



# PROTECTION SISMIQUE DES STRUCTURES

TD : exemple d'un pont à 6 travées

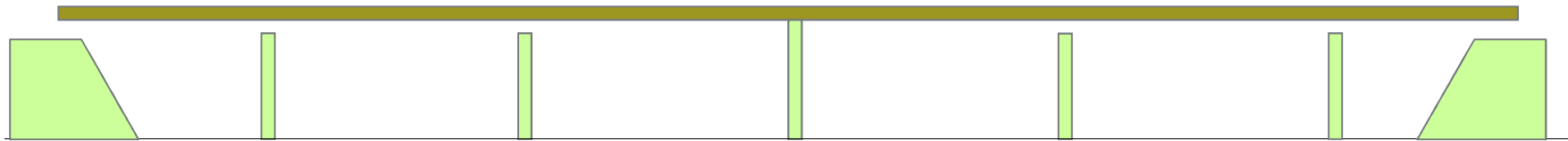
Charles CYNOBER  
4 novembre 2013  
INSA de ROUEN

## Exemple théorique

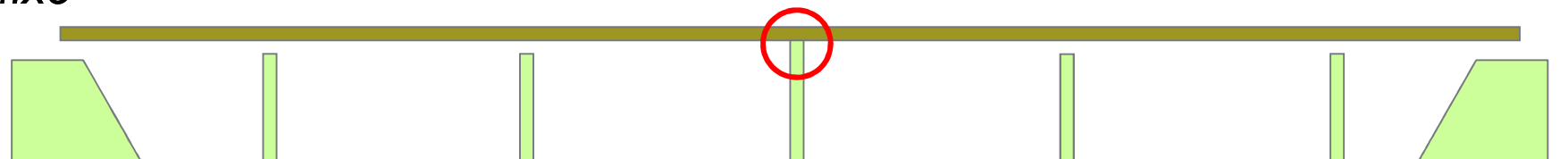
Considérons un pont de 300 m de long et de masse  $M = 10\,000\text{ T}$  qui doit être protégé longitudinalement pour le séisme suivant (Sud-Est de la France):

Sol S1 (AFPS 92) et  $R_m = 2\text{ m/s}^2$

Le tablier est supporté par 5 piles identiques de rigidité  $K_p = 300\text{ MN/m}$



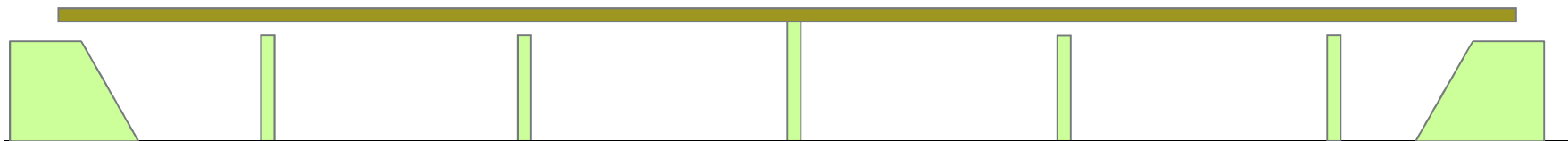
*Pour éviter tout déplacement du tablier en service, la pile centrale  $P_3$  est fixe*



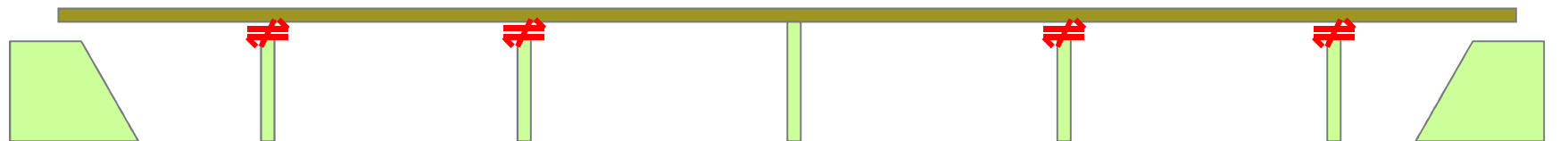
# Exemple théorique

Trois solutions seront envisagées:

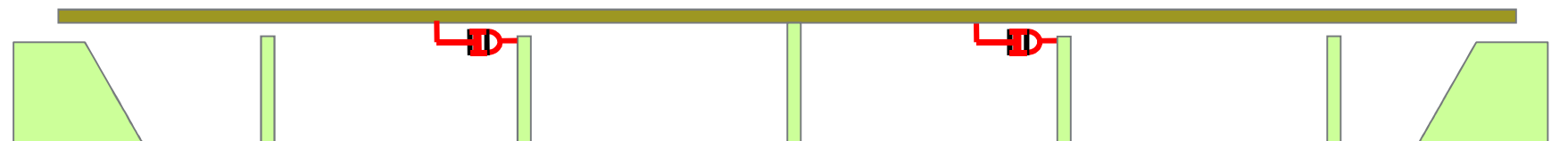
1. Pile centrale fixe, les autres piles restant libres



2. Pile centrale fixe, les autres piles étant équipées de STU



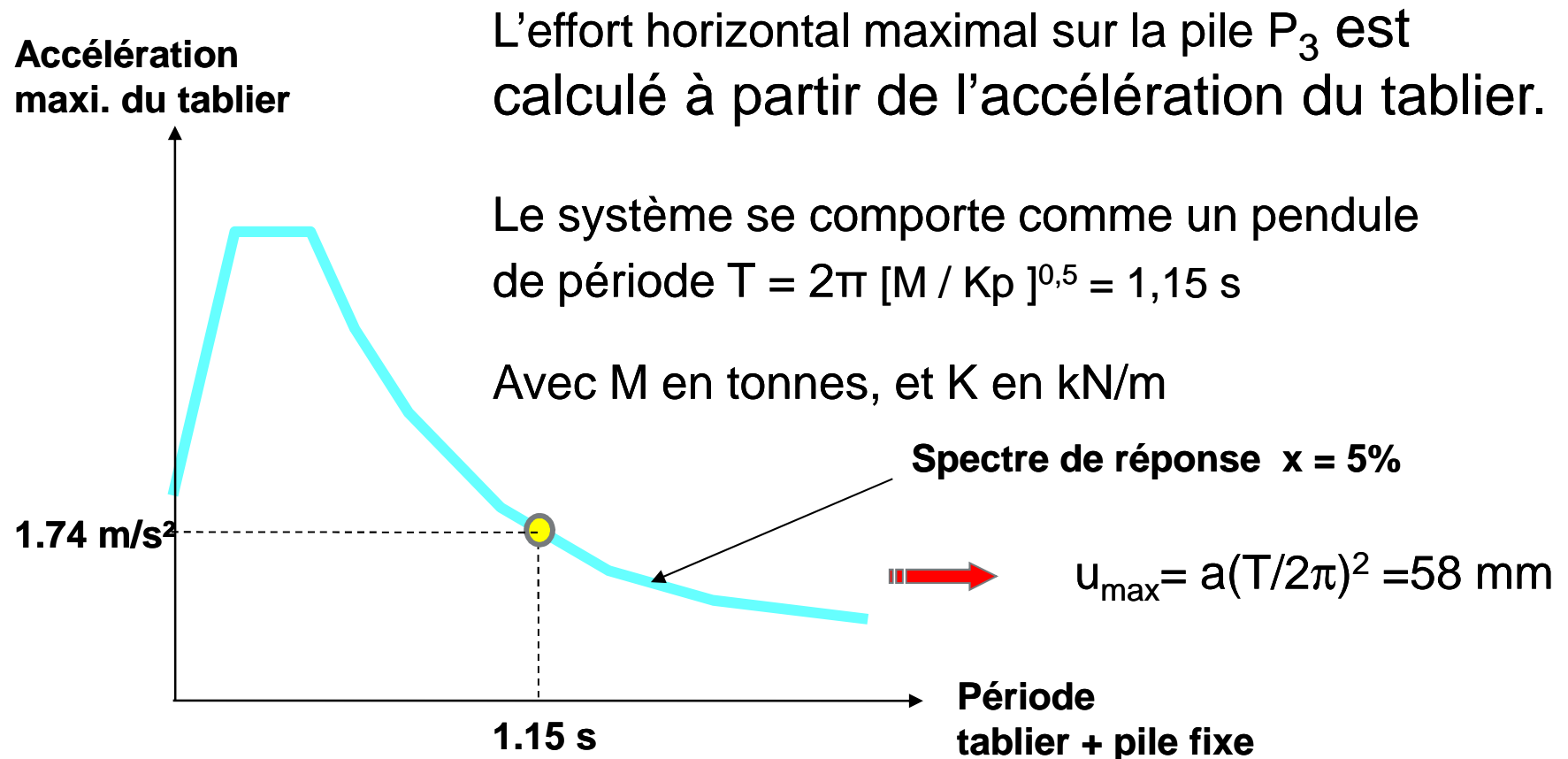
3. Pile centrale fixe, piles  $P_2$  et  $P_4$  équipées de FVD,  $P_1$  et  $P_5$  restant libres



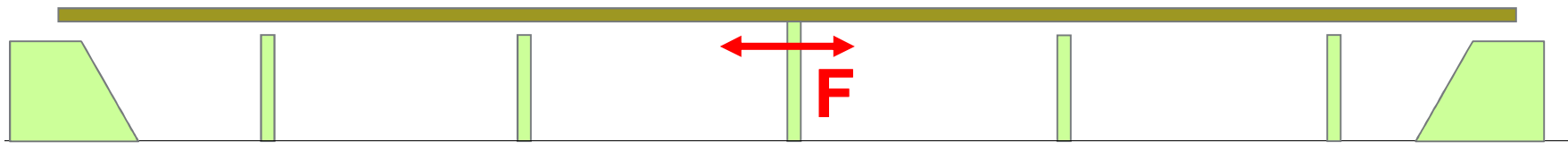
 Symbole pour STU

 Symbole pour amortisseur

# 1. Pile centrale fixe, les autres restant libres



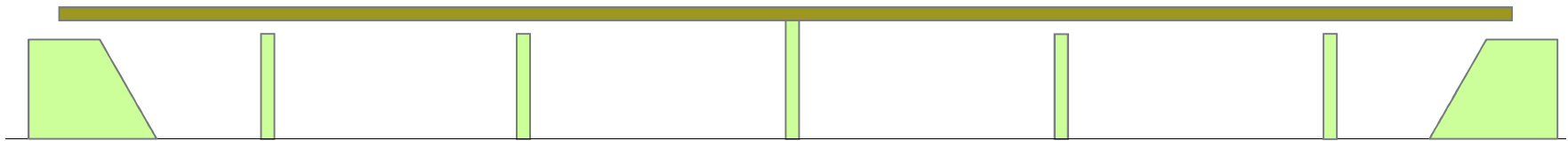
# 1. Pile centrale fixe, les autres restant libres



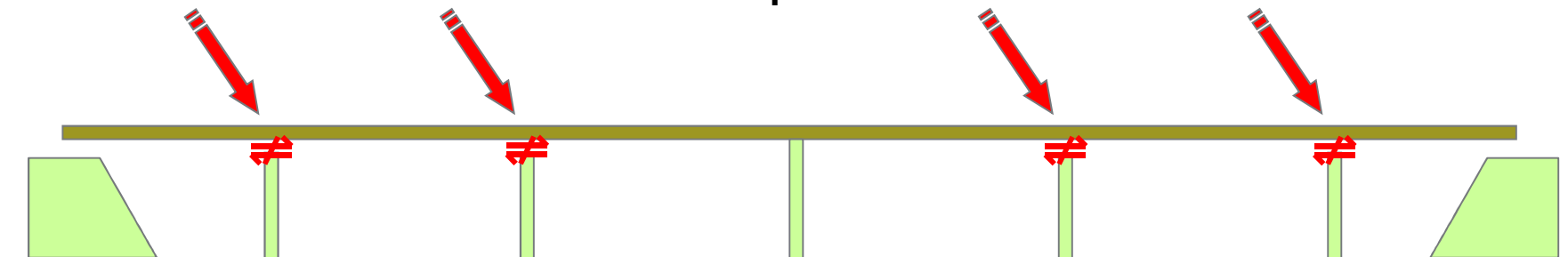
$$F_{\max} = M a_{\max} = 17\,435 \text{ kN}$$

Si la pile  $P_3$  ne peut pas supporter un tel effort, une autre solution doit être envisagée

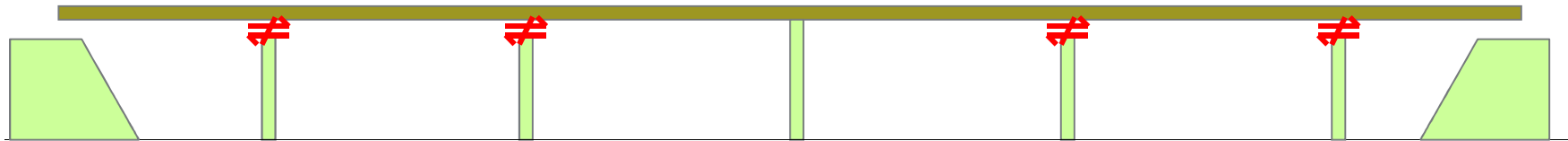
## 2. Pile centrale fixe, les autres piles étant équipées de STU



Les piles  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_4$  &  $P_5$  sont équipées de STU. Sous sollicitation dynamique, les 5 piles s'opposent au mouvement de manière identique...



## 2. Pile centrale fixe, les autres piles étant équipées de STU



... les 5 piles s'opposent au mouvement du tablier en combinant leur rigidité respective.

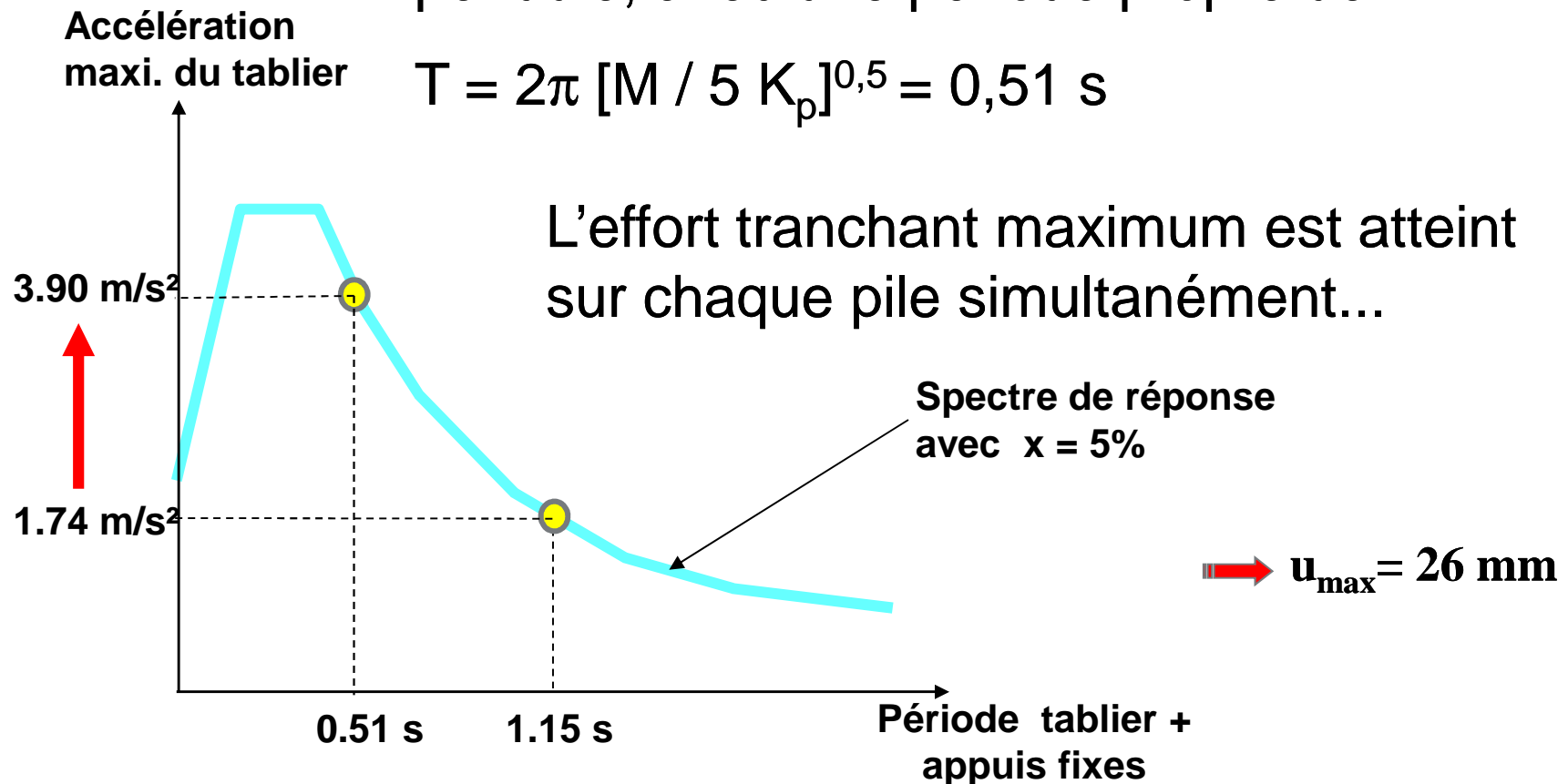
La nouvelle période propre est  $T = 2\pi [M / 5 K_p]^{0,5} = 0,51 \text{ s}$

Le système est plus rigide; la réaction est donc plus élevée, mais elle est maintenant distribuée équitablement entre les 5 piles.

## 2. Pile centrale fixe, les autres piles étant équipées de STU

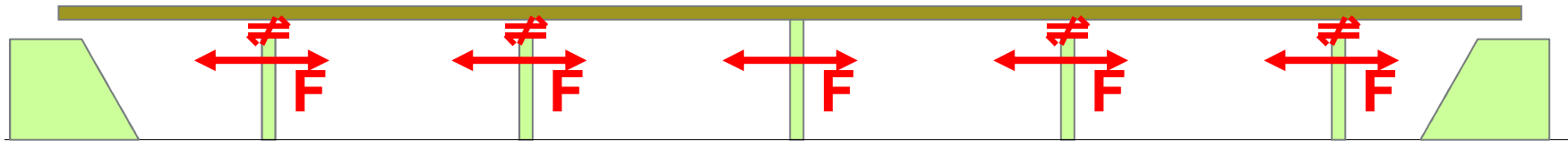
Le système se comporte encore comme un pendule, avec une période propre de

$$T = 2\pi [M / 5 K_p]^{0,5} = 0,51 \text{ s}$$





## 2. Central pier fixed, STU at other piers

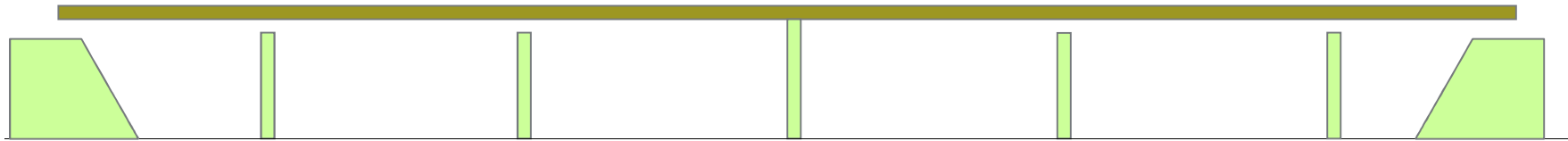


$$F_{\max} = M a_{\max} = 39\,000 \text{ kN}$$

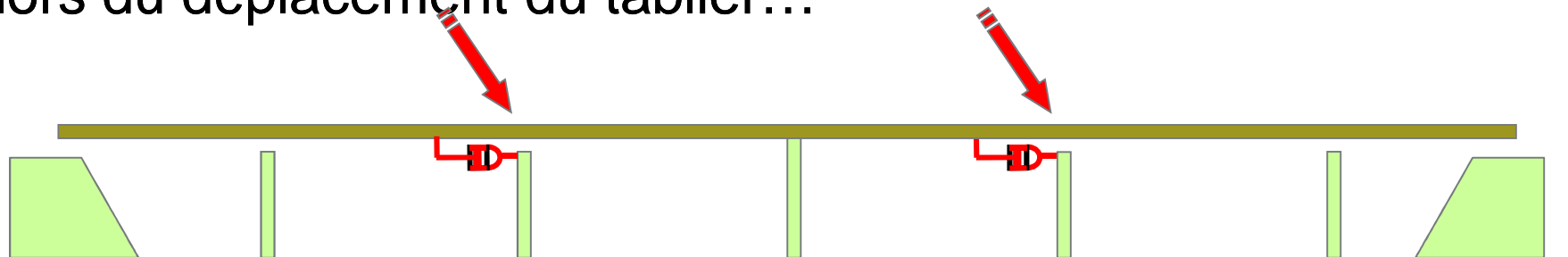
$$F_{\max} = 7\,800 \text{ kN}$$

Si les piles ne peuvent pas reprendre un tel effort, une troisième solution doit être envisagée!

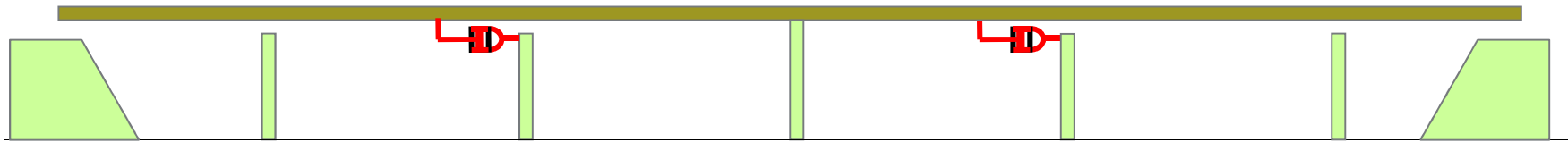
### 3. Pile centrale fixe, amortisseurs aux piles $P_2$ & $P_4$ , les autres piles restant fixes



Les piles  $P_2$  &  $P_4$  sont équipées d'amortisseurs. Sous sollicitation dynamique, ces piles dissiperont de l'énergie lors du déplacement du tablier...



### 3. Pile centrale fixe, amortisseurs aux piles $P_2$ & $P_4$ , les autres piles restant fixes



...le système est à présent une combinaison de ressort (pile  $P_3$ ) et d'amortisseurs (piles  $P_2$  et  $P_4$ ).

La période propre est toujours\* de  $T = 2\pi [M / Kp]^{0,5} = 1,15 \text{ s}$

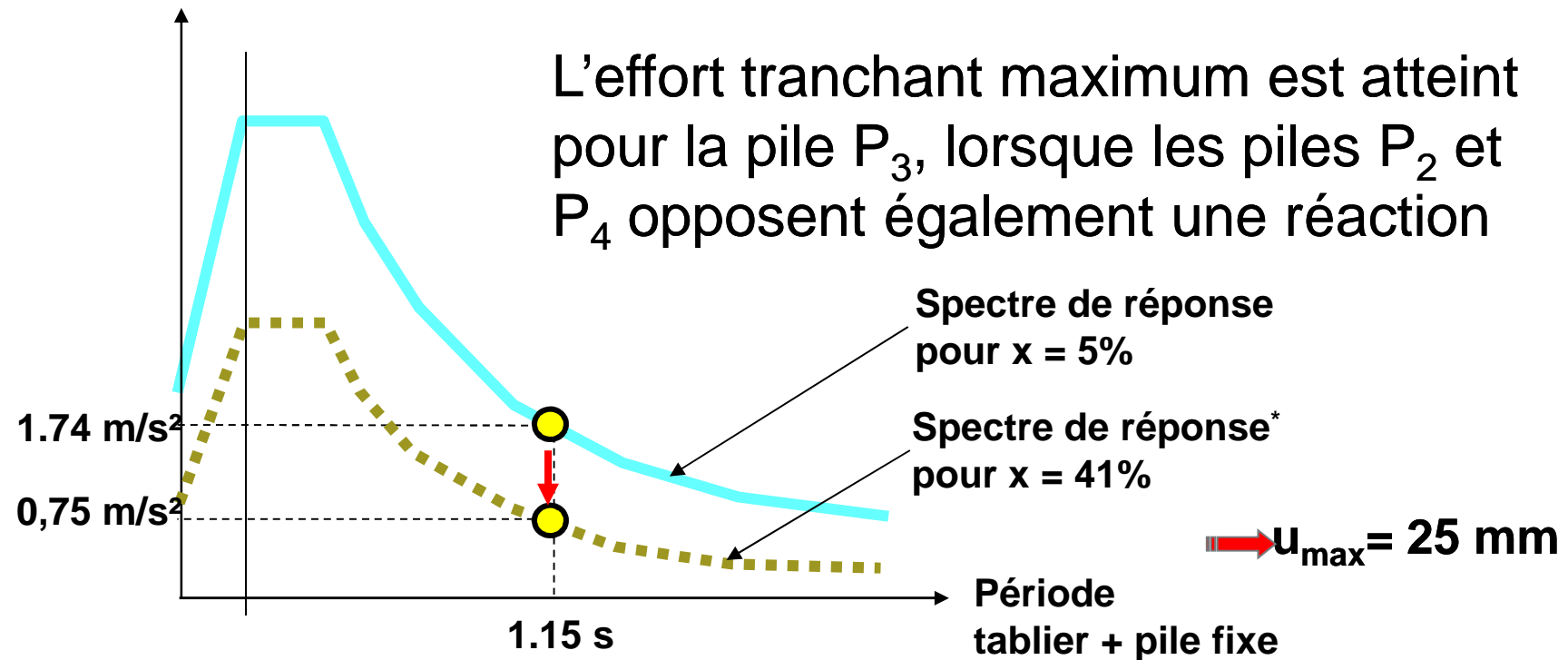
Le système est soumis à un spectre de réponse atténué; la réaction de la pile  $P_3$  est donc moindre, et les piles  $P_2$  et  $P_4$  opposent une réaction induite par les dispositifs d'amortissement.

\* En l'occurrence identique à la solution 1

### 3. Pile centrale fixe, amortisseurs aux piles P<sub>2</sub> & P<sub>4</sub>, les autres piles restant fixes

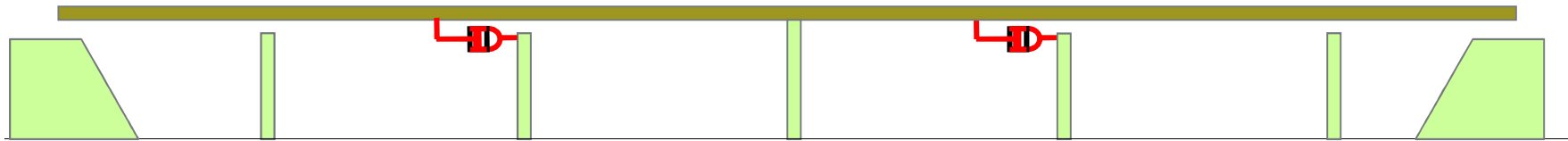
Le système se comporte comme un pendule, de période propre  $T_0 = 2\pi [M / K_p]^{0,5} = 1,15 \text{ s}$

Accélération  
max. du tablier



\* Représentation à partir d'un spectre de réponse pour faciliter la lecture, mais résultat issu d'un calcul temporel

### 3. Pile centrale fixe, amortisseurs aux piles $P_2$ & $P_4$ , les autres piles restant fixes



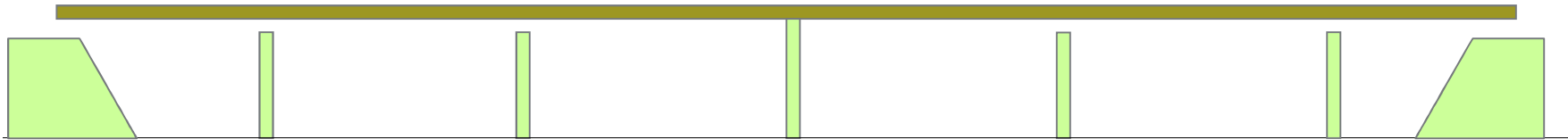
$$F_{e,max} = M a_{max} = 7\,500 \text{ kN}$$

$$F_{d,max} = C v_{max}^a = 1\,425 \text{ kN}$$

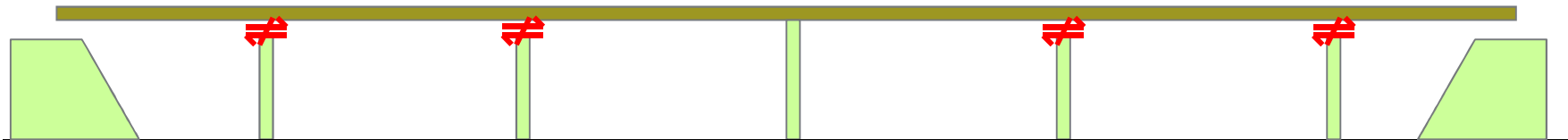
Ces trois solutions permettent d'apporter une réponse satisfaisante dans la majorité des cas...

# Récapitulatif des trois solutions envisagées

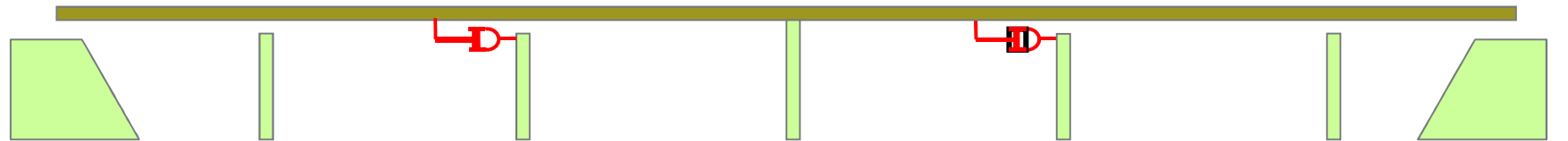
1. Pile centrale fixe, les autres restant libres:  $\Sigma F = 17\,400\text{ kN}$



2. Pile centrale fixe, STU installés aux autres piles:  $\Sigma F = 38\,900\text{ kN}$



3. Pile centrale fixe, FVD sur deux piles:  $\Sigma F = 10\,350\text{ kN}$

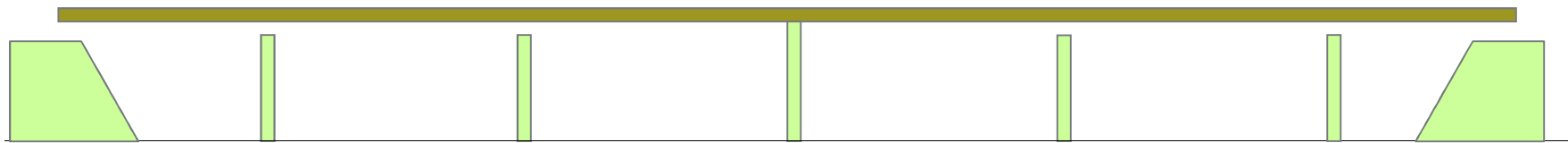


 *Symbole pour STU*

 *Symbole pour FVD*

## Une nouvelle solution

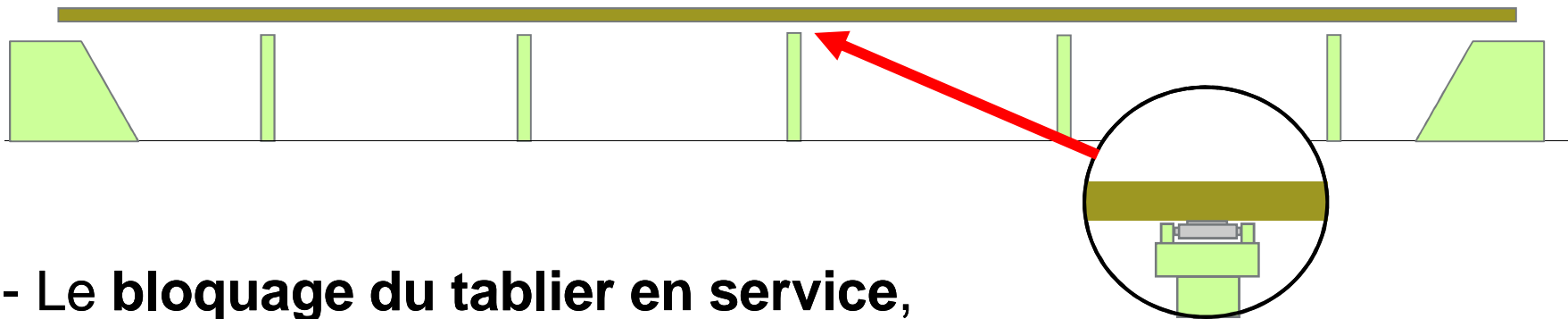
Les solutions précédentes comportaient toutes une pile centrale fixe



L'utilisation de STU et FVD permettent une **réduction significative de l'effort de cisaillement** au niveau des piles fixes. Toutefois, si cette pile est trop rigide, l'efficacité des dispositifs parasismiques demeure modérée. Qui plus est, si la réduction du cisaillement est toujours insuffisant, une nouvelle solution doit être envisagée.

## Une nouvelle solution

Une autre solution consiste à placer entre la tête de la pile et le tablier un dispositif parasismique permettant:



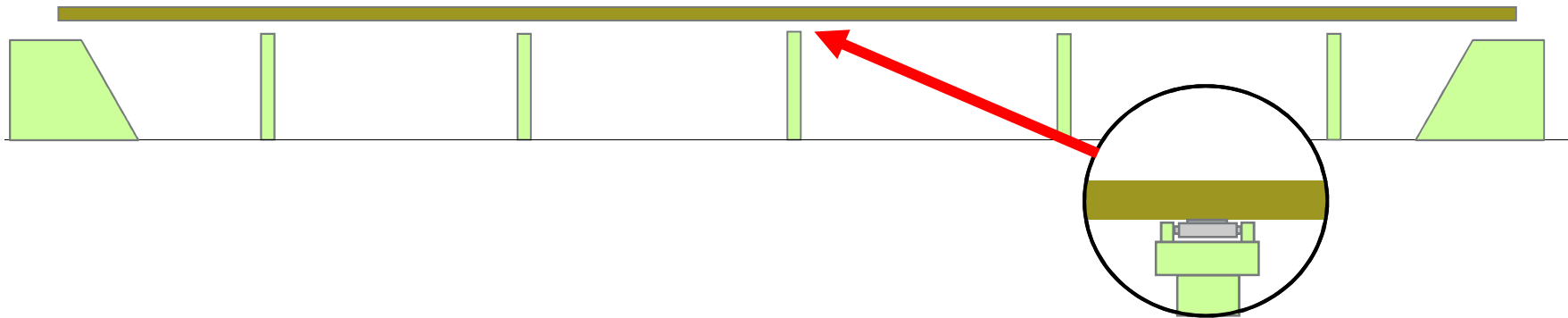
- Le **bloquage du tablier en service**,
- La **libération de la liaison lors d'un séisme**; à la manière d'un ressort et d'un amortisseur placés en série.
- Ramener le tablier dans sa **position initiale** après un séisme

Ce dispositif est un **PDS = Prestressed Damping Spring**



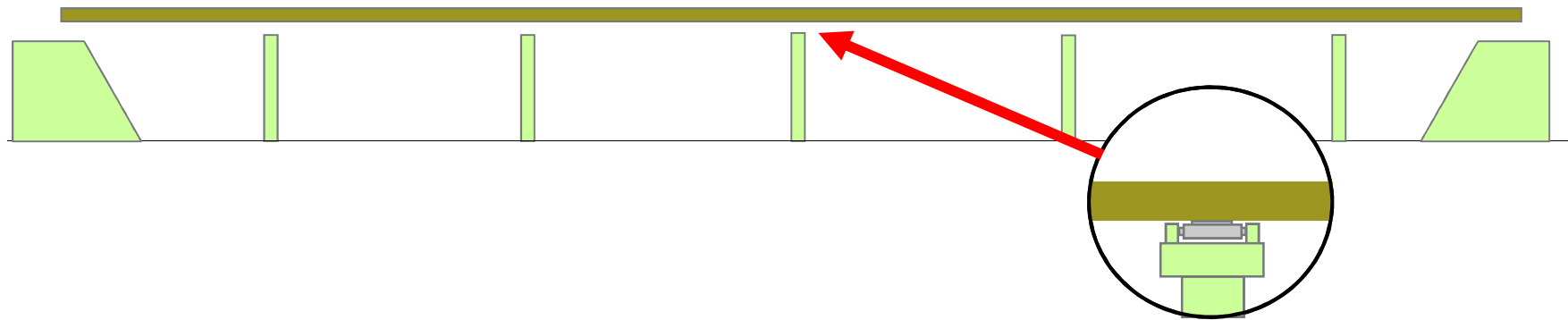
## Une nouvelle solution

Dans le cas présent, une précontrainte à hauteur de 2500 kN permet d'obtenir un point fixe sous charge de service (effort de freinage).



Lors d'un séisme, un effort horizontal supérieur à cet effort de précontrainte met en action le piston du PDS, entraînant un mouvement relatif entre la pile et le tablier, source de l'amortissement.

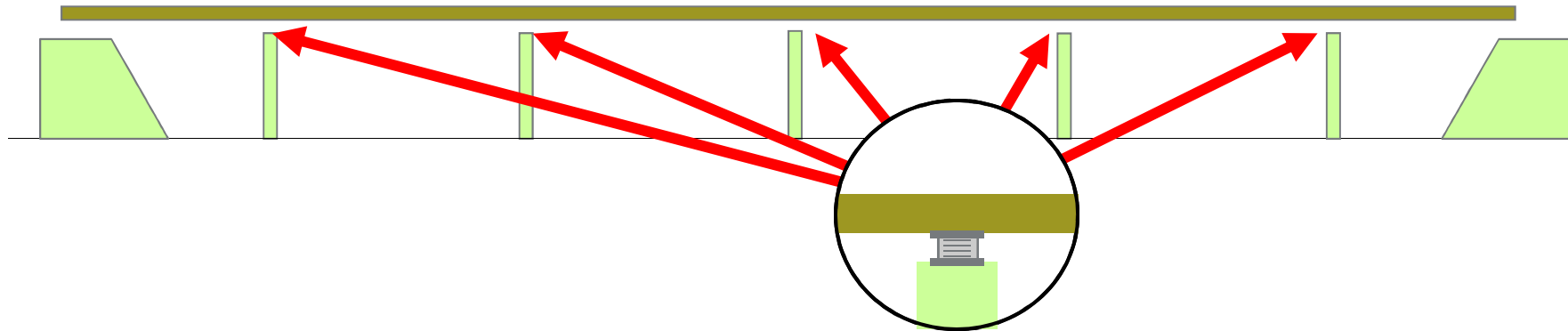
## 4. Pile centrale équipée de Ressorts Amortisseurs Précontraints (RAP)



En l'occurrence, la réaction maximale serait de 3500 kN avec un déplacement maximal de 35 mm.

## 5. Piles équipées d'appuis élastomère

L'isolation vis-à-vis du support peut être envisagée si des déplacements sous charges de service sont admissibles.

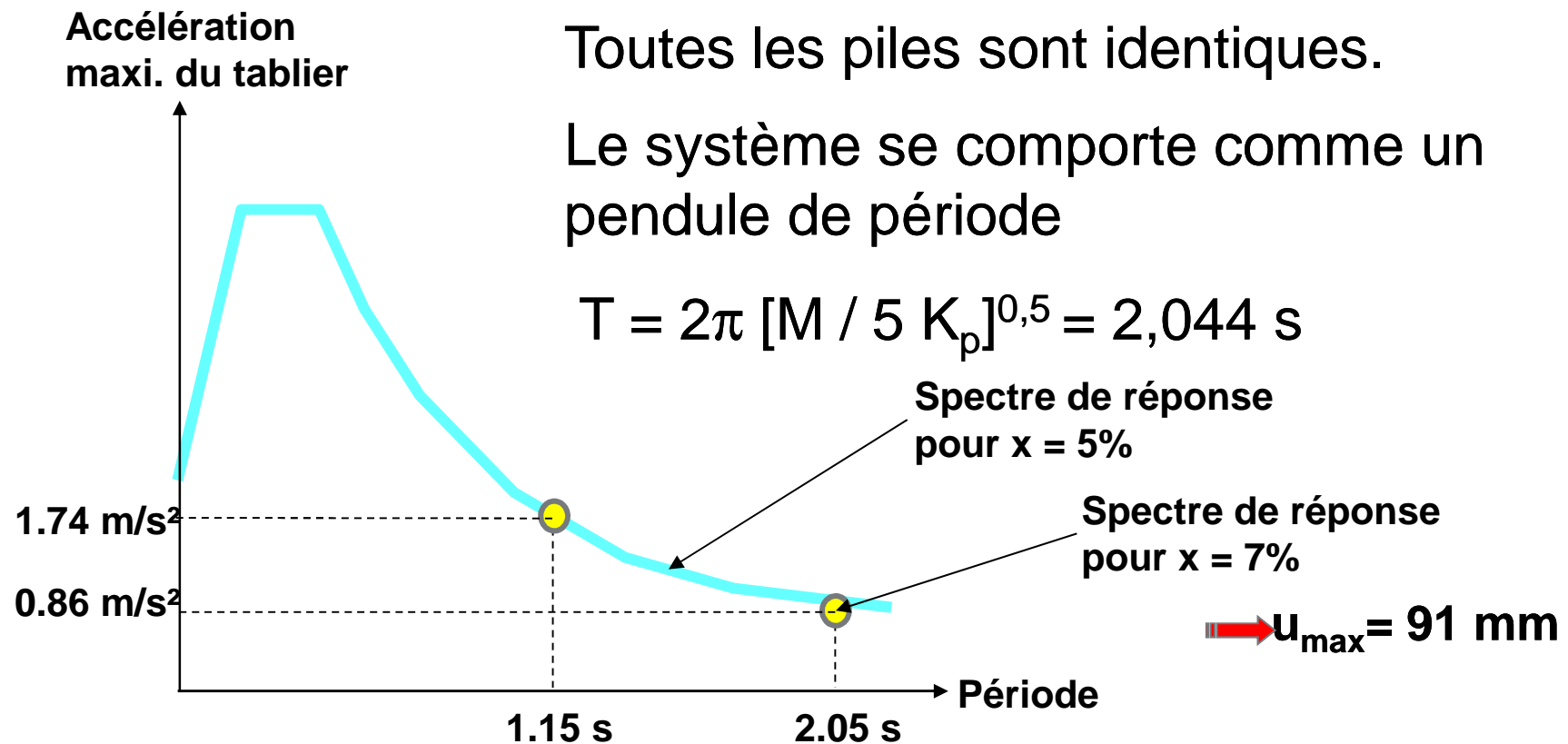


4 appuis en élastomère fretté 500x600x84 sur chaque pile, c. à d.

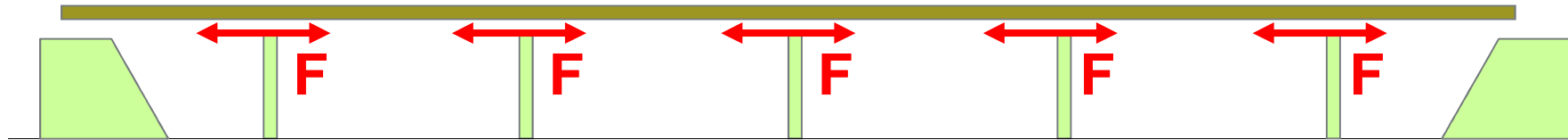
$K_p = 18,8$  MN en additionnant les rigidités respectives (ressorts en parallèle)

La période propre devient  $T = 2\pi [M / 5 K_p]^{0,5} = 2,04$  s

## 5. Piles équipées d'appuis élastomère



## 5. Piles équipées d'appuis élastomère



$$\Sigma F_{\max} = M a_{\max} = 8\,550 \text{ kN}$$

$$F_{\max} = 1\,710 \text{ kN}$$

Ce dispositif se comporte de manière identique dans les directions longitudinales et transversales.

*Dans l'éventualité où les déplacements du tablier sont trop importants, l'ajout d'amortisseurs peut se révéler satisfaisant, comme indiqué en solution 3!*

## Comparaison des solutions

Cas	Remarques	Réaction des piles fixes (kN)	Réaction des autres piles (kN)	Force totale (kN)	Mvt (mm)
1	Pas de dispositifs	17 435	0	17 435	58
2	STU	7 800	7 800	39 000	26
3	FVD	7 515	1 540	10 595	25
4	RAP	3 500	0	3 500	35
5	isolateurs	-	1 710	8 550	91

*Le concepteur choisit la solution la plus adaptée à son projet.*

# Dispositifs parasismiques

Ci-dessous différentes technologies pouvant être installées à la fois sur des **ponts** et des **bâtiments**:

