ECOLE NATIONALE D'ARCHITECTURE – RABAT

MONTAGE ET ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES

SIMULATEUR DE SÉISMES – SYSmo



Étude du comportement dynamique des structures sous excitation sismique

Pr. Mouhcine BEN AICHA
Enseignant-chercheur

1. Introduction

L'étude du comportement des structures sous sollicitations sismiques constitue une étape essentielle dans la compréhension des principes de conception parasismique. Si les modèles analytiques et numériques permettent de prévoir la réponse dynamique d'une structure, l'expérimentation sur modèle réduit offre la possibilité d'observer directement les phénomènes de vibration, de résonance, d'amplification dynamique et d'atténuation des mouvements.

Le présent montage expérimental repose sur l'utilisation du **simulateur de séisme SYSmo**, conçu pour reproduire à échelle réduite une excitation horizontale appliquée à la base d'une structure. Le dispositif permet notamment d'étudier les oscillations libres et forcées ainsi que l'influence de la masse, de la raideur, des conditions d'appui, du contreventement et de l'isolation vibratoire sur la réponse dynamique. Ces applications correspondent directement aux activités pédagogiques prévues par le constructeur.

2. Objectifs du montage expérimental

Le montage expérimental a pour objectif principal de mettre en évidence les paramètres qui gouvernent la réponse dynamique d'une structure soumise à une excitation sismique.

Il permettra notamment :

- d'observer les oscillations libres d'une structure ;
- de déterminer expérimentalement sa fréquence propre ;
- d'étudier les oscillations forcées générées par le plateau vibrant ;
- d'identifier expérimentalement le phénomène de résonance ;
- de mesurer l'amplification de l'accélération entre le sol et la structure ;
- d'étudier l'influence de la masse ;
- d'étudier l'influence de la hauteur et de la raideur ;
- de comparer différentes conditions d'appui ;
- d'évaluer l'effet du contreventement ;
- d'étudier l'efficacité de l'isolation vibratoire ;
- d'analyser l'effet d'une masse pendulaire/masse accordée, selon la configuration disponible.

3. Objectifs pédagogiques et scientifiques

- Mettre en évidence le lien entre fréquence d'excitation et dangerosité d'une sollicitation dynamique.
- Observer les oscillations libres et les oscillations forcées d'une structure à échelle réduite.
- Caractériser une structure par sa raideur et sa fréquence propre.
- Étudier séparément l'influence de la masse, de la raideur et du mode de liaison.
- Comparer une structure contreventée et une structure non contreventée.
- Étudier l'effet de l'isolation vibratoire et, selon l'équipement disponible, d'une masse accordée.
- Mesurer et comparer les accélérations au niveau de la base et de la structure.
- Relier l'observation expérimentale aux principes de conception parasismique.

4. Description technique

4.1. Dispositif de mesure et de visualisation des accélérations

- Bâti lourd en tôle mécano soudées laquées, poids environ 40 kg monté sur plots antivibratoires dimensions du plateau 400x400 mm.
- Facilement transportable à l'aide des poignées sur les côtés.
- Possibilité de fixer le simulateur au sol ou sur un plan de travail rigide.
- Plateau oscillant en inox épaisseur 6mm monté sur supports élastiques, avec plateau tournant indexable par pas de 45° ou 90°.
- Le plateau peut contenir deux structures (ex : une renforcée et l'autre non).
- Structures en acier inox 10/10ème.
- Excitateur à fréquence réglable de 0 à 20Hz, amplitude 1 mm.
- Boîtier de commande séparé avec sectionneur, bouton marche/arrêt, réglage de vitesse

Simulateur de séisme livré avec :

  - Maquette d'ouvrage de génie civil moderne, un pont : 4 pylônes et un tablier
  - 2 maquettes structure de type portique hauteur 200mm sans contreventement
  - 2 maquettes structure de type portique hauteur 200mm avec contreventement
  - 1 maquette structure de type portique hauteur 600mm
  - 2 contreventements pour maquette structure hauteur 600mm
  - 4 plots anti-vibratoires pour isolement vibratoire
  - 2 charnières pour liaison pivot
  - 1 masse suspendue pour masse pendulaire

- Alimentation 230V 50Hz 0.25kW
- Conforme aux normes de sécurité et aux règlementations en vigueur
- Dimensions : L= 400 x l=400 x h= 220 mm
- Poids : environ 40 kg

Le plateau tournant permet de visualiser l'effet de la sollicitation pour différents angles d'incidences de l'excitation.





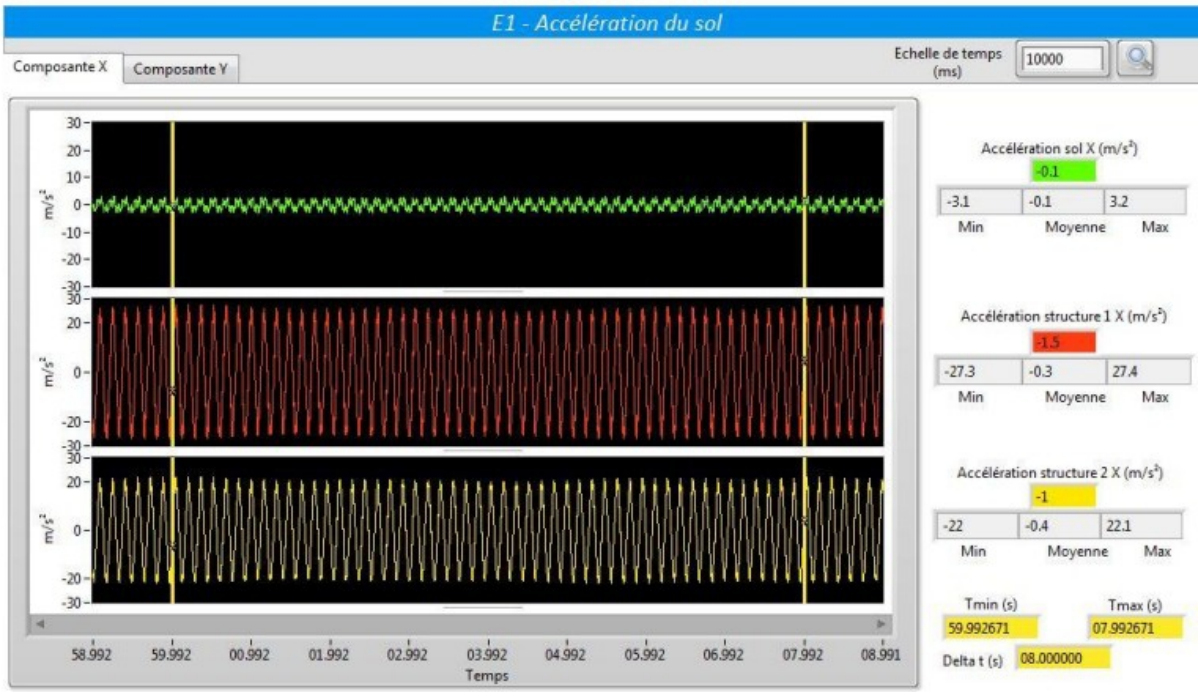


4.2. Instrumentation

- Deux accéléromètres triaxiaux +/-30m/s² (3g) en boîtiers métalliques, à fixer en deux points : au sol et sur la structure
- Boîtier de conditionnement 8 voies (jusqu'à 4 capteurs) et sortie USB
- Logiciel de visualisation Labview

Le logiciel d'acquisition et de mesure (Instrument virtuel Labview) permet de:

- Visualiser l'évolution des signaux des accéléromètres
- Filtrer les signaux
- Etalonner chaque voie indépendamment
- Mesurer la fréquence des signaux
- Mesurer l'amplitude des signaux
- Mesurer le rapport entre les amplitudes des voies



5. Prise en main rapide SysmoSoft

- Mettez le simulateur sous tension par le sectionneur situé à l'arrière du boitier de commande.
- Lancez le logiciel « SysmoSoft »
- Cliquez sur 

pour sélectionner une activité
    - Choisissez l'activité dans la liste déroulante
    - Renseignez l'identification des utilisateurs, (initiales par exemple)
    - Validez
- L'activité se lance, et démarre l'acquisition :
    - Le bouton 

permet de tarer la mesure de certaines voies
    - Le bouton 

permet de stopper l'acquisition des mesures, pour une analyse détaillée
    - Le bouton 

permet de relancer l'acquisition des mesures
- Lancez le simulateur par le bouton Départ du boitier de commande.
- Faites varier la fréquence à l'aide du potentiomètre, jusqu'à l'obtention du phénomène recherché
- Si l'activité comprend des graphes :
    - les valeurs mini, maxi, et moyennes sont calculées entre les curseurs
    - L'échelle permet de zoomer sur les graphes
- En fin de manipulation, enregistrez les mesures par le bouton  puis 
- Pour changer d'activité :
    - Arrêtez l'acquisition par le bouton 

    - Cliquez sur 

pour sélectionner la nouvelle activité

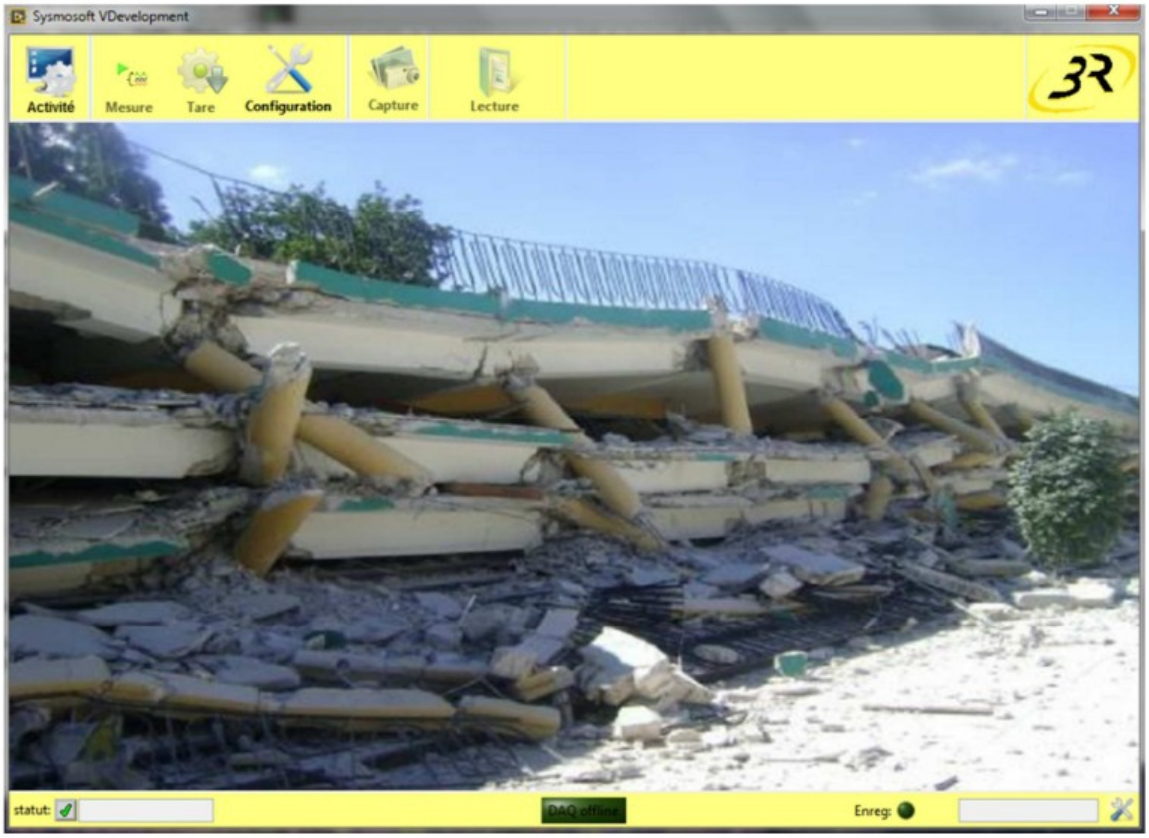
6. Utilisation détaillée

Cette partie détaille l'utilisation du simulateur et de ses fonctions logicielles, lorsque la première mise sous tension a été réalisée.

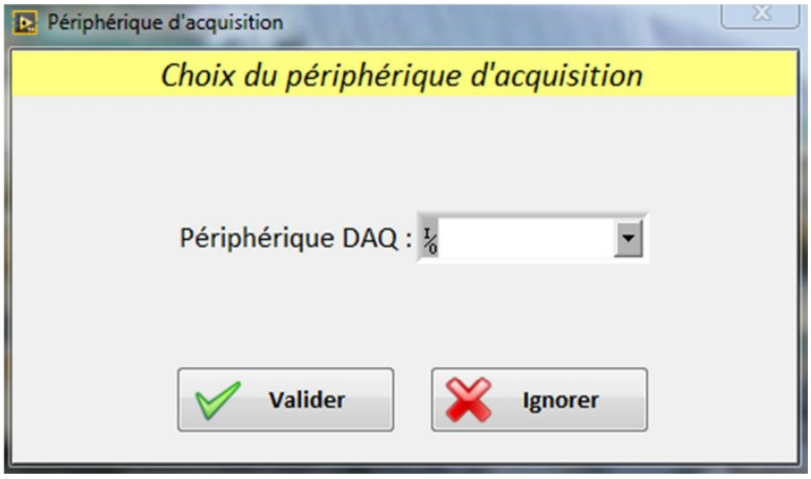
L'interface principale apparait au lancement de l'application « SysmoSoft». Elle permet d'accéder à toutes les fonctionnalités logicielles :

o L'interface de Configuration
o L'interface d'enregistrement

o Les activités



- Si le simulateur est sous tension et fonctionnel, le voyant « DAQ OK » du bandeau inférieur passe au vert clair.
- Si la carte d'acquisition définie dans la configuration ne répond pas, la fenêtre de sélection de périphérique DAQ apparait



- Cette fenêtre apparait lorsqu'une tentative de lecture de mesures a échoué. Elle permet de sélectionner le périphérique d'acquisition utilisé pour toutes les voies de mesure analogiques, digitales et compteurs.
- Pour réaliser des mesures en temps réel, choisissez un périphérique de la liste, puis sélectionnez le mode configuration pour valider ce choix.
- Pour travailler à partir de mesures réalisées précédemment, cliquez sur « Ignorer »

7. Activités proposées

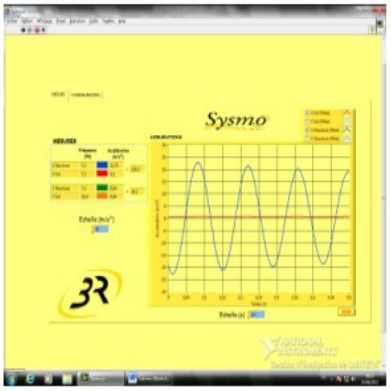
7.1. Observations

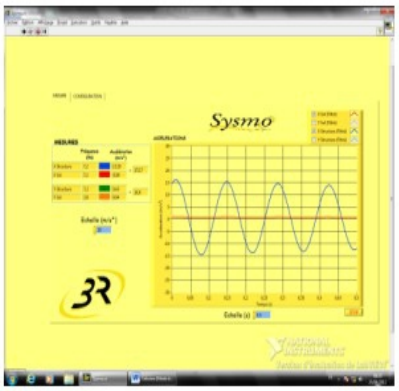
7.1.1. Oscillations libres

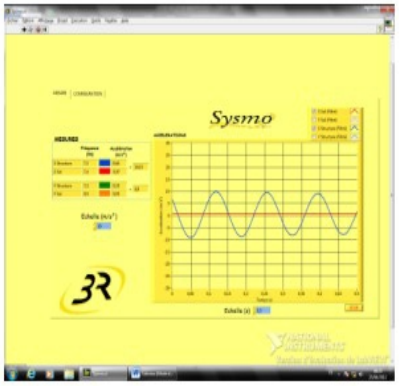
Pour générer une oscillation libre, il suffit de tirer sur le plancher puis de relâcher. La structure va alors osciller toute seule.

Pour une structure :

- la fréquence est constante : fréquence propre
- l'amplitude dépend de la sollicitation initiale
- l'amplitude décroît lentement (amortissement)





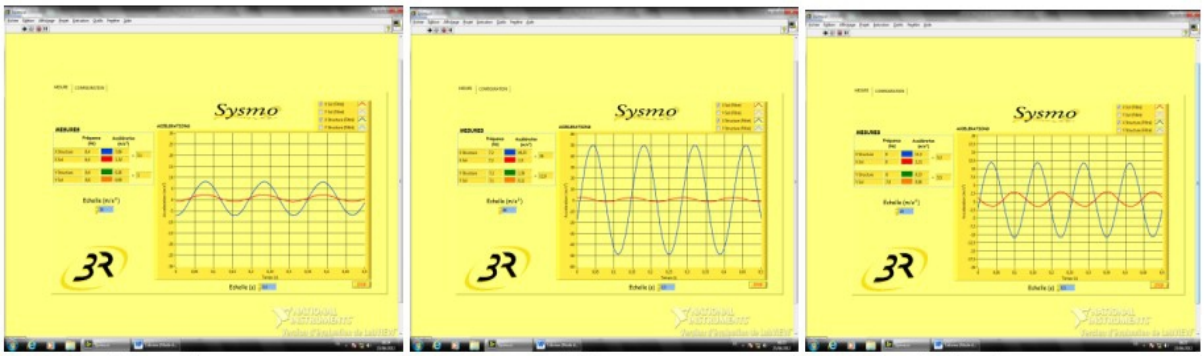


Masse = 0.746 Kg fréquence propre = 7.2 Hz

7.1.2. Oscillations forcées

Pour une structure :

- la structure oscille à la fréquence de l'excitateur
- l'amplitude varie en fonction de la fréquence
- l'amplitude est maximale à la fréquence propre : la résonance
- pour une fréquence inférieure à la résonance, excitation et structure sont en phase, au-delà de la résonance, elles sont en opposition de phase



Avant résonnance	Résonnance	Après résonnance
f = 6.4 Hz	f = 7.2 Hz	f = 8 Hz
Amplitude (m/s²) : 7.5	49	11.5

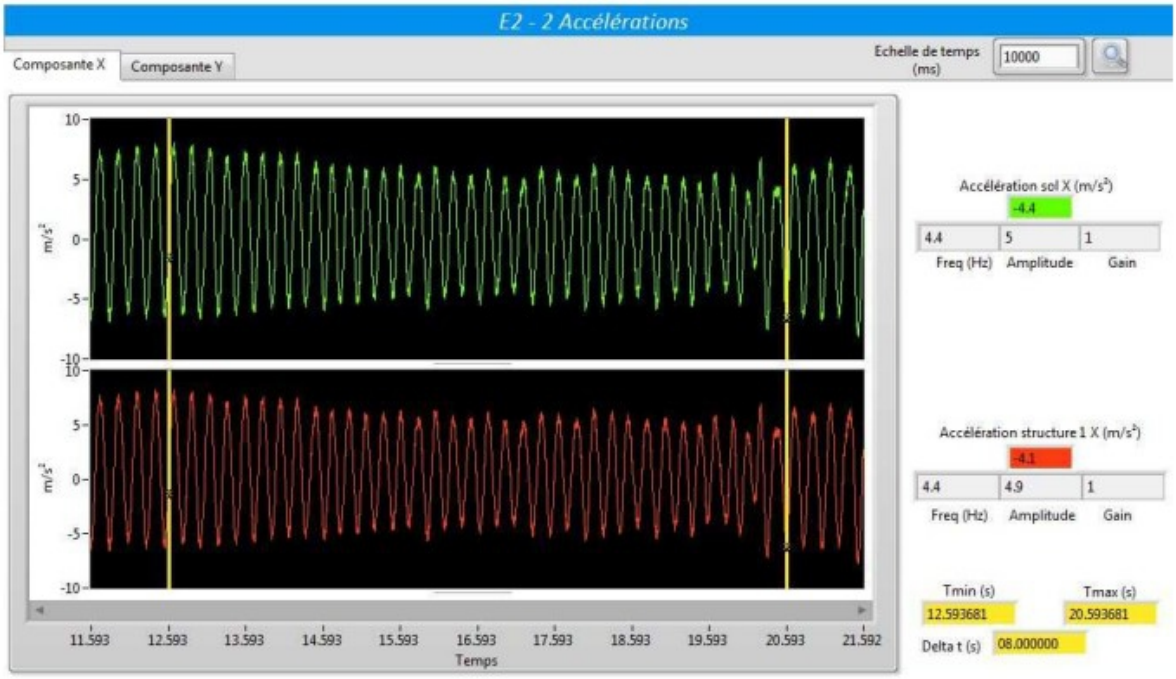
7.2. Etude comparée de l'accélération au niveau du sol, et sur la structure

Cette première activité expérimentale a pour objectif de mettre en évidence la réponse dynamique de la structure lorsqu'elle est soumise au mouvement imposé par le plateau du simulateur de séisme. Elle consiste à mesurer simultanément l'accélération au niveau du sol, représenté expérimentalement par le plateau oscillant, et l'accélération enregistrée sur la structure.

Deux accéléromètres sont utilisés simultanément :

- un premier accéléromètre est fixé sur le plateau oscillant afin de mesurer l'accélération imposée à la base de la structure, notée $a_{sol}(t)$;
- un second accéléromètre est fixé sur la structure, afin d'enregistrer sa réponse dynamique, notée $a_{str}(t)$.

Les accéléromètres étant triaxiaux, l'acquisition permet d'étudier séparément les composantes X et Y dans le plan horizontal. Le système SYSmo dispose de deux accéléromètres triaxiaux de ±30 m/s² (3 g), associés à un boîtier de conditionnement et au logiciel LabVIEW.



L'intérêt de cette manipulation ne consiste pas seulement à constater que la structure bouge avec le plateau. Il s'agit surtout de montrer que le mouvement de la structure n'est pas nécessairement identique au mouvement du sol.

Les maxima et minima des deux signaux peuvent ne pas se produire exactement au même instant. Ce décalage traduit le caractère dynamique de la réponse de la structure.

Pour quantifier la différence entre le mouvement du sol et celui de la structure, on peut introduire le facteur d'amplification des accélérations : $\mathbf{A_a = |a_{str}|_{max} \,/\, |a_{sol}|_{max}}$

avec :

A_a : facteur d'amplification dynamique ;

$|a_{str}|_{max}$: amplitude maximale de l'accélération mesurée sur la structure ;

$|a_{sol}|_{max}$: amplitude maximale de l'accélération mesurée au niveau du sol.

Son interprétation est immédiate :

Valeur	Interprétation
Aa>1	amplification du mouvement par la structure
Aa≃1	réponse proche de celle du sol
Aa<1	atténuation de l'accélération

Cette grandeur permettra ensuite de comparer objectivement les différentes configurations du banc : avec ou sans contreventement, variation de masse, variation de hauteur, modification des liaisons ou isolation vibratoire.

Exemple de lecture de la figure

Sur l'enregistrement présenté, pour la composante X, la fréquence indiquée est d'environ 4,4 Hz pour les deux signaux. Les amplitudes affichées sont approximativement :

a_{sol}=5,0 m/s² et a_{str}=4,9 m/s²

Le rapport des amplitudes est donc voisin de :

Aa=4,9/5,0≈0,98

Dans cette situation particulière, la structure reproduit donc assez fidèlement l'amplitude de l'excitation imposée à sa base, avec une légère atténuation. Cette observation est propre à l'enregistrement présenté et ne doit pas être généralisée à toutes les fréquences ou configurations.

Cette expérience met en évidence une idée fondamentale en génie parasismique :

Un bâtiment ne reproduit pas passivement le mouvement du sol. Sa réponse dépend de ses propres caractéristiques dynamiques (masse, raideur, amortissement et conditions de liaison) ainsi que de la fréquence de l'excitation.

C'est précisément pourquoi deux structures soumises à une même excitation sismique peuvent présenter des réponses très différentes.

7.3. Influence de la hauteur

Cette activité expérimentale a pour objectif de mettre en évidence l'influence de la hauteur d'une structure sur son comportement dynamique lorsqu'elle est soumise à une excitation horizontale. Le principe consiste à comparer la réponse de structures de hauteurs différentes, tout en conservant autant que possible les mêmes conditions de masse, de liaison et d'excitation.

Lorsque la hauteur de la structure augmente, celle-ci devient généralement plus souple vis-à-vis des déplacements horizontaux. Sa raideur latérale diminue, ce qui modifie directement ses caractéristiques vibratoires, notamment sa fréquence propre. À l'inverse, une structure plus basse présente généralement une raideur latérale plus importante et tend à vibrer plus rapidement.



Principe de la manipulation

Deux configurations de hauteurs différentes sont successivement installées sur le plateau oscillant. Pour rendre la comparaison pertinente, les autres paramètres expérimentaux doivent être maintenus aussi constants que possible.

Pour chaque configuration, l'excitation est appliquée progressivement et les accélérations sont enregistrées au niveau du plateau et sur la structure. L'étudiant observe alors la manière dont la hauteur influence l'amplitude des oscillations, la fréquence propre et l'amplification de l'accélération.

Observation et interprétation

L'étudiant doit notamment observer que la structure la plus haute présente un comportement plus souple et une période d'oscillation généralement plus longue. Il pourra également constater que la hauteur ne modifie pas seulement la fréquence propre : elle peut modifier sensiblement l'amplitude de la réponse pour une fréquence d'excitation donnée.

Lorsque la fréquence imposée par le simulateur se rapproche de la fréquence propre de l'une des structures, son mouvement peut devenir beaucoup plus important. L'expérience permet ainsi de montrer qu'une structure haute n'est pas systématiquement « plus dangereuse » qu'une structure basse. La réponse dépend surtout de la relation entre les caractéristiques dynamiques de la structure et celles de l'excitation.

Lecture architecturale

Cette manipulation permet de faire comprendre aux étudiants qu'une modification de la hauteur d'un bâtiment entraîne également une modification de son comportement dynamique. Le choix du nombre de niveaux, de l'élancement, du système porteur et du dispositif de contreventement intervient donc directement dans la réponse du bâtiment aux sollicitations horizontales.

À retenir : La hauteur n'est pas uniquement une donnée géométrique du projet architectural. Elle influence la souplesse, la période propre et, par conséquent, la réponse dynamique de la structure.

7.4. Influence de liaison

Cette activité expérimentale a pour objectif de mettre en évidence l'influence des conditions de liaison entre la structure et son support sur son comportement dynamique. Le simulateur SYSmo permet de modifier les conditions d'appui des maquettes et de comparer ainsi leur réponse lorsqu'elles sont soumises à une même excitation horizontale. L'étude du mode de liaison fait explicitement partie des activités prévues par le dispositif.






Principe de la manipulation

La même structure est testée successivement avec différentes conditions de liaison à sa base. Pour que la comparaison soit pertinente, la hauteur, la masse, la géométrie et les conditions d'excitation doivent rester identiques. Seul le mode de liaison est modifié.

Dans une configuration où la base limite fortement la rotation et le déplacement, la structure présente une liaison plus rigide. Dans une configuration autorisant davantage de mouvement ou de rotation, la structure devient globalement plus souple.

Observation et interprétation

L'étudiant doit observer que le comportement d'une structure ne dépend pas uniquement de sa géométrie et de sa masse, mais également de la manière dont elle est liée à son support.

Deux structures apparemment identiques peuvent ainsi présenter des fréquences propres et des amplitudes de vibration différentes simplement parce que leurs conditions de liaison ne sont pas les mêmes.

Une liaison plus rigide limite généralement les mouvements à la base et augmente la raideur globale. Une liaison permettant davantage de rotation rend le système plus flexible et modifie sa période propre. L'effet devient particulièrement visible lorsque la fréquence de l'excitation se rapproche de la fréquence propre de l'une des configurations.

Lecture architecturale et structurale

Cette manipulation est particulièrement importante pour les étudiants en architecture, car elle permet de comprendre que la liaison entre les éléments structuraux constitue une composante essentielle du comportement global d'un bâtiment.

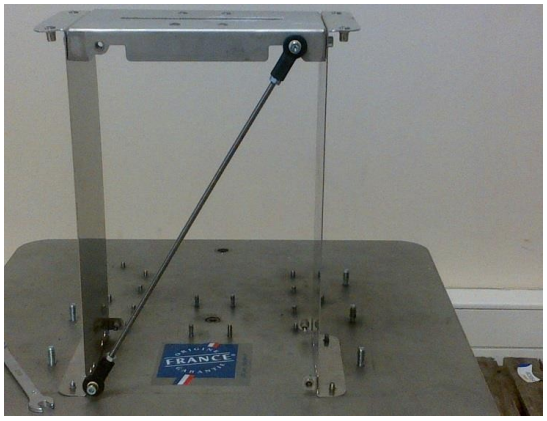
Une poutre, un poteau ou un portique ne se comporte pas de la même manière selon que ses extrémités sont considérées comme rigides, articulées ou plus souples. Les détails d'assemblage et les conditions d'appui influencent donc la transmission des efforts, les déplacements et les caractéristiques vibratoires de l'ensemble.

À retenir : la liaison n'est pas un simple détail constructif. Elle participe directement à la raideur de la structure et influence sa réponse sous sollicitation sismique.

7.5. Influence du contreventement

Cette activité expérimentale a pour objectif de mettre en évidence l'influence du contreventement sur la rigidité et le comportement dynamique d'une structure soumise à une excitation horizontale. La manipulation consiste à comparer successivement une même structure sans contreventement puis avec contreventement, tout en conservant les mêmes conditions de masse, de hauteur, de liaison et d'excitation. L'étude de l'influence de la raideur et du renforcement de la structure fait partie des activités prévues avec le simulateur SYSmo.





Principe de la manipulation

La première configuration correspond à une structure non contreventée. Les éléments verticaux et horizontaux constituent alors un portique relativement souple vis-à-vis des sollicitations horizontales. Sous l'action du mouvement du plateau, la structure peut subir des déplacements latéraux relativement importants.

La deuxième configuration correspond à la structure contreventée. Les tirants diagonaux sont installés entre les éléments du portique. Les photographies montrent la possibilité d'utiliser une diagonale simple ou un système de diagonales croisées en X. Ces éléments triangulent la structure et limitent sa déformation latérale.

Configuration 1 : structure sans contreventement.

La stabilité horizontale est assurée principalement par le fonctionnement du portique. La structure présente une plus grande souplesse latérale et peut subir des déplacements horizontaux plus importants.

Configuration 2 : contreventement par diagonale simple.

Une barre diagonale relie deux sommets opposés du cadre. Elle triangule le portique et contribue à limiter sa déformation latérale. La réponse de cette diagonale dépend du sens de la sollicitation et de son fonctionnement mécanique en traction ou en compression.

Configuration 3 : contreventement en X ou croix de Saint-André.

Deux diagonales croisées relient les sommets opposés du cadre. Cette disposition constitue une triangulation plus complète du panneau et permet une reprise des sollicitations horizontales dans les deux sens. Lors de l'inversion du mouvement imposé par le simulateur, le rôle mécanique des deux diagonales peut s'inverser.

Sans contreventement	Avec contreventement
Structure plus souple	Structure plus rigide
Raideur latérale plus faible	Raideur latérale plus élevée
Déplacements latéraux généralement plus importants	Déplacements latéraux généralement mieux maîtrisés
Fréquence propre généralement plus faible	Fréquence propre généralement plus élevée
Période propre généralement plus grande	Période propre généralement plus faible
Efforts horizontaux principalement repris par le fonctionnement du portique	Participation importante des diagonales à la reprise des efforts horizontaux

Lecture architecturale et structurale

Cette manipulation permet de montrer que le contreventement n'est pas seulement un élément ajouté pour « renforcer » un bâtiment. Il constitue un élément essentiel de son système de stabilité horizontale.

Dans un bâtiment réel, le contreventement contribue à transmettre les actions horizontales, notamment celles dues au séisme et au vent, depuis les planchers vers les éléments résistants puis vers les fondations.

L'expérience permet ainsi de faire comprendre que la position, l'orientation et la continuité du système de contreventement doivent être pensées dès la conception architecturale. Elles influencent à la fois l'organisation des espaces, la circulation, les façades et le comportement structural global.

À retenir : contreventer une structure revient à agir directement sur sa raideur latérale. En modifiant cette raideur, on modifie également sa fréquence propre, sa période et sa réponse aux sollicitations sismiques.

7.6. Influence de la masse : masse fixe et masse pendulaire

Cette activité expérimentale a pour objectif de mettre en évidence l'influence de la masse et de son mode d'installation sur le comportement dynamique d'une structure soumise à une excitation sismique. Le dispositif SYSmo permet notamment d'utiliser une masse fixée directement sur un plancher ou une masse suspendue pouvant osciller par rapport à la structure. Le catalogue prévoit explicitement l'étude de l'influence de la masse ainsi que l'utilisation d'une masse pendulaire.

Il est pédagogiquement important de distinguer ces deux configurations, car elles ne remplissent pas la même fonction. La masse fixe sert principalement à étudier l'effet du chargement de la structure, tandis que la masse pendulaire introduit un degré de liberté supplémentaire et permet d'étudier l'interaction dynamique entre la masse oscillante et la structure principale.

A. Masse fixe : simulation du chargement d'un plancher

Dans cette configuration, des masses sont placées et immobilisées sur le plancher de la maquette. Elles se déplacent donc avec celui-ci pendant l'excitation.

La masse fixe permet de représenter, de manière simplifiée, l'augmentation des charges portées par un plancher. Dans un bâtiment réel, ces masses peuvent être rapprochées pédagogiquement du poids des équipements, du mobilier et des autres charges participant à la masse dynamique de l'ouvrage.



Cette manipulation permet donc de faire comprendre aux étudiants que charger davantage un bâtiment ne signifie pas seulement augmenter les charges verticales. La masse supplémentaire intervient également dans son comportement sous sollicitation sismique.

2. Masse pendulaire : interaction avec le mouvement de la structure

Dans la seconde configuration visible sur la photographie, la masse n'est plus rigidement solidaire du plancher. Elle est suspendue à la partie supérieure de la structure et peut osciller horizontalement lorsque celle-ci est mise en mouvement.



Cette expérience permet d'introduire progressivement auprès des étudiants la notion de contrôle passif des vibrations et le principe des systèmes à masse accordée.

Observations demandées aux étudiants

Pendant l'essai avec la masse pendulaire, les étudiants doivent observer simultanément :

le mouvement du plateau, le mouvement de la structure, le mouvement relatif de la masse suspendue et l'évolution de l'accélération enregistrée sur la structure.

Une attention particulière peut être portée au déphasage entre le mouvement de la masse pendulaire et celui du plancher. À certaines fréquences, la masse peut se déplacer dans un sens différent de celui du mouvement instantané de la structure.

Lecture architecturale et parasismique

Cette manipulation permet de transmettre deux idées complémentaires.

La masse fixe montre l'importance de la maîtrise des masses dans un bâtiment. La répartition des charges et leur position influencent les caractéristiques dynamiques et les forces d'inertie développées pendant un séisme.

La masse pendulaire introduit le principe du contrôle des vibrations. Au lieu d'agir uniquement en augmentant la rigidité de la structure, il est possible d'introduire un système secondaire dont le mouvement interagit avec celui du bâtiment afin de modifier sa réponse dynamique.

À retenir : une masse fixée sur un plancher et une masse suspendue ne jouent pas le même rôle. La première permet d'étudier l'effet du chargement et de la masse globale de la structure. La seconde permet d'observer l'interaction entre deux systèmes oscillants et d'introduire le principe des dispositifs passifs de contrôle des vibrations.

7.7. Liquéfaction des sols

Cette activité expérimentale a pour objectif de mettre en évidence le phénomène de liquéfaction d'un sol granulaire saturé soumis à une excitation dynamique et d'observer ses conséquences sur la stabilité d'une structure fondée sur ce sol. Elle permet de montrer que le comportement d'un bâtiment lors d'un séisme dépend non seulement de sa structure porteuse, mais également des caractéristiques du sol et de l'interaction entre le sol et les fondations. La liquéfaction du sol figure parmi les activités proposées en option avec le simulateur SYSmo.

Principe de la manipulation

Le dispositif expérimental est constitué d'un bac contenant un sol granulaire, représenté ici par du sable, dans lequel de l'eau est introduite. Une maquette représentant la structure et ses fondations est ensuite placée à la surface du sol.

Avant l'excitation, comme le montrent les premières photographies, l'eau n'est pas visible en surface et la structure reste stable sans s'enfoncer de manière significative.





Le plateau est ensuite soumis à des vibrations. L'excitation dynamique sollicite simultanément le sol, l'eau présente dans les vides et la structure reposant sur le massif de sable.

Après l'excitation, les photographies montrent deux manifestations particulièrement pédagogiques : l'eau remonte à la surface et la structure s'affaisse dans le sable.





Mécanisme physique de la liquéfaction

Un sol granulaire est constitué de grains solides séparés par des vides. Lorsque ces vides sont remplis d'eau, le sol est dit saturé.

Dans son état initial, les grains sont en contact les uns avec les autres. Ces contacts permettent au squelette granulaire de transmettre les efforts et de supporter les charges appliquées par la structure.

Sous l'effet de sollicitations cycliques rapides, comme celles produites par un séisme, les grains tendent à se réorganiser. Lorsque l'eau interstitielle ne peut pas s'évacuer suffisamment rapidement, sa pression peut augmenter.

Avant excitation	Après excitation
Structure stable	Affaissement visible de la structure
Eau non visible en surface	Remontée d'eau en surface
Contacts intergranulaires efficaces	Réduction de l'efficacité des contacts entre grains
Contrainte effective suffisante	Contrainte effective réduite
Sol capable de reprendre les charges	Capacité portante et résistance au cisaillement temporairement dégradées

Observations demandées aux étudiants

L'étudiant doit comparer soigneusement l'état du système avant et après l'excitation. Il pourra notamment relever la position initiale et finale de la structure, mesurer si possible son enfoncement vertical, observer une éventuelle inclinaison et repérer l'apparition d'eau à la surface du sable.

Lecture géotechnique et architecturale

Cette manipulation permet de transmettre un message fondamental : la conception parasismique ne concerne pas uniquement la superstructure.

Une structure correctement contreventée et dimensionnée peut subir des dommages importants si le sol qui supporte ses fondations perd une partie de sa résistance pendant le séisme.

La chaîne complète du comportement d'un bâtiment doit donc être considérée :
Séisme → Sol → Fondations → Structure
Pour l'architecte et l'ingénieur, cette expérience permet d'introduire l'importance de la reconnaissance géotechnique, de la nature et de l'état du sol, de la présence d'une nappe ou d'une saturation en eau et du choix du système de fondation dans les zones exposées aux séismes.

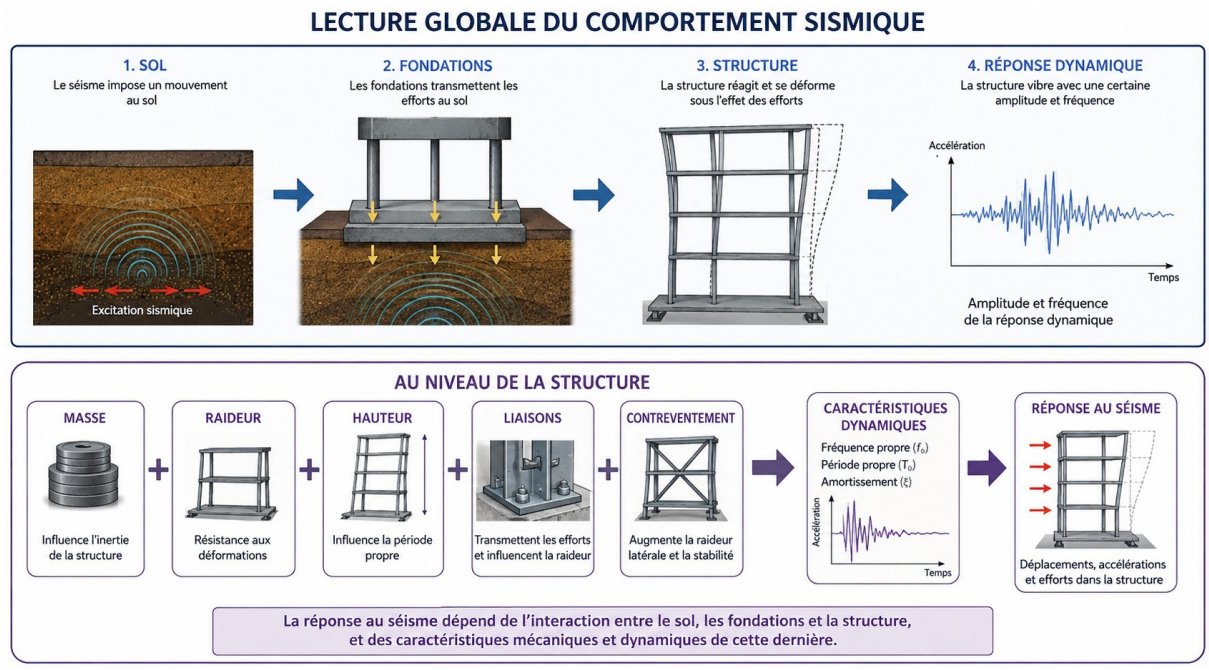
À retenir : la liquéfaction correspond à une perte importante de résistance d'un sol granulaire saturé sous sollicitations cycliques, associée à une augmentation de la pression interstitielle et à une diminution des contraintes effectives. L'expérience SYSmo permet d'en visualiser directement deux conséquences : la remontée de l'eau et l'affaissement de la structure.

8. Conclusion générale

Le montage expérimental réalisé autour du simulateur de séisme SYSmo constitue un support pédagogique permettant d'aborder de manière concrète les principaux phénomènes qui gouvernent le comportement dynamique des structures soumises à une excitation sismique. Il complète l'approche théorique en rendant directement observables les effets de la masse, de la hauteur, de la raideur, des conditions de liaison et du contreventement sur la réponse d'une structure. Ces différents paramètres correspondent aux activités expérimentales prévues par le dispositif SYSmo.

L'instrumentation du banc, fondée sur l'utilisation d'accéléromètres et d'un système d'acquisition sous LabVIEW, permet de dépasser la simple observation visuelle. La comparaison des accélérations mesurées au niveau du plateau et sur la structure permet de caractériser quantitativement la réponse dynamique, d'identifier les fréquences propres et de mettre en évidence les phénomènes d'amplification et de résonance. Le logiciel permet notamment de visualiser et filtrer les signaux, de mesurer leurs fréquences et leurs amplitudes et de comparer les différentes voies d'acquisition.

L'ensemble du montage permet ainsi de construire une lecture globale du comportement sismique :



Au-delà de l'apprentissage des notions de fréquence propre, de période, d'accélération ou de résonance, ce montage expérimental permet donc de transmettre un principe essentiel aux étudiants en architecture : la conception parasismique doit être intégrée dès les premières étapes du projet architectural. La géométrie du bâtiment, sa hauteur, la distribution des masses, l'organisation du système porteur, le choix et la disposition des éléments de contreventement, les conditions de liaison ainsi que la nature du sol constituent des paramètres interdépendants qui participent directement à la sécurité et à la stabilité de l'ouvrage.