à l'uni et à ses spécifications. Ce sera essentiellement la circulaire de la direction des routes françaises.

4. APPAREIL POUR LA MESURE DE L'UNI (L'ANALYSEUR DE PROFIL EN LONG) OU APL.

L'appareil utilisé pour la mesure de l'uni est l'analyseur de profil en long (APL) et est exploité à une vitesse de 6 m/s.

La fonction de transfert, ensemble du bras porte roue et du pendule, est égale à 1 dans la gamme des fréquences de 0,32 Hz (fonction de transfert du pendule: réponse unité à partir de 0,4 Hz) et de 23 Hz (fonction de transfert du bras porte roue: réponse unité dans la gamme 0 à 20 Hz). En fonction de la vitesse, la gamme de longueur d'onde est différente. Pour une vitesse donnée, chaque fréquence correspond à un défaut: $F = V/L$.

La zone de sollicitation (en fréquence) concernée va donc de 0,4 à 20 Hz, ce qui donne en fonction de la vitesse (pour l'APL 25, la vitesse est de 6 m/s soit 21,6 km/h), des longueurs d'ondes comprises entre 0,5 et 15 m.

Le CAPL 25 est un indice moyen d'amplitude des écarts altimétriques en valeurs absolues entre le pseudo profil d'un pendule inertiel et le profil de la chaussée sur une longueur de 25 m échantillonnée tous les 25 cm et pour un domaine d'onde compris entre 0,5 et 15 m. Plus le CAPL est élevée, plus la chaussée est déformée.

5. CONTENU DE LA CIRCULAIRE DE LA DIRECTION DES ROUTES FRANÇAISES.

Le "Contrôle de l'uni longitudinal des travaux sur chaussées" comprend quatre documents:

- la circulaire 84-50 qui est l'élément fondamental et qui donne les spécifications,
- le guide technique du contrôle de l'uni qui rappelle le principe de l'uni et les valeurs à obtenir,
- la mesure de l'uni des couches de chaussées avec l'analyseur de profil en long APL 25 qui décrit la méthode d'essai,
- et les clauses contractuelles types CCAP et CCTP à incorporer dans les marchés.

La circulaire UNI impose des spécifications pour le réseau routier national. C'est à dire qu'elle ne s'applique que sur le réseau géré par la direction des routes. Son domaine d'application est très clair et défini comme suit:

les mesures contractuelles de l'uni ne visent que la couche de surface définitive de la chaussée". Autrement dit:

La circulaire concerne uniquement les couches de roulement

Pour l'application de cette circulaire, lors de la réception des chantiers, ceux-ci sont découpés par lots d'une longueur de 1000 m. Les spécifications qui sont présentés dans les tableaux suivants correspondent à ces lots.

La circulaire proprement dite comprend trois parties:

1. la première concerne les travaux de renforcement en rase campagne dont au moins deux couches sont mises en oeuvre.

2. la deuxième partie s'adresse à l'entretien des chaussées. Il faut distinguer entre l'application d'une couche mince et d'une couche épaisse. Dans le second cas, pour une couche d'épaisseur suffisante et pour un chantier important, ou bien pour des travaux motivés par une dégradation de l'uni, la circulaire peut s'appliquer. Son application sera différente selon qu'il s'agit de chaussée en bon état ou de chaussée non renforcée.

3. La troisième partie est en relation avec les travaux en traverse ou en milieu urbain.

Chaussées neuves ou renforcées

Les spécifications retenues pour les chaussées neuves ou pour les chaussées dont au moins deux couches sont mises en oeuvre sont indiquées dans le tableau 3.

Tableau 3

SPECIFICATIONS EN CHAUSSEE NEUVE					
CAPL 25	4	6	8	13	16
Autoroutes	55 %		90 %	100 %	
Routes nationales		50 %		95 %	100 %
Autoroute uni global	75 %		95 %	100 %	

Pour les autoroutes en fonction du suivi et de l'exécution du chantier, des spécifications différentes peuvent être demandées. C'est ce qui est appelé l'uni global et qui correspond à la troisième ligne du tableau 3. Cette notion d'uni global se caractérise par les éléments suivants:

- cela concerne la totalité du chantier
- il n'y a pas de découpage par lot
- les mesures sont faites couche par couche
- chaque voie de circulation est prise en compte.

Du fait de ces éléments, les spécifications demandées sont plus sévères mais elles font intervenir l'uni en tant qu'outil d'aide à la réalisation et non pas en tant qu'outil de contrôle pour chaque couche, car rappelons-le, il n'y a pas de spécifications sur les couches inférieures. Ces différences expliquent les modifications des spécifications. Les valeurs de 4 et 8 augmentant respectivement à 75 et 95 %.

Entretien des chaussées

Deux cas sont à considérer:

1. le premier est relatif aux chaussées en bon état ou renforcées et
2. le second aux chaussées non renforcées.

Les chaussées en bon état ou renforcées ont généralement de bons niveaux d'uni et permettent après travaux d'atteindre les spécifications.

Les chaussées non renforcées doivent faire l'objet de mesure d'uni avant travaux. En fonction des résultats obtenus, le niveau d'exigence est spécifié:

- les valeurs mesurées avant travaux doivent atteindre les seuils du tableau 4 pour que la circulaire puisse s'appliquer.

Tableau 4

SEUILS MINIMUMS			
CAPL	£ 6	£ 13	£ 16
Pourcentage de valeurs	35 %	75 %	90 %

• dans le cas contraire ou si une valeur est inférieure, soit des travaux préparatoires sont réalisés et auquel cas les spécifications de la circulaire peuvent s'appliquer, soit une règle de compensation est utilisée qui permet de déterminer de nouvelles spécifications (tableau 5). Ces dernières ne pouvant être supérieures à celles de la circulaire.

Tableau 5

SPECIFICATIONS EN FONCTION DE L'ETAT INITIAL				
CAPL	< 6	< 13	< 16	
% de valeurs à obtenir		30 + 0,6 N6	40 + 0,6 N13	45 + 0,6 N16

Travaux en traverse ou en milieu urbain

Dans la majorité des cas, ces travaux sont très spécifiques et ne permettent pas d'imposer la circulaire. Il conviendra d'appliquer et de respecter les règles de l'art. Rappelons pour terminer que pour que ces spécifications puissent être applicables, le chantier doit avoir une longueur supérieure ou égale à 1000 m. Dans le cas contraire, la qualité d'uni de la chaussée sera appréciée en vérifiant d'une part que les règles de l'art

sont bien appliquées et que les mesure d'uni montrent en fonction du type de chantier qu'aucune valeur n'est supérieure à 13 ou 16.

Evolution de la circulaire 84-50

Depuis la mise au point de l'APL décrit dans le paragraphe suivant, des modifications technologiques sont apparues et qui ont été intégrées à cet appareil de mesure. Ceci a entraîné un code de calcul plus précis et a mené à tenir compte de la répétabilité et de la reproductibilité de cette mesure. Des campagnes d'essais croisés ont permis de fixer une tolérance de 3 % par rapport aux seuils fixés.

6. APPLICATION DE LA CIRCULAIRE

Depuis l'application de la circulaire, un bilan a été récemment dressé afin de montrer les difficultés éventuelles d'application de ces spécifications. Le tableau 6 montre les tendances qui ressortent de ce bilan. Trois types de chaussées sont prises en compte: les routes nationales, les autoroutes et les routes départementales bien qu'il n'y ait pas de spécifications pour ces dernières. Les résultats suivants concernent les couches de roulement.

Tableau 6

Pourcentage de lots conformes à la directive					
Notes en CAPL 25	4	6	8	13	16
Autoroutes	74,3 %		87,3 %	90,4 %	
Routes nationales		91,5 %		94	93,6 %
Routes départementales		76,3 %		84,4 %	85,8 %

L'application de la circulaire ne pose pas de problème particulier. Il y a seulement quelques cas qui ne sont pas conformes aux spécifications. Le niveau d'uni obtenu peut être considéré comme largement acceptable. Il faut rappeler qu'il n'existe pas de spécifications pour le réseau départemental.

Les valeurs indiquées ci-dessus proviennent de la comparaison aux seuils de la circulaire pour les routes nationales. On peut constater que le niveau d'uni obtenu sur le réseau départemental est d'un bon niveau, mais est-il nécessaire d'avoir un si bon niveau pour ce type de chaussée où la vitesse est théoriquement plus faible ?.

Une autre comparaison intéressante concerne, non pas le nombre de lots conformes ou non sur ces différents réseaux, mais l'uni global obtenu pour chacun de ceux-ci. C'est l'objet du tableau 7.

Tableau 7

Valeur moyenne de l'uni sur différents réseaux					
Notes en CAPL 25	4	6	8	13	16
Autoroutes	60 %	82 %	92 %	98 %	100 %
Routes nationales	50 %	75 %	88 %	96 %	100 %
Routes départementales	22 %	48 %	66 %	90 %	95 %

A l'évidence, le réseau ayant le meilleur uni (en valeur moyenne) est celui des autoroutes, puis celui des routes nationales et enfin des routes départementales. D'autres éléments sont également éloquentes sur la qualité d'uni obtenu sur les chantiers. Par exemple, l'influence de la taille du chantier sur le niveau d'uni. Le tableau 8 met en avant ce critère en prenant en compte 4 tailles de chantiers.

Tableau 8

Comparaison des niveaux d'uni par longueurs de chantiers					
Notes en CAL 25	4	6	8	13	16
< 2000 m	20 %	50 %	68 %	90 %	95 %
de 2000 à 6000 m	36 %	62 %	81 %	93 %	96 %
de 6000 à 12000 m	58 %	80 %	88 %	95 %	97 %
> 12000 m	59 %	81 %	90 %	96 %	97 %

Plus le chantier est important, meilleur est l'uni obtenu. Cela milite sur la réalisation de chantiers de grande importance qui permettent de mettre en oeuvre du matériel plus spécifique mais également des méthodes de travail plus efficaces.

Ces différents points nous amènent naturellement à la mise en oeuvre et son influence sur l'uni.

7. UNI ET TECHNIQUES DE MISE EN OEUVRE

Pour obtenir un bon uni, des règles élémentaires sont à appliquer. Les principales font l'objet des paragraphes suivants. De façon générale, le mode de guidage doit être approprié au problème à régler et chaque couche doit servir à améliorer une gamme de longueur d'onde:

1. Les grandes ondes doivent être réglées lors de la réalisation de la couche de forme et de fondation en utilisant un guidage sur fil ou par laser.

2. les moyennes ondes doivent être réglées lors de la mise en oeuvre de la couche de base par une poutre longue, il en est de même pour la couche de liaison éventuelle répandue au moyen d'une poutre longue
3. enfin pour les petites ondes, c'est le rôle de la couche de roulement qui doit être répandue en fonction de l'épaisseur, soit par vis calées (de 2 à 4 cm) ou sans guidage ou avec poutre en fonction du support (6 à 8 cm).

Le tableau suivant récapitule ces différents modes de guidage.

Tableau 9

Couche	Guidage
Fondation	guidage sur fil (grande longueur d'onde)
Base	poutre longue (moyenne longueur d'onde)
Liaison	poutre
Roulement épaisseur 6 à 8 cm	sans guidage ou avec poutre en fonction du support
Roulement épaisseur 2 à 4 cm	sans guidage (vis calées)

L'usage de la poutre est fonction des longueurs d'onde. Sa longueur est au moins égale aux longueurs d'onde défectueuses:

- pour 0 à 3,3 m : poutres frontales de 6 m de long
- pour 3,3 à 13 m : poutres latérales de 12 m ou poutres longues

En conclusion, les poutres enjambeuses de grande portée permettent d'atteindre les spécifications pour les notes supérieures à 8 et le finisseur en vis calées améliore essentiellement les valeurs à 4 et 6.

Pour mieux illustrer l'usage du guidage, le tableau suivant donne, pour des poutres enjambeuses de longueur 12 m, des gains moyens observés sur différents chantiers. Ceux-ci tiennent compte de l'état du support, ce qui entraîne des gains d'uni plus ou moins importants.

Tableau 10

Gain d'uni en pourcentage					
Notes en CAPL 25	4	6	8	13	16
Sur couche de base	15/40	20/65	30/75	15/45	10/40
MOYENNE	20	38	52	27	15
Sur couche de liaison	5/45	30/50	20/50	0/20	0
MOYENNE	25	40	28	8	0

Une grande variation des gains est possible qui vient du niveau d'uni initial très faible. Les poutres enjambeuses permettent d'améliorer de façon importante le niveau d'uni d'une chaussée pour toutes les notes.

A l'occasion du bilan précédent, d'autres paramètres sont ressortis. C'est ainsi que les tableaux suivants illustrent d'une part (tableau 11) la comparaison des niveaux d'uni par types de travaux et ce en fonction du nombre de couches et d'autre part (tableau 12) la comparaison des niveaux d'uni en fonction de l'épaisseur de la couche de roulement.

Tableau 11

Comparaison d'uni par types de travaux					
Notes en CAPL 25	4	6	8	13	16
1 couche en entretien	30 %	60 %	78 %	92 %	94 %
2 couches en renforcement	30 %	63 %	82 %	93 %	95 %
3 couches en travaux neufs	43 %	75 %	90 %	94 %	100 %
4 couches en travaux neufs	68 %	85 %	92 %	95 %	100 %

Nous retrouvons à la lecture de ce tableau que le niveau d'uni obtenu est fonction du nombre de couches, plus elles sont nombreuses, meilleur est l'uni.

Tableau 12

Comparaison des niveaux d'uni en fonction de l'épaisseur de la couche de roulement					
Notes en CAPL 25	4	6	8	13	16
< 5 cm	53 %	75 %	88 %	95 %	98 %
de 5 à 7 cm	30 %	58 %	75 %	92 %	96 %
> 7 cm	45 %	75 %	88 %	96 %	99 %

Ce dernier tableau est intéressant car il souligne la mise en oeuvre en faible épaisseur réalisée vis calées et la mise en oeuvre réalisée en forte épaisseur en utilisant un guidage. Pour des épaisseurs moyennes, le choix du guidage n'est pas toujours judicieusement fait ce qui explique les valeurs obtenues.

8. FUTURE ORIENTATION

L'uni tel que nous le pratiquons ne permet pas aujourd'hui de résoudre tous les problèmes. De plus, malgré l'application satisfaisante des spécifications, des chaussées conformes aux termes de la circulaire ne sont pas confortables pour l'usager. Une étude plus approfondie a montré par ailleurs que le CAPL 25 pouvait masquer les défauts de petites ondes car il est plus sensible aux moyennes ondes (de 0,5 à 15 m).

Ensuite, le constat précédent pose la question du niveau d'uni à obtenir par type de chaussée. Faut-il avoir un uni aussi bon sur autoroute que sur route nationale ou départementale. La Direction des Routes a créé un groupe national sur les caractéristiques de surface dont une de ses missions, au travers d'un groupe spécialisé, est l'écriture d'une nouvelle circulaire UNI plus appropriée au contexte actuel et mettant en avant l'importance des petites ondes.

Ce projet utilise toujours l'APL mais avec une exploitation différente. La mesure est toujours altimétriques (le pas de mesure est de 5 cm) mais elle est calculée en énergie, dite énergie par bande d'ondes (EBO). Cette énergie est ensuite transformée en note qui vont de 1 à 10. Plus la note est élevée, meilleur est l'uni. Les gammes de longueurs d'ondes sont conservées:

- petites ondes (0,7 à 2,8 m): sur une longueur de 20 m,
- moyennes ondes (2,8 à 11,2 m): sur une longueur de 100 m,
- grandes ondes (11,2 à 45 m): sur une longueur de 200 m.

La longueur serait égale au minimum à 4 fois la longueur de la plus grande longueur d'onde de la gamme concernée (en terme de statistique: de 8 à 10 périodes) ce qui conduit à retenir des lots d'une longueur de 1000 m pour répondre d'une part à l'approche statistique et d'autre part pour assurer une continuité avec la circulaire existante.

Les vitesses de référence seront prises en compte et c'est ainsi que nous aurons des spécifications pour le réseau national à différentes vitesses: 90, 110 et 130 km/h.

Des vitesses de mesure différentes (10, 15 et 20 m/s) seront également possibles pour assurer la continuité entre l'exécution du chantier et le suivi de la chaussée.

Enfin, une note de qualité d'usage pourrait être établie et elle serait de la forme:

UNI = fonction (aPO + bMO + dGO) avec un poids plus important pour les PO, un poids moyen pour les MO et un poids plus faible pour les GO, ce dernier variant avec la vitesse.

Ces différents points seront dans la nouvelle circulaire qui est en cours d'élaboration par le Groupe National des Caractéristiques de Surface.

9. CONCLUSION

L'uni est une caractéristique de surface est importante. Son influence est loin d'être négligeable sur le confort des usagers. L'application des différentes spécifications permet d'obtenir des réseaux confortables. Mais les éléments évoqués ci-dessus ne doivent pas faire oublier:

- qu'il existe une disparité importante sur les seuils à obtenir après travaux et qu'il est nécessaire de préciser ces seuils en fonction du niveau de service et de la nature du réseau.

- que s'il est vrai que les spécifications très élevées sont obtenues sur les chantiers autoroutiers, il ne faut pas oublier que ceux-ci font appel à du matériel très spécifique. A cet égard, les résultats obtenus sur des chantiers traditionnels sont intéressants et montrent bien la disparité entre ces valeurs.

L'uni par le CAPL 25 a ses limites :

- pas de continuité entre la réception du chantier et son suivi,
- les petites longueurs d'ondes ne sont pas mises en évidence,
- pas de possibilité de moduler les exigences en fonction de l'itinéraire et de la vitesse

Il est nécessaire de redéfinir de nouvelles spécifications permettant de répondre aux questions précédentes, c'est l'objet du projet de la nouvelle circulaire. Car si l'uni est un élément de réception, cela doit être également un outil d'aide pour la réalisation des chantiers.

ANNEXE 1

Quelques définitions

CAPL 25: indice proportionnel à la partie entière de la moyenne des valeurs absolues des écarts entre les amplitudes des dénivellations de la chaussée par rapport à un pendule inertiel.

EBO (énergie par bande d'onde): somme des carrés des amplitudes du pseudo-profil filtré par bandes en petites, moyennes et grandes ondes et exprimée en cm^3 .

Filtre d'octave: filtre dont la longueur d'onde centrale est de 1 m, les longueurs d'ondes centrales des différents filtres consécutifs sont dans un rapport de 2 (voir définition de l'octave)

Filtre de bioctave: association de 2 octaves consécutives.

Fréquence: nombre de vibrations par unité de temps dans un phénomène périodique.

Fréquence spatiale: inverse de la longueur d'onde exprimée en cycle par mètre, la fréquence spatiale définit le nombre d'onde par mètre pour une longueur d'onde donnée.

Harmonique: se dit de sons dont les fréquences sont des multiples entiers d'une même fréquence fondamentale (grandeur sinusoïdale dont la fréquence est un multiple entier d'une fréquence dite fondamentale, ou chacun des termes d'une fonction périodique en série de Fourier).

Longueur d'onde: distance entre 2 points consécutifs de même phase d'un mouvement ondulatoire qui se propage en ligne droite.

NBO (note par bande d'onde): note comprise entre 1 et 10 déterminée par transformation logarithmique des énergies EBO contenues dans les bandes de bioctave.

Octave: intervalle de 2 vibrations dont l'une a une fréquence double de l'autre.

Onde kilométrique ou onde radioélectrique: onde de longueur comprise entre 1000 et 2000 m (300 kHz à 150 kHz)

Onde métrique ou onde radioélectrique: onde de longueur comprise entre 1 et 10 m (300 MHz à 30 MHz)

Onde moyenne ou onde hectométrique: onde de longueur comprise entre 187,5 m et 577 m (1600 kHz à 520 kHz).

Période: inverse de la fréquence, durée d'une oscillation complète (espace de temps).
 A une haute fréquence correspond une faible longueur d'onde, à une basse fréquence correspond une grande longueur d'onde.

ANNEXE 2

Définition des longueurs d'ondes pour la mesure de l'uni à l'APL

Petites ondes:

Bande regroupant les octaves ayant une fréquence spatiale centrale de 1 cycle par mètre et de 0,5 cycle par mètre.

Moyennes ondes:

Bande regroupant les octaves ayant une fréquence spatiale centrale de 0,25 cycle par mètre et de 0,125 cycle par mètre.

Grandes ondes:

Bande regroupant les octaves ayant une fréquence spatiale centrale de 0,0625 cycle par mètre et de 0,03125 cycle par mètre.

Le tableau ci-après récapitule ces valeurs en termes de différentes longueurs.

Bande	Bi-octave	Octave	Fréquence spatiale
Petites ondes	0,7 m	0,7 m 1 m	1
0,7 à 2,8 m	1,41 m	1,41 m 2 m	0,5
	2,82 m	2,82 m	
Moyennes ondes	2,82 m	2,82 m 4 m	0,25
2,8 à 11,3 m	5,66 m	5,66 m 8 m	0,125
	11,32 m	11,32 m	

Grandes ondes	11,32 m	11,32 m 16 m	0,0625
11,3 à 45,2 m	22,62 m	22,62 m	0,03125
	45,25 m	32 m 45,25 m	

Octave = $\div$ (limite basse multipliée par la limite haute), pour 2 m = $\div$ (1,41x2,82)

La fréquence spatiale telle que définie ci-dessus correspond au nombre d'onde par mètre pour une longueur d'onde donnée: 1 onde ou 1 cycle pour une longueur d'onde de 1 m, 0,5 onde (ou 0,5 cycle) pour une longueur d'onde de 2 m, 0,25 onde (0,25 cycle) pour une longueur d'onde de 4 m, etc...

Bibliographie

Circulaire 84-50 de la Direction des Routes Françaises
 Note d'information du SETRA n° 76: L'uni longitudinal des chaussées
 Note d'information du SETRA n° 90: Uni et mise en œuvre