

Cinématique du point en coordonnées cartésiennes

Sommaire

I Description et paramétrage du mouvement	2
I/A Système	2
I/B Référentiel	2
I/C Repère	4
II Coordonnées cartésiennes	4
II/A Présentation	4
II/B Repérage	5
II/C Exemples de mouvements	7

✖ Capacités exigibles

- Espace et temps classiques. Notion de référentiel. Caractère relatif du mouvement. Caractère absolu des distances et des intervalles de temps.
- Citer une situation où la description classique de l'espace ou du temps est prise en défaut.
- Identifier les degrés de liberté d'un mouvement. Choisir un système de coordonnées adapté au problème.
- Coordonnées cartésiennes : exprimer à partir d'un schéma le déplacement élémentaire, construire le trièdre local associé et en déduire géométriquement les composantes du vecteur vitesse.
- Établir les expressions des composantes des vecteurs position, déplacement élémentaire, vitesse et accélération en coordonnées cartésiennes.
- Mouvement à vecteur accélération constant : exprimer le vecteur vitesse et le vecteur position en fonction du temps. Établir l'expression de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
- Situer qualitativement la direction du vecteur vitesse et du vecteur accélération pour une trajectoire plane.

✓ L'essentiel

☰ Définitions

<input type="checkbox"/> M1.1 : Cinématique, système et point matériel	2
<input type="checkbox"/> M1.2 : Référentiel	2
<input type="checkbox"/> M1.3 : Référentiels fondamentaux	2
<input type="checkbox"/> M1.4 : Repère spécifique	4
<input type="checkbox"/> M1.5 : Repère cartésien	4
<input type="checkbox"/> M1.6 : Position en cartésiennes	5
<input type="checkbox"/> M1.7 : Équations horaires et trajectoires	5
<input type="checkbox"/> M1.8 : Déplacement élémentaire cartésien	6
<input type="checkbox"/> M1.9 : Vitesse	6
<input type="checkbox"/> M1.10 : Accélération	7
<input type="checkbox"/> M1.11 : Mouvement rectiligne uniforme	7
<input type="checkbox"/> M1.12 : Uniformément accéléré	8

❖ Propriétés

<input type="checkbox"/> M1.1 : Vitesse en cartésiennes	6
<input type="checkbox"/> M1.2 : Accélération en cartésiennes	7

≡ Démonstrations

<input type="checkbox"/> M1.1 : Vecteur vitesse	6
---	---

☒ Applications

<input type="checkbox"/> M1.1 : Mouvement rectiligne uniforme	7
<input type="checkbox"/> M1.2 : Mvt. rect. uniformément accéléré	8
<input type="checkbox"/> M1.3 : Mvt. courbe uniformément accéléré	8

☒ Exemples

<input type="checkbox"/> M1.1 : Importance du référentiel	3
<input type="checkbox"/> M1.2 : Exemple d'effet relativiste	3
<input type="checkbox"/> M1.3 : Équations horaires et trajectoires en TP	5
<input type="checkbox"/> M1.4 : Vitesse selon expérience	7
<input type="checkbox"/> M1.5 : Accélération selon expérience	7

♥ Points importants

<input type="checkbox"/> M1.1 : Vitesse et trajectoire	6
<input type="checkbox"/> M1.2 : Accélération et trajectoire	7

⚠ Erreurs communes

<input type="checkbox"/> M1.1 : Différence référentiel/repère	4
<input type="checkbox"/> M1.2 : Vitesse vecteur vs. scalaire	7
<input type="checkbox"/> M1.3 : Accélération	7

I Description et paramétrage du mouvement

I/A Système

Définition M1.1 : Cinématique, système et point matériel

On appelle **cinématique** l'étude du mouvement des corps sans se soucier des causes.

En mécanique, le **système** est l'objet ou groupe d'objets dont on souhaite étudier le mouvement.

Le point matériel est le point géométrique qui représente le système entier, et que l'on repère pour connaître le son mouvement. On lui affecte toute la masse du système.

Remarque M1.1 :

La définition du système est **primordiale et indispensable** pour la mécanique. En effet, l'étude du mouvement sera radicalement différente entre les systèmes {bille} et {bille+Terre}. Il en sera de même en dynamique, où ce sont les forces **extérieures** au système qui entrent en jeu, il faut donc définir l'extérieur.

Dans le cadre de la **mécanique du point**, la forme de l'objet importe peu. Ainsi, on choisira de suivre un point caractéristique du système, souvent son centre de gravité. Celui-ci pourra être repéré dans l'espace et le temps par 3+1 coordonnées (3 d'espace, 1 de temps).

I/B Référentiel

♥ Définition M1.2 : Référentiel

Un **mouvement est toujours relatif** à un autre corps. Un **référentiel**, noté \mathcal{R} , est un **objet** de référence permettant de repérer un autre objet dans l'espace-temps. On y associe un **repère** générique pour décrire le mouvement dans l'espace, constitué de :

- ◊
- ◊

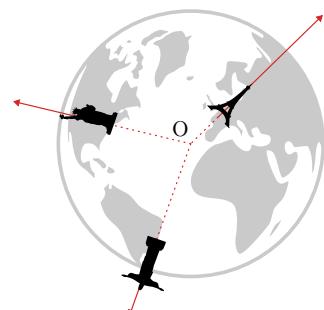
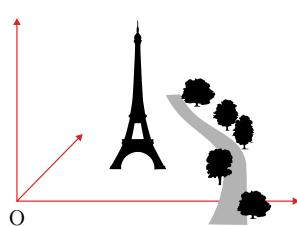
Ainsi, on notera les grandeurs liées à un référentiel *via* l'indication de celui-ci en indice, précédé d'une barre oblique ou verticale selon la taille de la grandeur :

Comme le mouvement dépend du référentiel, il faut choisir le référentiel adéquat par rapport au mouvement que l'on souhaite étudier. Souvent, on choisit parmi trois référentiels classiques :

♥ Définition M1.3 : Référentiels fondamentaux

- ◊ Référentiels terrestres :

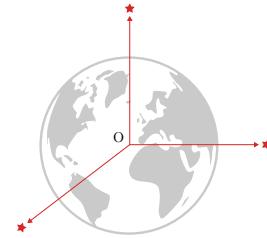
- ▷ Origine :
- ▷ Axes :
- ▷ Utilité :



Un objet fixe à la surface de la Terre ne bouge pas dans ce référentiel.

◊ Référentiel géocentrique :

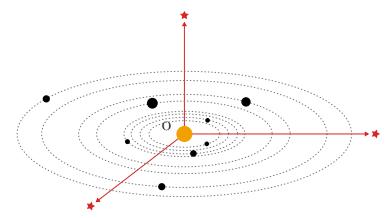
- ▷ Origine :
- ▷ Axes :
- ▷ Utilité :



Un objet fixe à la surface de la Terre se déplace dans ce référentiel.

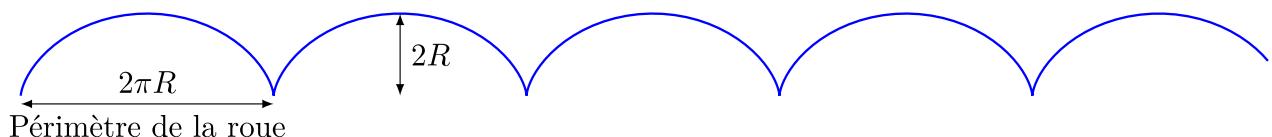
◊ Référentiel héliocentrique :

- ▷ Origine :
- ▷ Axes :
- ▷ Utilité :



Exemple M1.1 : Importance du référentiel

- ◊ Du point de vue d'un **cycliste**, la **valve** de sa roue est en **rotation** autour de l'axe de la roue. Selon un passant-e immobile, elle suit un mouvement de cycloïde. Son altitude atteint 0 à chaque tour de roue.



- ◊ Du point de vue d'un terrien-ne fixe sur Terre (référentiel terrestre), un arbre planté ne bouge pas. Du point de vue du centre de la Terre (référentiel géocentrique), il tourne à la vitesse vertigineuse de _____.

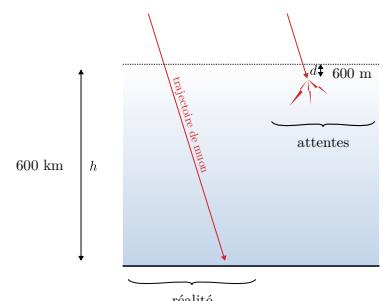
Remarque M1.2 : Mécanique relativiste

Nous resterons cette année en mécanique **classique**, c'est-à-dire que les corps étudiés auront une vitesse très inférieure à celle de la lumière dans le vide :

Ce faisant, les mesures de longueurs ou de durées seront **absolues** et indépendantes du référentiel. Ça n'est pas le cas en mécanique *relativiste* : il faut alors ajouter une **horloge interne** au référentiel pour prendre en compte les effets de dilatation du temps.

Exemple M1.2 : Exemple d'effet relativiste

En plus de sa lumière, le Soleil émet plein de particules. Parmi elles se trouvent les **muons**. On peut en recréer en laboratoire et mesurer leur temps de demie-vie dans l'atmosphère ; on trouve alors _____. Ainsi, même en allant à la vitesse de la lumière, leur distance de parcours attendue d dans l'atmosphère d'épaisseur h serait de :



Or, on détecte de nombreux muons au sol ! Dans le cadre de la mécanique classique, ils devraient aller à une vitesse **supérieure à la célérité de la lumière dans le vide**, ce qui est prohibé par la théorie.

Il y a en fait une **dilatation de son temps de vie** pour un observateur extérieur en fonction de sa vitesse :

I/C Repère

Rappel M1.1 : Vecteur

Un vecteur est un objet mathématique qui se dénote avec une flèche vers la droite (\vec{v}), et ayant :

- ◊ ◊
- ◊ ◊

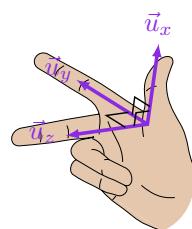


En plus du repère générique du référentiel, il faut choisir un **repère spécifique** à l'étude du problème.

♥ Définition M1.4 : Repère spécifique

Un **repère spécifique** comporte une **origine** et d'une **base de projection ortho-normée directe**, constituée de 3 vecteurs tels que :

- ◊ Ortho :
- ◊ Normée : ¹
- ◊ Directe :



Les vecteurs de base n'ont **pas d'unité**. Ils définissent les trois directions dans lesquelles le point M pourrait se mouvoir.

Notation M1.1 : Vecteur colonne ou explicite

Ainsi pour une base générique ($\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$), on représente de manière équivalente un vecteur par ses composantes sur chaque vecteur de base exprimées en colonne, ou par sa représentation explicite en fonction desdits vecteurs de base :

$$\vec{A} = \begin{pmatrix} A_i \\ A_j \\ A_k \end{pmatrix} \Leftrightarrow \vec{A} = A_i \vec{i} + A_j \vec{j} + A_k \vec{k}$$

Attention M1.1 : Différence référentiel/repère

Il ne faut pas confondre le **référentiel**, c'est-à-dire le système de référence (notion *physique*) avec le **repère**, c'est-à-dire l'outil géométrique qui sert à décrire le mouvement (notion *mathématique*). Il y a une infinité de repères spécifiques différents qui peuvent être associés à un même référentiel.

II Coordonnées cartésiennes

II/A Présentation

Définition M1.5 : Repère cartésien

La base cartésienne se définit par les vecteurs :

²

Jusqu'à notifié autrement, ce sera notre repère de prédilection.

FIGURE M1.1

On aura souvent des vecteurs définis par une **norme** et un **angle** par rapport à l'un des axes, et l'on souhaiterait obtenir leurs décompositions dans la base de projection.

1. On dit qu'ils sont *unitaires*.
2. On trouve parfois la notation $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$.

♥ Outils M1.1 : Projection vectorielle (2D)

Pour déterminer les coordonnées d'un vecteur \vec{A} sur les vecteurs de base d'un repère, on réalise une **projection** :

On peut alors utiliser les propriétés du produit scalaire :

avec θ l'angle entre les vecteurs, pris **positivement en sens trigonométrique**.

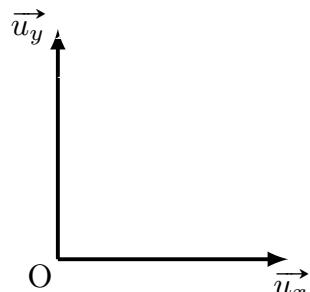


FIGURE M1.2 – Projection 2D

II/B Repérage

II/B) 1 Position

Définition M1.6 : Position en cartésiennes

On note la position $\overrightarrow{OM}(t)$, **homogène à une distance**. Elle s'exprime

et sa **norme** se calcule avec :

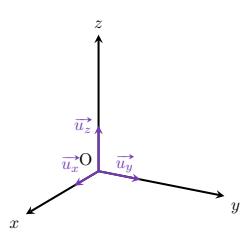
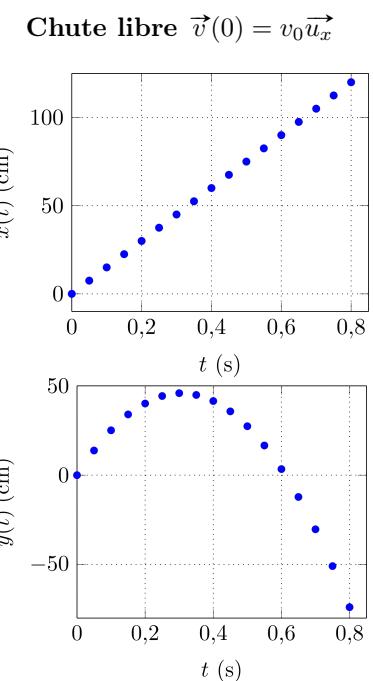
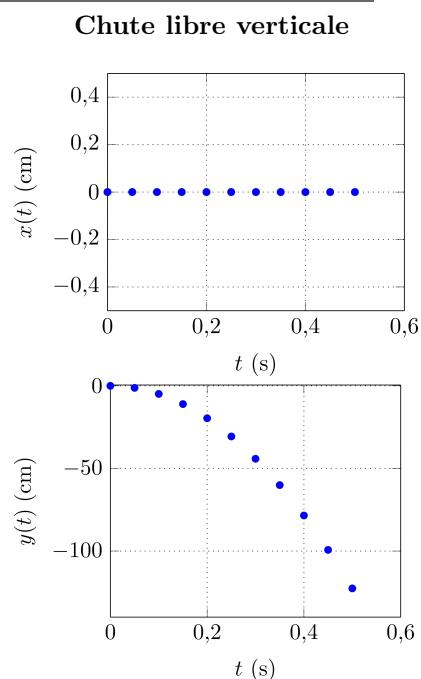
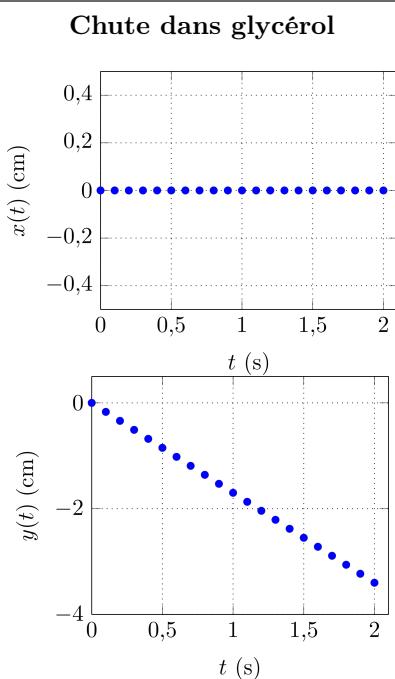


FIGURE M1.3

Définition M1.7 : Équations horaires et trajectoires

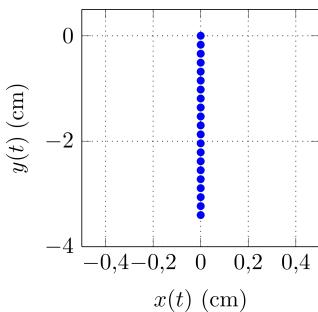
- ◊ Les **équations horaires** du mouvement sont les fonctions $x(t)$, $y(t)$ et $z(t)$ exprimées **explicitement** en fonction du temps t .
- ◊ La **trajectoire** est l'**ensemble des positions** successives du point $M(t)$ au cours du temps. C'est le « dessin » fait par le mobile au cours du temps dans l'espace.

Exemple M1.3 : Équations horaires et trajectoires en TP

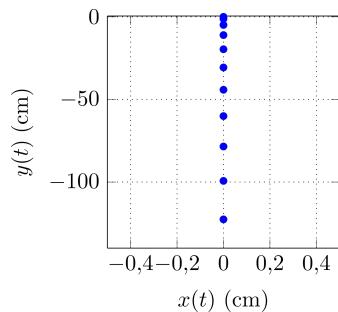


La trajectoire est la courbe $y(x)$ car le mouvement est plan. C'est une droite dans les deux premiers cas, et une parabole dans le dernier.

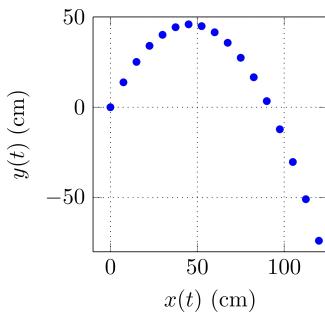
Chute dans glycérol



Chute libre verticale



Chute libre $\vec{v}(0) = v_0 \vec{u}_x$



Définition M1.8 : Déplacement élémentaire cartésien

Le **déplacement élémentaire** est le déplacement infiniment petit du point M pendant un temps infinitésimal dt . En cartésiennes,

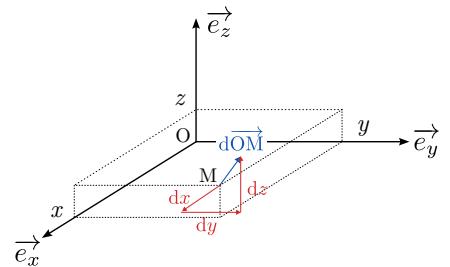


FIGURE M1.4 – $d\overrightarrow{OM}$ en cartésiennes.

II/B) 2 Vitesse

Définition M1.9 : Vitesse

La vitesse est la limite du taux d'accroissement du vecteur position :

Unité



Important M1.1 : Vitesse et trajectoire

Le vecteur vitesse est toujours tangent à la trajectoire.

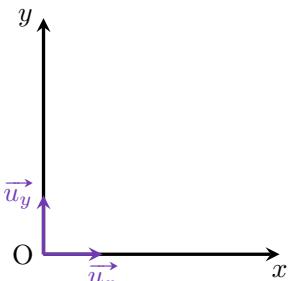


FIGURE M1.5

♥ Propriété M1.1 : Vitesse en cartésiennes

Démonstration M1.1 : Vecteur vitesse

On peut donc voir la vitesse comme étant le **rapport entre $d\overrightarrow{OM}$ et dt** , ou comme étant la **dérivée de $\overrightarrow{OM}(t)$** . Comme les vecteurs de la base cartésienne sont constants dans le temps, on obtient dans les deux cas :

Rapport

Dérivée

Exemple M1.4 : Vitesse selon expérience

- ◊ Pour la chute dans le glycérol, $\dot{x}(t) = 0$ et $\dot{y}(t) = \text{cte}$. Ainsi, $\vec{v}(t)$ est constant, et dirigé vers le bas.
- ◊ Pour la chute libre sans vitesse initiale, $\dot{x}(t) = 0$ et $\dot{y}(t)$ diminue : \vec{v} vers le bas, de norme variable.
- ◊ Pour la chute libre avec vitesse initiale, $\dot{x}(t) = \text{cte}$ et $\dot{y}(t)$ varie : \vec{v} tourne, de norme variable.

Attention M1.2 : Vitesse vecteur vs. scalaire

Selon le contexte, on fera particulièrement attention à ne pas confondre le mot « vitesse » entre le **vecteur** ou sa **norme**. Une vitesse, en **norme**, ne peut pas être négative ; les **composantes** du vecteur vitesse peuvent être négatives. On utilise parfois le mot « **vélocité** » pour faire référence explicite au **vecteur vitesse**.

II/B) 3 Accélération**Définition M1.10 : Accélération**

On définit l'accélération comme la **limite du taux d'accroissement** du vecteur vitesse :

Unité**Important M1.2 : Accélération et trajectoire**

Le vecteur accélération est toujours dirigé vers l'intérieur à la trajectoire (partie concave).

Propriété M1.2 : Accélération en cartésiennes

Par distribution de $\frac{d}{dt}$, on obtient :

Exemple M1.5 : Accélération selon expérience

- ◊ Pour la chute dans le glycérol, $\ddot{x}(t)$ et $\ddot{y}(t)$ sont nuls : le vecteur accélération est nul.
- ◊ Pour la chute libre sans vitesse initiale, $\ddot{x}(t) = 0$ et $\ddot{y}(t)$ est constant : \vec{a} vers le bas, norme constante.
- ◊ Pour la chute libre avec vitesse initiale, $\ddot{x}(t) = 0$ et $\ddot{y}(t)$ est constant : \vec{a} vers le bas, norme constante.

Attention M1.3 : Accélération

- ◊ L'accélération étant liée à la **variation de la vélocité**, si la vitesse diminue, l'accélération peut être négative.
- ◊ Pour que l'accélération soit nulle, il faut que **toutes les composantes** de la vitesse soient constantes. Un mouvement peut être de $v = \text{cte}$, mais \vec{v} tourne donc $\vec{v} \neq \text{cte}$, donc $\vec{a} \neq 0$ (cf. chapitre M3).

II/C Exemples de mouvements**II/C) 1 Mouvement rectiligne uniforme****Définition M1.11 : Mouvement rectiligne uniforme**

Un mouvement est dit **uniforme** si la **vitesse scalaire** $v = \|\vec{v}\|$ est **constante**. Il est dit rectiligne si la trajectoire est une droite.

Application M1.1 : Mouvement rectiligne uniforme

Montrer qu'un mouvement caractérisé $\vec{v}(t) = v_0 \vec{u}_x$ donne un mouvement rectiligne uniforme.

II/C) 2 Mouvement rectiligne uniformément accéléré

Définition M1.12 : Uniformément accéléré

Un mouvement est dit **uniformément accéléré** si la **norme du vecteur accélération** $\|\vec{a}\|$ est **constante**.

Application M1.2 : Mvt. rect. uniformément accéléré

Déterminer les équations horaires pour un mouvement uniformément accéléré caractérisé par $\vec{a}(t) = -g\vec{u}_y$ avec des conditions initiales nulles ($\overrightarrow{OM}(0) = \vec{0}$ et $\vec{v}(0) = \vec{0}$). Tracer $v(t)$ et $y(t)$.

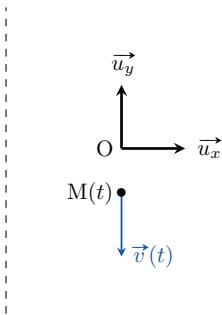


FIGURE M1.6

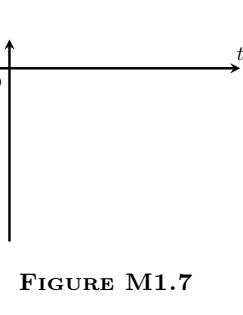
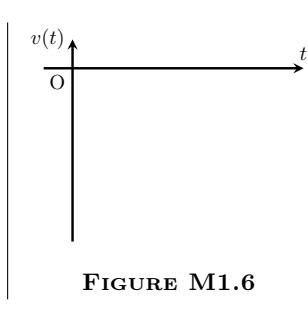


FIGURE M1.7

II/C) 3 Mouvement courbe uniformément accéléré

Application M1.3 : Mvt. courbe uniformément accéléré

Soit $\vec{a}(t) = -g\vec{u}_y$ avec $\vec{v}(0) = v_0\vec{u}_x$ et $\overrightarrow{OM}(0) = \vec{0}$.

- 1 Déterminer les équations horaires. Tracer les composantes de la vitesse et de la position.
- 2 Déterminer l'équation de la trajectoire. Tracer la trajectoire.

1

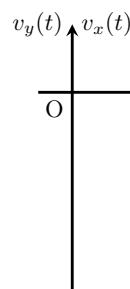


FIGURE M1.8

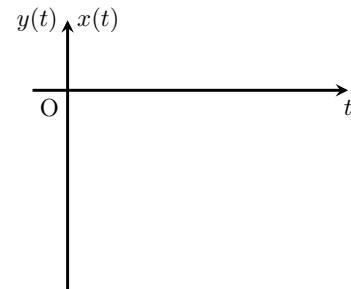


FIGURE M1.9

2

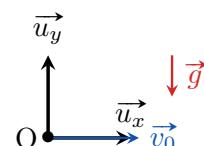


FIGURE M1.10