



**HAL**  
open science

# **Tumble it : Développement et mis en œuvre d'une étude de cas explicitant le Principe Fondamental de la Statique dans le cadre d'une phase d'Apprentissage Par Problèmes en Licence 1**

Pascal Level, Jean-Dominique Guerin

## **► To cite this version:**

Pascal Level, Jean-Dominique Guerin. Tumble it : Développement et mis en œuvre d'une étude de cas explicitant le Principe Fondamental de la Statique dans le cadre d'une phase d'Apprentissage Par Problèmes en Licence 1. 17ème colloque national S-mart AIP-PRIMECA, Université Polytechnique Hauts-de-France [UPHF], Mar 2021, LAVAL VIRTUAL WORLD, France. hal-03296142

**HAL Id: hal-03296142**

**<https://hal.science/hal-03296142v1>**

Submitted on 22 Jul 2021

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

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

## Développement et mis en œuvre d'une étude de cas explicitant le Principe Fondamental de la Statique dans le cadre d'une phase d'Apprentissage Par Problèmes en Licence 1

Pascal LEVEL  
UPHF – INSA Hauts-de-France  
Laboratoire De Visu  
Campus du Mont Houy  
59313 VALENCIENNES Cedex 9  
pascal.level@uphf.fr

Jean-Dominique GUERIN  
UPHF – INSA Hauts-de-France  
LAMIH UMR CNRS 8201  
Campus du Mont Houy  
59313 VALENCIENNES Cedex 9  
Jean-dominique.guerin@uphf.fr

### Résumé

*Cette communication décrit un dispositif innovant d'enseignement de la mécanique pour les néo entrant dans notre université. Par innovant, il faut entendre ici qu'il s'agissait, pour notre établissement à la rentrée 2019-2020, d'une véritable rupture par rapport à la situation précédente. L'innovation de rupture portait sur deux points : le programme et les modalités d'enseignements.*

*Le programme portait préalablement, et classiquement, sur la mécanique du point étendu en fin de programme à des solides très simples. Il a été décidé que tous les étudiants débuteraient désormais par une approche mécanique du solide en progressant de la statique à la dynamique de façon à pouvoir illustrer les principes fondamentaux à l'aide de cas pratiques dès leurs débuts. Seul le cas de la statique est décrit ici.*

*Ainsi, dès leur première heure de cours, les étudiants se sont vus confié l'étude d'un cas concret, ici le basculement d'une grue. Avec la mise en place d'une séquence d'enseignement en Apprentissage Par Projet (APP) ils ont progressivement été mis en situation d'analyser, comprendre et modéliser le phénomène de basculement. De façon très originale, ils disposaient, pour cela, d'une maquette physique, spécialement conçue à cet égard, et leur permettant d'expérimenter et de visualiser autant que de besoin. Un challenge est venu conclure cet APP. Les étudiants ont eu à résoudre un problème concret de basculement avec comparaison effective, en direct, de leurs prédictions au comportement réel du cas qui leur avait été confié.*

**Mots-clés : PFS, APP, basculement, Licence 1, statique.**

### I. INTRODUCTION

Après plusieurs années de réflexion au sein du département mécanique de l'Institut de Sciences et Techniques de Valenciennes<sup>1</sup> un dispositif nouveau et innovant d'enseignement de la mécanique a été mis en place à la rentrée universitaire 2019-2020. Comme il sera décrit dans la suite du texte, l'innovation porte tant sur le programme que sur les

modalités d'enseignement et vient en rupture avec les pratiques qui prévalaient alors.

C'est bien d'un dispositif dont il fait cas dans cette communication et qui va y être décrit. Il intègre des aspects extrêmement divers tels que la pédagogie, le contexte administratif et réglementaire, la nature des bacheliers qui nous rejoignent, les objectifs de formation en mécanique sur plusieurs années et l'articulation des séquences d'enseignement qu'ils supposent, la professionnalisation, les ressources humaines, matérielles et techniques, les usages... autant de points de vue plus ou moins usuels qui ont conduit progressivement à sa définition et à sa mise en œuvre.

En matière d'innovation pédagogique, outre les modalités d'organisation humaine, temporelle et séquentielle qui vont être décrites, il est important de mentionner dès cette introduction que les ressources de conception et production dont disposait et dispose encore l'équipe d'enseignement ont permis d'imaginer de doter les étudiants de maquettes expérimentales.

Outils d'un enseignement adossé à des cas pratiques, ces maquettes ont, par leur existence, grandement influencé l'organisation même de l'APP et donc du dispositif global.

### II. MISE EN SITUATION : CONTEXTE ET ENJEUX

#### A. Contexte

##### 1) l'établissement, le public

Le dispositif APP décrit dans cette communication a été mis en place, à la rentrée 2019-2020 au sein de l'INSA Hauts-de-France, nouvellement créé par fusion de trois composantes de l'Université Polytechnique Hauts-de-France alors nouvellement créée. La réflexion préalable à cette mise en place a été conduite par les membres du département mécanique de l'ISTV, une des trois composantes mentionnées ci-dessus. Le

<sup>1</sup> Depuis la création de l'INSA Hauts-de-France, issue de la fusion de l'ENSIAME, l'ISTV et la FSMS, ce département a

été consolidé dans le nouveau département mécanique de l'école.

dispositif, dans sa configuration actuelle, concerne uniquement les étudiants du cycle Licence sciences et techniques dont l'INSA HdF assure le développement et le fonctionnement en subsidiarité de l'UPHF.

Par définition, il concerne donc des étudiants (environ 250) inscrits en premier semestre de la première année d'études universitaires. Ces étudiants n'ont subi aucune sélection. Ils débutent un cycle universitaire avec, pour une grande partie d'entre eux, une idée vague voire inexistante des possibilités et filières qui leur sont offertes. Le premier semestre est un semestre quasiment indifférencié, construit pour leur permettre de se familiariser avec l'établissement et découvrir les possibilités qu'il leur offre.

## 2) Les enjeux

Les enjeux du dispositif décrit ici sont multiples. Il est positionné au début d'un cursus que beaucoup espèrent voir durer 5 ans. Un des objectifs principaux est d'éveiller les étudiants à l'ingénierie et aux disciplines et matières qui en relèvent dont ici la mécanique.

La conduite d'un projet d'ingénierie suppose, au-delà de la maîtrise scientifique et technique, de savoir travailler en groupe, savoir échanger et savoir communiquer. Arrivant pour la plupart du lycée, les étudiants concernés ont peu ou pas de culture du travail en commun avec leurs enseignants. Nous cherchons ici à les positionner dans une situation d'interaction avec ces derniers de façon à ce qu'ils prennent le plus rapidement possible cette habitude de travail dans leur parcours de formation. Ce qui est recherché dans leur relation au travail avec les enseignants doit l'être avec également avec les autres étudiants. Un troisième objectif est la mise en place de réflexes, attitudes et méthodes de travail en groupe, et plus généralement toutes les interactions utiles aux fins de résoudre un problème d'ingénierie « complexe ». S'adressant à tous les étudiants, quelles que soient leurs orientations futures, le dispositif totalement articulé autour de la mécanique du solide doit être mobilisateur et attractif pour tous. Il doit donc, entre autres, permettre d'établir des parallèles avec l'ingénierie dans des domaines très variés comme le génie civil, la mécatronique, l'informatique...

Bien qu'il cherche à répondre à des objectifs d'apprentissage de la conduite en groupe de projets actuels ou futurs en ingénierie, le dispositif n'en reste pas moins fondamentalement inscrit dans un cycle d'apprentissage de la mécanique qui pour certains étudiants durera 5 ans en s'orientant progressivement vers le génie mécanique. Cette inscription dans le temps long est à l'origine du passage d'un enseignement basé sur la mécanique du point à un enseignement de la mécanique du solide. Le dispositif doit permettre aux étudiants de se familiariser le plus vite possible avec une approche 3D, tant d'un point de vue cinématique que d'un point de vue de la description spatiale des actions mécaniques. Cela sous-entend la prise en compte des mouvements de rotation. Cette familiarisation rapide n'est pas

neutre. Elle vise à permettre aux étudiants d'acquérir le vocabulaire, les réflexes, et attitudes permettant d'aborder sereinement les enseignements de mécanique qui se spécialisent dès la seconde année et d'éviter ainsi des périodes ultérieures où s'accumulent à la fois acquisition de concepts nouveaux et méthodologies de base.

Appropriation, travail de groupe, ingénierie, dialogue avec les enseignants, solide 3D, autant d'objectif et d'enjeux qui ont conduit à orienter le dispositif vers la mise en place d'un Apprentissage Par Projet (APP) au cours duquel une part importante sera donnée à la manipulation, à l'expérimentation, au tâtonnement, à la confrontation de l'observation aux résultats des modèles.

En cela le dispositif ne présente plus aujourd'hui une très grande originalité tant les expériences du type « la main à la pâte » ont permis de diffuser ces pratiques où l'on cherche à donner ou à avoir envie de comprendre après avoir constaté et observé.

### III. OBJECTIFS, MODALITES ET SEQUENCEMENT DES PHASES D'APPRENTISSAGE DU MODULE

Les enjeux du module décrit ci-dessus trouvent un écho favorable et légitime dans une modalité d'apprentissage par problèmes. Les objectifs regroupés de façon synthétique dans le tableau 1 sont cruciaux de notre point de vue et représentent les prémices des qualités qu'il est souhaitable de voir germer et de cultiver dans nos cursus universitaires.

Objectifs de la mise en situation au travers de l'APP
Responsabilisation
Autonomie et auto-évaluation
Recherche individuelle/en groupe
Travail collaboratif et itératif
Manipulations autonomes
Motivation (Challenge)
Priorité à la curiosité et au questionnement

Tableau 1. Objectifs de la mise en situation en APP.

La responsabilisation de l'étudiant est ici favorisée par la mise en place d'un jeu de rôles qui alternativement permet à tous d'avoir une position de référent vis-à-vis du professeur et d'être mis en situation d'animer un petit groupe de travail. Ce jeu de rôle consiste à attribuer successivement aux étudiants les rôles : d'animateur, de « scribe » et de « maître du temps ». Dans la configuration initiale (hors crise sanitaire COVID), tout étudiant de l'équipe, constituée de 4 à 5 individus, a accès à la manipulation (« main à la pâte » pour tous).

Le contenu et l'organisation de l'APP permettent d'une part à l'étudiant de revoir et d'explicitier des notions de base, par des

recherches individuelles consolidées en groupe et, d'autre part, d'alterner quotidiennement travail en autonomie et vis-à-vis pédagogique, pour notamment aborder les notions connexes (Tableau 2). Ce travail, collaboratif et itératif, articulé sur un triplet étudiant/groupe/enseignant est selon nous très formateur, tout particulièrement pour des apprenants qui se destinent à l'ingénierie.

Notion de base	Notion connexe à acquérir
Repérage dans l'espace	
Vecteurs	Calculs vectoriels
Référentiel	Paramétrage
Actions mécaniques : forces, moment	Actions mécaniques extérieures
Equations analytiques, paramétriques	Résolution numérique (tableur)
Trigonométrie	
Centre de gravité	Polygone de sustentation (droite, triangle)
Equilibre	PFS
Hors équilibre	Basculement, instabilité
Solides indéformables	Système matériel, actions mécaniques internes
Mesures expérimentales	Incertitudes

Tableau 2. Notions de base et notions connexes à acquérir durant l'APP.

Le module est organisé sur 15 jours, l'étudiant étant mobilisé quasi-exclusivement sur la discipline. Cette organisation engendre une certaine sérénité de l'apprenant, lui permettant de se concentrer sur l'APP. La promotion est scindée en groupe d'environ 20 étudiants, le groupe donnant naissance à 4 ou 5 équipes qui selon les activités sont invitées à collaborer ou à être mises en légère concurrence. Un séquençement strict du module permet la réalisation des différentes étapes de façon coordonnée (Tableau 3).

Etape	Descriptif	Livrable/évaluation
1	Mise en contexte (grue)	s/o
2	Règles & modalités APP	s/o
3	Travail d'analyse et d'expérimentation + exercices en autonomie	CR Moodle
4	Evaluation individuelle	QCM
5	Enoncé Challenge	s/o
6	Challenge	Concours

Tableau 3. Séquençement de l'APP et livrables associés

L'évaluation des activités de l'équipe d'étudiants est réalisée dans un premier temps au travers des compte-rendus déposés quotidiennement sur la plateforme Moodle et, dans un second temps, sur le challenge. Le challenge non détaillé dans ce document consiste à prédire le basculement plan d'une structure représentant une grue. L'évaluation des activités individuelles est réalisée par un contrôle sous la forme d'un QCM conçu via Moodle, avec les avantages de permettre une évaluation simultanée à distance et une correction rapide. Un bonus/malus ( $\pm 1$  point) reste attribuable par l'enseignant de façon individuelle (Une évaluation individuelle de chaque rôle pris est possible mais non mise en pratique ni expérimentée à ce jour).

#### IV. ETUDE DE CAS : LE TUMBLE IT

##### A. Mise en situation

Une maquette « fil rouge » a été spécialement conçue pour ce module. Ce démonstrateur dénommé *Tumble it* [renverse-le] permet d'explicitier une rupture d'équilibre correspondant au basculement d'un portique. Les deux objectifs principaux sont ici de mettre en défaut le Principe Fondamental de la Statique, afin d'en comprendre les tenants et aboutissants, et de traiter un problème 3D simple, multi-paramétrable et suffisamment riche du point de vue pédagogique.

Les manipulations sont facilitées par une maquette très accessible (conçue spécifiquement) tant au niveau de la prise en main (de la mécanique, rien que de la mécanique) qu'au niveau des notions/évidences qu'elle permet d'explicitier. De par une mise à disposition d'outils « rudimentaires », le travail expérimental demandé et/ou suggéré est tout spécialement propice à favoriser la curiosité et le questionnement. Le tableau 4 reprend l'ensemble de matériels mis à disposition de chaque équipe d'étudiants.

Trousseau de l'étudiant pour la manipulation sur le démonstrateur <i>Tumble it</i> (1 par équipe)	
1 portique « Tumble it »	1 feuille de papier A2
1 Poids + chaîne (1 Kg)	1 planche format A2
Feutres de couleur	1 fil à plomb
1 réglet (50 cm)	

Tableau 4. Ensemble de matériels mis à disposition.

##### B. Description de l'étude de cas, Conception et réalisation des maquettes

*Tumble it* est un portique, une potence modulable sur 3 appuis simples, ayant les caractéristiques/particularités suivantes :

- Positions des appuis paramétrables (ouverture du compas, ...),
- Point de fixation de la charge modulable (charge limite environ de 2 Kg),
- Dispositifs de blocage par serrage des positions angulaires,

- Hormis l'interface de fixation en partie centrale basse, les éléments de structure sont en acier.

La figure 1 donne une vue CAO du dispositif. Le choix de l'acier pour les éléments de structure est justifié par la recherche d'une bonne rigidité -l'étudiant ne comprendrait pas que l'on s'éloigne trop des hypothèses du solide indéformable- et de par une influence marquée de la position (décalage par rapport à l'axe vertical) du centre de gravité du système (c'est l'étudiant qui au travers de ses mesures expérimentales met en évidence cette influence).

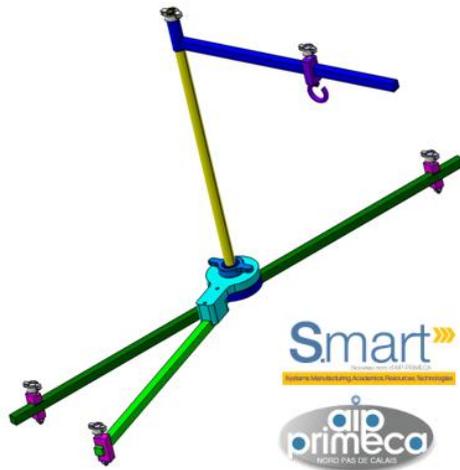


Figure 1. *Tumble it* : vue CAO en phase de basculement

Lors des manipulations, les positions angulaires sont reportées et/ou projetées -à l'aide du fil à plomb- sur la feuille de papier. L'étudiant est à même de déterminer les angles par mesures et calculs trigonométriques (chaque équipe dispose d'un réglet et est incitée à fabriquer une équerre en recourant aux pliages d'une feuille de papier)

Les maquettes (démonstrateur *Tumble it* et maquettes du challenge) ont été conçues et réalisées avec le support du pôle AIP-PRIMECA S-mart Nord-Pas de Calais via la plateforme de Valenciennes. Les moyens humains et matériels mis en œuvre autour de ce projet ont grandement contribué à sa réussite. Les maquettes dans ce contexte sont peu onéreuses et peuvent être reproduites en petites séries.

## V. RETOUR D'EXPERIENCE

L'expérience peut être observée selon plusieurs points de vue. Concernant celui de la structure d'enseignement, il est impossible de le relater ici. L'équipe dirigeante qui avait fortement appuyé la mise en place de l'APP a été depuis remplacée par une équipe dont les préoccupations actuelles sont plus centrées sur le démarrage de la nouvelle structure sous pavillon INSA que les dispositifs pédagogiques.

La conception puis la réalisation opérationnelle des deux premières années sont le travail de toute une équipe. S'agissant

d'une expérience nouvelle, le groupe d'intervenants a su rester mobilisé avec un débriefing/briefing chaque jour après que les étudiants aient fini leur séance. La confrontation journalière des vécus et ressentis, dépendant de chaque enseignant mais également de la nature du groupe qui lui avait été confié, a permis d'adapter le dispositif « en live ». Ce dernier s'est donc révélé suffisamment robuste et résilient pour supporter des modifications et adaptations au jour le jour. Au-delà des adaptations fonctionnelles et conjoncturelles que l'on peut aisément imaginer, il est important de noter que sur le fond, le travail continu d'adaptation a permis à l'équipe enseignante d'épurer la formule selon ses attentes en termes de notions et concepts à acquérir par les étudiants.

En ce qui concerne les étudiants, premiers destinataires du dispositif, ils ont exprimé leur satisfaction globale via une enquête réalisée en fin d'APP. Ils ont été un peu surpris par l'immersion totale et exclusive dans un environnement mécanique dès la rentrée mais s'y sont adaptés extrêmement bien. Ils ont profité de cette immersion pour développer des stratégies de groupe continues avec, par exemple, la mise en évidence de compétences individuelles et l'exploitation de ces compétences au profit de l'ensemble.

Si on adopte le vocabulaire classique d'un APP, nous pouvons affirmer que le savoir être de ces étudiants a progressé et qu'ils se sont inscrit également dans une attitude de savoir agir, notamment lorsqu'il s'est agi de participer au challenge final avec découverte du sujet à J-1 pour une confrontation des résultats de leurs prédictions calculées au comportement réel le jour J. 100% des équipes ont été en situation de proposer une prédiction dont presque toutes étaient correctes. De façon encore plus significative, les quelques équipes pour lesquelles ce n'étaient pas le cas, ont été capables de réagir en direct, d'identifier la ou les sources d'erreurs et de soumettre une solution correcte dans la demi-heure qui a suivi leur premier « échec ».

En matière de savoir et de savoir-faire, nous pouvons en outre observer, depuis la rentrée 2020-2021, les apports en seconde année pour ceux qui sont passés dans le dispositif l'année dernière (2019-2020). Assez clairement, les savoirs sont renforcés par rapport aux promotions précédentes. Ils ont une vision plus globale de la réalité d'un problème de mécanique, sont moins craintifs quant à la difficulté supposée et en conséquence mettent plus aisément en place une démarche de résolution cohérente. Ils ont surtout une base de réflexes d'analyse plus solide et sont globalement capables de la mobiliser. Enfin, même si cela peut sembler anecdotique, certains d'entre eux proposent systématiquement une numérisation de la solution en recourant à un tableur.

Un indicateur factuel est l'augmentation du nombre d'étudiants choisissant l'option mécanique dans leur cursus de mathématiques ou de physique-chimie en seconde année par comparaison aux années précédentes.

## VI. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Après plusieurs années de réflexion au sein de l'équipe enseignante en mécanique, une profonde modification du programme d'étude destiné aux néo entrants en licence dans notre cycle scientifique a été mise en œuvre à la rentrée 2020-2021. Sur le fond, la réforme consiste à aborder la mécanique via l'étude du comportement des solides en se substituant à l'approche précédente classique adossée à la mécanique du point. Sur la forme, l'ensemble de l'enseignement est organisé en APP (Approche Par les Problèmes) avec une immersion totale et exclusive des étudiants dès la rentrée.

Appelés à résoudre un problème concret, ici le basculement d'une grue de manutention, les étudiants disposent, de façon très originale, de maquettes physiques paramétrables leur permettant, par la manipulation, de caractériser le phénomène de basculement, de le quantifier expérimentalement et de se doter d'une base de comparaison objective pour leurs futurs résultats théoriques. La séquence d'enseignement se termine par un challenge, commun à tous les étudiants, où les étudiants découvrent les paramètres d'un problème réel de basculement de grue avec 24h de modélisation et de résolution avant confrontation de leurs prédictions au comportement réel.

Globalement, on peut affirmer que, passé l'effet de surprise d'une immersion totale en mécanique dès leurs premières semaines universitaires, les étudiants adhèrent au projet, se prêtent au jeu et acquièrent, des savoirs, savoir être et savoir-faire indéniables selon la trilogie désormais classique. La mise en situation de challenge démontre également l'acquisition d'un savoir agir.

Tous ces savoirs et attitudes sont décelables dès la deuxième année avec clairement une moindre crainte des étudiants quant à la résolution de problèmes mécaniques à complexité croissante.

Seule la partie « statique » de l'APP a été présentée sans cette communication. La cinématique, la cinétique et la dynamique ont été abordées selon des modalités similaires tout le reste de l'année mais cependant en mode temporel diffus. La suite de cette première année d'APP a donc été impactée par les mesures liées à la crise du COVID. L'équipe enseignante, restée très mobilisée, est dès lors passée assez aisément à un mode d'encadrement en distanciel pur tendant à démontrer ainsi la flexibilité et la robustesse de l'approche.

Aujourd'hui aucun membre de l'équipe enseignante en mécanique n'a émis le souhait d'un retour en arrière.

Hors la nécessaire consolidation des acquis et méthodes, les perspectives sont nombreuses. Elles concernent l'évolution de la maquette de basculement vers une plus grande modularité avec, si besoin, la capacité de mettre en évidence l'influence de la position du centre des inerties. Elle concerne également et déjà la recherche d'autres sujets d'étude mécanique compatibles.

D'ores et déjà, une extrapolation à l'enseignement des bases de la mécatronique est en réflexion.

Enfin la robustesse de l'approche nous laisse également penser qu'elle pourrait être le support du développement d'un mode d'enseignement hybride présentiel/distanciel utilisant un plus large éventail de technologies numériques.

## VII. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'équipe enseignante pour sa contribution : MM. Fabien BECHET, Bruno BENNANI, André DUBOIS, Yassine EL ATTAOUI, Oussama FILALI, Grégory HAUGOU, Bertrand LALLEMAND, Nicolas LECONTE, Tarik SADAT, Jérémy SADET et David UYSTEPRUYST. Nous remercions aussi le pôle AIP-PRIMECA S-mart Nord-Pas de Calais, tout particulièrement M. Frédéric MOREAU pour sa contribution à la conception et réalisation des maquettes. Enfin, nous faisons une amicale dédicace à notre collègue Elisée LEROY, aujourd'hui retraité, fervent défenseur de la mécanique universitaire, qui par son enthousiasme, sa dévotion et sa dynamique « fluide et solide » nous a inspiré ce travail.

## VIII. ANNEXES

### A. Paramétrage, mise en équation et résolution

On considère le système mécanique représenté en figure A1. Il s'agit d'un portique appelé «Tumble it» articulé en B, composé de solides (poutres) considérés ici comme indéformables. Il a été spécialement conçu pour étudier les conditions d'équilibre et de basculement d'un système. L'analyse du système mécanique est réalisée dans le repère orthonormé  $\mathcal{R}(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$

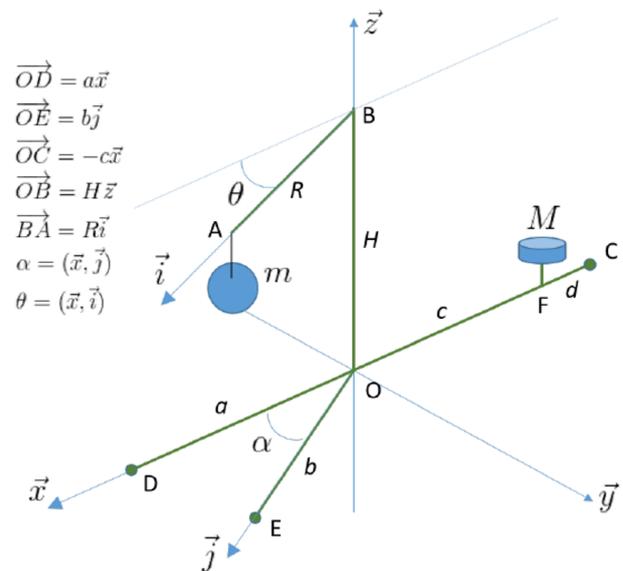


Figure A1. *Tumble it* : schéma de principe du portique

Le paramétrage proposé est propice à une relative simplification de expressions vectorielles et scalaires à déterminer, les principaux paramètres étant :

- a, b, c les distances respectives du point O au trois points d'appui D, E et C
- H la distance (hauteur) du point O au point B
- R la distance (rayon) du point B au point A
- $\alpha$  l'angle d'appui (OD,OE)
- $\theta$  l'angle de déport (OD,BA)

Des vecteurs de base  $i$  et  $j$  sont introduits pour effectuer plus facilement les changements de base nécessaires, ils ne sont toutefois pas indispensables à la résolution du problème pour des étudiants en Licence 1.

La possibilité d'ajouter un contre-poids  $M$  est envisagée de façon à permettre une éventuelle modulation de la position du centre de gravité du système. Une extension future du dispositif expérimental pourrait permettre de positionner ce contre-poids sur un arc de cercle de rayon  $c$  centré en O.

La mise en équation résulte de la mise en œuvre du Principe Fondamental de la Statique selon la procédure décrite en Figure A2. A noter qu'il a été jugé préférable de ne pas introduire à ce stade (début du premier semestre – Licence 1) le formalisme lié au Torseur d'actions mécaniques. Ce formalisme sera introduit dans les modules suivants du cursus.

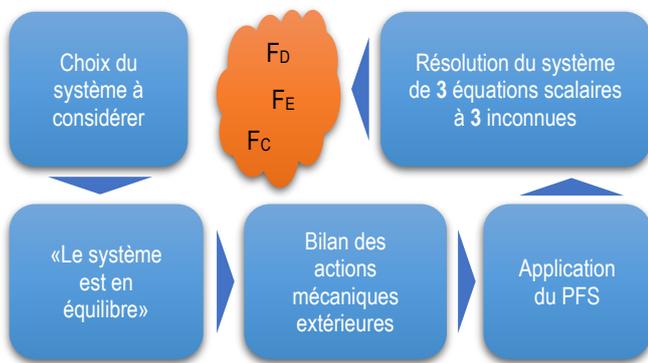


Figure A2. Démarche « classique » de résolution

L'objectif ici est de déterminer les actions mécaniques aux appuis (considérés ici comme ponctuels) à partir des trois équations scalaires issues de l'application du PFS (une issue du théorème de la résultante en  $z$ ; deux issues du théorème du moment en  $y$  et en  $x$ ). Les expressions paramétriques des actions mécaniques (PFS en C) s'expriment comme suit<sup>2</sup> :

$$F_E = F_E(m, g, R, \theta, b, \alpha)$$

$$F_D = F_D(F_E, m, M, g, R, \theta, a, b, c, d, \alpha)$$

$$F_C = F_C(F_E, F_D, m, M, g)$$

<sup>2</sup> Les expressions analytiques ne sont pas fournies dans ce document de façon à ne pas « divulguer » les résultats, dans la mesure où ce manuscrit est susceptible d'être accessible

Pour une masse  $m$  suspendue connue et un contre-poids fixé  $M$ , on peut facilement mettre en évidence le basculement en observant le signe des composantes des actions mécaniques aux points C, D et E. En fait si toutes les composantes sont positives, le système est en équilibre stable. Si par contre l'une des composantes est négative, il y a rupture d'équilibre et basculement du système. La figure A3 illustre les conditions d'équilibre suivant les valeurs de l'angle  $\theta$  pour une configuration donnée pour des caractéristiques fictives (hors de portée des capacités de la maquette actuelle).

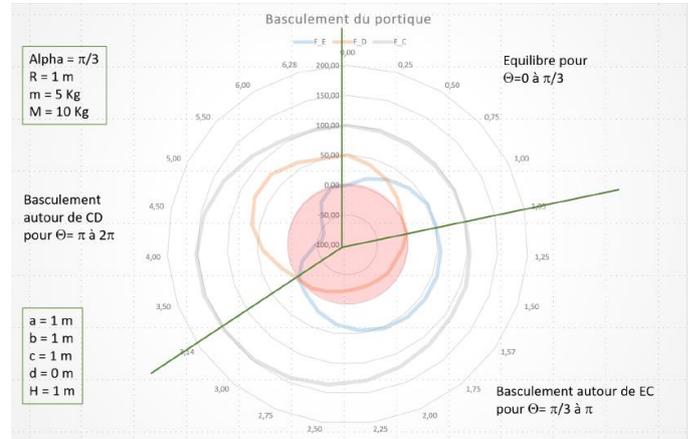


Figure A3. Illustration des configurations de basculement (zone de basculement en rouge)

### B. Exemple d'un livrable produit

L'un des livrables qui a été source de nombreuses inspirations et de quelques inquiétudes, sans doute puisqu'il s'agissait du premier de la série demandée aux étudiants, est justement le tracé des configurations de basculement du portique *Tumble it*. La figure B1 reprend pour exemple le document fourni par l'une des équipes.

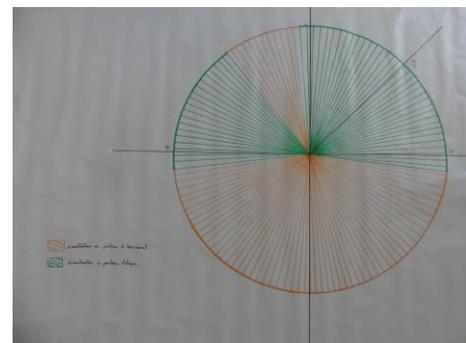


Figure B1. Tracé des configurations de basculement par une équipe d'étudiants (zone de basculement en rouge)

pour les étudiants. Ces expressions seront bien entendu fournies aux collègues sur simple demande aux auteurs.