

**Water Resources Sustainability Project
(WRS)**

Rapport des Ravins de Nakhla

**Deliverable for
United States Agency for International Development**

Contract No. 608-0222-C-00-6007-00

Environmental Alternatives Unlimited (E.A.U.)

B.P. 8967, Agdal - Rabat

Tel : (037) 77 37 88 / 77 37 98

Fax : (037) 77 37 92

E-Mail : proprem@iam.net.ma

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classification des ravins.....	3
Tableau 2 : Caractéristiques du ravin R1	10
Tableau 3 : Caractéristiques du ravin R2.....	10
Tableau 4 : Caractéristiques du ravin R3.....	12
Tableau 5 : Caractéristiques du ravin R4.....	12
Tableau 6 : Caractéristiques du ravin R5.....	13
Tableau 7 Détermination de l'espacement et du nombre de seuils pour les ravins R1, R2 et R3...	15
Tableau 8 Détermination de l'espacement et du nombre de seuils pour les ravins R4 et R5	16
Tableau 9 : Epaisseur, fondations, ancrage et déversoir, Ravin R1	33
Tableau 10 : Epaisseur, fondations, ancrage et déversoir, Ravin R2	34
Tableau 11 : Epaisseur, fondations, ancrage et déversoir, Ravin R3	35
Tableau 12 : Epaisseur, fondations, ancrage et déversoir, Ravin R4	36
Tableau 13 : Epaisseur, fondations, ancrage et déversoir, Ravin R5	37
Tableau 14 : Calcul du volume unitaire (m ³ par modèle) - seuil en pierres sèches.....	39
Tableau 15 : Calcul du volume unitaire (m ³ par modèle) - seuil en gabions	40
Tableau 16 : Détail estimatif des coûts par tronçon et par ravin	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des ravins à corriger dans la zone 1	6
Figure 2 : Profil en long, tronçon AG, Ravin R1	17
Figure 3: Profil en long, tronçon GH, Ravin R1	18
Figure 4: Profil en long, tronçon GI, Ravin R1	19
Figure 5: Profil en long, tronçon AH, Ravin R2	20
Figure 6: Profil en long, tronçon AF, Ravin R3.....	21
Figure 7: Profil en long, tronçon FH, Ravin R3.....	22
Figure 8: Profil en long, tronçon FG, Ravin R3	23
figure 9: Profil en long, tronçon AI, Ravin R4	24
figure 10: Profil en long, tronçon IK, Ravin R4	25
Figure 11: Profil en long, tronçon IJ, Ravin R4.....	26
Figure 12: Profil en long, tronçon JJ1, Ravin R4.....	27
Figure 13: Profil en long, tronçon JJ2, Ravin R4.....	28
Figure 14: Profil en long, tronçon AC, Ravin R5	29
Figure 15: Profil en long, tronçon C1C2, Ravin R5	30
Figure 16: Profil en long, tronçon FF2, Ravin R5.....	31
Figure 17: Profil en long, tronçon FF3, Ravin R5.....	32

I. INTRODUCTION

L'étude de faisabilité du projet pilote de conservation des sols dans le bassin versant de Nakhla a prévu parmi les interventions directes la stabilisation des ravins dans les zones 1, 2 et 3. Ceci à travers la correction mécanique (construction de seuils en série) et la stabilisation des fonds et des berges par des procédés biologiques (plantations de lauriers). Ce rapport présente les ravins à traiter dans la zone 1 située dans la partie sud-est du bassin du côté des douars Bettara et El Ouadiyine. Il aborde aussi les différents types de seuils à construire, leur dimensionnement, le coût par type d'ouvrage et le coût total de la correction des ravins dans cette zone.

I. CORRECTION MECANIQUE DES RAVINS

I.1. CLASSIFICATION DES RAVINS

Avant de passer à la description détaillée de quelques seuils et pour faciliter la tâche des exécutions, il y a lieu de donner au préalable une classification des ravins susceptibles d'être rencontrés dans les périmètres. Cette classification est basée sur les dimensions des ravins (Tableau 1).

Tableau 1 : Classification des ravins

Type	Profondeur (m)
Principal ou primaire	4,5 et plus
Secondaire ou de 2 ^{ème} ordre :	2,0 à 4,0
Tertiaire ou de 3 ^{ème} ordre :	1,0 à 2,0
Ravin de 4 ^{ème} ordre :	0,3 à 1,0

I.2. PRINCIPE GENERAL DE LA CORRECTION MECANIQUE DES RAVINS

Pour les ravins, le phénomène à combattre est l'approfondissement qui déstabilise les berges et entraîne une érosion régressive, donc, une forte production de sédiments. L'objectif général recherché est de fixer les profils en long et en travers pour arrêter l'évolution de l'érosion, et si possible, d'élever la ligne du profil en long pour diminuer la pente des berges et donc augmenter leur stabilité.

Ceci se fait en construisant des seuils qui provoquent :

- Un atterrissement en amont de chaque ouvrage;
- Une diminution de la vitesse des eaux car la pente de cet atterrissement est toujours plus faible que celle du lit initial.
- Un étalement des eaux sur l'atterrissement, donc une augmentation de la surface de frottement qui vient encore diminuer la vitesse des eaux; et
- La formation (par atterrissement) de coins, qui viennent étayer les berges.

D'une façon générale, le cours du ravin est divisé en plusieurs sections, chacune déterminée par un emplacement particulièrement solide (rochers, étranglement de lits entre deux berges rocheuses, etc....) permettant la construction et la mise en place de seuils importants et résistants.

Dans chaque tronçon du ravin , en commençant par la partie aval, on construit une série de seuils disposés en marches d'escalier de telle façon que l'atterrissement du seuil aval arrive au pied du seuil amont. Ces atterrissements auront une pente en long inférieure à la pente initiale du ravin, que l'on appelle pente limite ou pente de compensation. Pour une telle pente, la quantité de matériaux enlevés par le ravin correspond à la quantité déposée. Une fois la correction mécanique achevée, les atterrissement et les berges doivent être consolidés et fixés par une revégétalisation.

I.3. TYPES DE SEUILS

Un seuil est un ouvrage construit au travers du lit d'un ravin. Il peut être en maçonnerie, en béton, en pierres sèches ou en bois. Il est placé perpendiculairement à l'axe du lit pour arrêter l'érosion en profondeur et sur les côtés, retenir les matériaux charriés, et stabiliser les éboulis des berges en leur procurant un appui. Son efficacité est fonction de sa durabilité, il faut donc donner au seuil une réelle solidité par l'emploi de matériaux convenables et une construction soignée.

Il existe plusieurs types de seuils selon les matériaux de construction utilisés.

1.3.1. Pierres sèches

Ce type de seuils doit être employé dans les petits et moyens ravins, partout où la pierre est disponible. Son coût dépend largement de la distance de transport, mais le faible coût de la mise en œuvre et la facilité de l'adaptation au profil en travers du ravin conduit généralement à favoriser ce type et à admettre une distance de transport de plusieurs kilomètres, avec ouverture de carrière si nécessaire.

La partie la plus sensible de cet ouvrage est le couronnement; il risque d'être emporté par les eaux ou éboulis dus au passage des hommes et des animaux. Il est donc recommandé de :

- Donner au déversoir une forme curviligne;
- Donner au parement aval un fruit de 20 à 30 %;
- Protéger l'amont par un atterrissement artificiel; et
- Disposer les plus grosses pierres (longueur dans le sens du courant) sur le couronnement

1.3.2.. Enrochement

Construit avec des blocs de très grosses dimensions. Les fruits des parements aval et amont sont identiques (50 %). Il résiste bien aux crues violentes, mais laisse souvent filtrer l'eau et l'atterrissement risque d'être "lavé".

1.3.3. Gabions

Il facilite les travaux de correction de ravin dans les régions difficiles (manque de moyen de transport de matériaux etc.). Ce type d'ouvrage est à utiliser principalement pour les ouvrages de base, au départ du ravin et dans les zones de glissement de terrain.

1.3.4. Grillage métallique

Le seuil en grillage est construit en demi-lune, la concavité tournée vers l'aval. Le déversoir est curviligne; les ailes sont largement remontées dans les berges.

1.3.5. Piquets et fascines

Les piquets souvent confectionnés en essences peuvent se bouturer sont profondément enfoncés dans le sol du lit et des berges avec un fruit de 20 % vers l'amont. Les fascines sont solidement liées à des piquets et l'atterrissement artificiel est tassé.

Tous ces ouvrages doivent être complétés le plus rapidement possible par des plantations de fixation ligneuses ou herbacées vivaces (emprises des ouvrages et berges des ravins).

I.4. CARACTERISTIQUES DES SEUILS

I.4.1. Hauteur

Elle est en fonction des profils en travers et en long des ravins. Plus un ouvrage est grand, plus le risque de renversement accroît, plus le prix de revient est élevé.

I.4.2. Epaisseur

L'épaisseur moyenne E d'un seuil de hauteur H est donnée par la formule :

$$E = 1/2 H.$$

Dans le cas des seuils en maçonnerie de pierres sèches, ou de moellons l'épaisseur à la base doit être supérieure à celle du couronnement. Généralement, le fuit du seuil est de l'ordre de 20 %, l'on recommande que :

- L'épaisseur du couronnement soit égale à 0,4 H (H étant la hauteur du seuil); et
- L'épaisseur à la base soit égale à 0,6 H.

I.4.3. Forme du déversoir

Le déversoir est la partie supérieure du seuil par où s'écoule l'eau du ravin. Il peut avoir une forme rectangulaire, trapézoïdale ou curviligne. La forme curviligne est à utiliser dans les berges peu solides. Les deux autres formes qui étalent mieux les eaux conviennent aux berges solides. Les dimensions des seuils doivent être suffisantes pour assurer l'écoulement des plus fortes crues, sans débordement.

I.4.4. Fondation des seuils

Les fondations doivent avoir une largeur supérieure à l'épaisseur de la base du mur et dépasser celle-ci de 20 à 30 cm en amont et en aval. Les seuils doivent être profondément ancrés dans les berges. Les ruptures les plus fréquentes des seuils ont pour origine des affouillements qui se produisent en deux points:

- Au pied du seuil; la chute d'eau et les remous qu'elle provoque affouillent le pied de l'ouvrage qui se renverse. Pour éviter ces accidents, il faut, dans les sols meubles, faire des fondations relativement profondes et construire un contre-seuil réuni au seuil principal par un radier à forte pente.
- Dans les berges, afin d'éviter que le seuil soit tourné par le courant d'eau, il faut encastrier profondément les ailes de l'ouvrage dans les berges par des fondations en escalier; surélever les ailes près des berges et aménager correctement le déversoir .

II. CHOIX DES RAVINS A TRAITER

Les ravins qui font l'objet de la présente étude sont situés dans la zone I plantée d'oliviers. Cette zone est située dans la partie amont du bassin à l'ouest du douar Bettara. La figure 1 montre la localisation des ravins choisis. Ils sont orientés Est-Ouest et se développent plus ou moins parallèlement selon la plus grande pente et constituent les affluents de deux grands collecteurs orientés nord qui rejoignent l'oued Nakhla. Des visites répétées de terrain nous ont permis d'identifier une dizaine de ravins au niveau de la zone 1. Nous avons choisis cinq ravins que nous avons numérotés de R1 à R5 (Figure 1).

Le choix a été basé sur deux critères :

- Le critère lithologique, i.e. la vulnérabilité au ravinement, i.e. la vitesse de naissance et de développement d'un système de ravins, et donc, la production de sédiments. Les formations les plus vulnérables sont les flyshs,

Figure 1 Localisation des ravins sélectionnés

- Le critère priorité d'intervention et enveloppe budgétaire allouée à la correction des ravins dans la zone I. En effet, la priorité d'intervention doit être donnée à la partie amont des ravins de la zone, i.e. la partie située en amont de la piste allant vers El Ouadiyine.

III. PROFILS EN TRAVERS ET PROFILS EN LONG DES RAVINS

Pour les cinq ravins choisis, nous avons effectué des relevés topographiques, principalement le profil en long et des profils en travers, après avoir subdivisé chaque ravin en tronçons sur la base de la variation de la largeur et de la profondeur de la section, et de la discontinuité de la pente. Pour les parties amont de certains ravins (R2, R3, et R4), les tronçons amonts de certains ravins et les ravins relativement étroits (R1 et R5), nous n'avons pas effectué de profils en travers, seules la profondeur et la largeur moyenne ont été mesurée. Les données brutes sur les profils en long et en travers sont dans les Annexes 1 à 5.

III.1. RAVIN R1

C'est un ravin localisé à droite de la piste menant vers El Ouadiyine. Il est relativement récent et s'est développé probablement durant les trois ou quatre dernières années. Sa longueur totale est 210 mètres, nous l'avons divisé en cinq tronçons selon le creusement et la pente (Tableau 2) qui varie entre 7 et 23 % avec une moyenne de 12 %. La profondeur du creusement varie entre 0,5 et 0,8 m avec une largeur moyenne de 1,4 m.

III.2. RAVIN R2

Le creusement a atteint la roche faite de flyschs compactés. L'eau circulait encore au moment de l'observation. Nous avons divisé ce ravin en quatre tronçons en fonction du changement de pente et des dimensions de la section transversale (l'ampleur du creusement et du matériau à travers lequel se fait le creusement). La longueur totale du ravin est de 304 mètres avec une dénivelée totale de 19 mètres et une pente entre 3 (Tronçon GH) et 16 % (le premier tronçon AD) avec une moyenne de 8 %. La largeur de la section oscille entre 2,0 et 3,5 mètres et la profondeur varie entre 0,8 et 1,5 mètres (Tableau 3).

Tableau 2 : Caractéristiques du ravin R1

Tronçon	Longueur au sol (m)	Dénivelée (m)	Pente (%)	Section moyenne	
				profondeur (m)	Largeur (m)
AB	21	5	23	0,8	1,5
BD	76	6	7	0,8	1,5
DG	64	15	15	0,8	2
GH	27	1	4	0,5	1
GI	23	3	11	0,5	1
Total	211	30			
Moyenne			12	0,68	1,4

Tableau 3 : Caractéristiques du ravin R2

Tronçon	Longueur au sol (m)	Dénivelée (m)	Pente (%)	Section moyenne		Profil type ¹
				profondeur (m)	largeur (m)	
AD	51	8	16	1,5	3,5	P21
DF	66	4	7	0,8	2,5	P24
FG	27	2	7	1,25	2	P25
GH	160	4	3	0,8	2	
Total	304	18				
Moyenne			8	1,1	2,5	

¹ Pour les profils en travers types, voir Annexe 2

III.3. RAVIN R3

L'un des ravins les plus importants. Il est creusé dans des formations sablo-gréseuses et permet d'accumuler les eaux des différentes griffes qui se développent dans la zone nord de Bettara. Il est long de 358 mètres et a été divisé en six tronçons de pente et de sections variables (Tableau 4). En effet, la pente varie entre 23 % en aval (Tronçon AB) et 4 % au niveau de la bifurcation tout à fait en amont (Tronçon F1G) avec une pente moyenne de 7 %. La section est relativement large en aval relativement large et profonde par rapport à la partie amont. En effet, la largeur et la profondeur varient respectivement entre 6 mètres (tronçons AB et BE) et 1,5 mètres (à partir de la bifurcation, point F) et 3,0 (tronçon AB) et 0,5 mètres (en amont du point de bifurcation F). La moyenne étant de 3,6 et 1,45, respectivement pour la largeur et la profondeur.

III.4. RAVIN R4

C'est l'un des ravins les plus longs dans cette zone. Sa partie en amont de la piste présente un creusement dont l'ampleur varie selon les terrains traversés. En amont, le creusement du ravin s'est fait dans des formations sableuses et gréseuses avec un lit rocheux et en aval, le creusement s'est fait dans des terrains formés de flyschs. Il a été subdivisé en dix tronçons (Tableau 5) dont la longueur s'élève à 557 mètres et il représente le ravin le plus long parmi les cinq choisis. La pente varie entre 26 % (Tronçon AB) et 6 % (Tronçon EG) avec une pente moyenne de l'ordre de 12 %. La dénivelée totale entre le point le plus bas (point A) et le plus éloigné (point J2) est de 65 m. La section moyenne a une profondeur moyenne de l'ordre de 1,45 mètres avec un minimum de 0,5 mètres (Tronçons JJ2) et un maximum de 2,5 mètres (Tronçon GH). Sa largeur quant à elle oscille entre 1 (Tronçons JJ1 et JJ2) et 7 mètres (Tronçon HI) avec une moyenne de 3,9 mètres.

III.5. RAVIN R5

Situé à l'extrémité nord de la zone I, il peut être subdivisé en deux parties (Tableau 6) : (i) la partie amont et aval (200 mètres) qui s'est développée sur des substrats sablo-gréseux et où on peut envisager des seuils en maçonnerie de moellons et (ii) la partie du milieu où on assiste à un des glissements de terrain très importants (265 mètres). Cette dernière partie ne peut être corrigée

Tableau 4 : Caractéristiques du ravin R3

Tronçon	Longueur au sol (m)	Dénivelée (m)	Pente (%)	Section moyenne		Profil type ²
				profondeur (m)	largeur (m)	
AB	14	3	23	3	6	P32
BE	151	17	10	2	6	P33
EF	43	3	6	2,25	5	P34
FH	74	5	7	0,5	1,5	
FF1	16	3	10	0,5	1,5	
F1G	60	2	4	0,5	1,5	
Total	358	33				
Moyenne			7	1,45	3,6	

Tableau 5 : Caractéristiques du ravin R4

Tronçon	Longueur au sol (m)	Dénivelée (m)	Pente (%)	Section moyenne		Profil type ³
				profondeur (m)	largeur (m)	
AB	20	2	9	1,5	3	P41
BE	39	10	26	1,25	6	P42
EG	59	4	6	2	3,5	P44
GH	30	4	12	2,5	3,5	P46
HI	65	5	8	1,5	7	P47
IK	65	9	13	1,5	6	P410
II1	83	6	8	1,5	5	P48
I1J	142	19	13	1,5	3	P49
JJ1	30	4	13	0,8	1	
JJ2	25	3	13	0,5	1	
Total	558	66				
Moyenne			12	1,45	3,9	

² Pour les profils en travers types, voir 'Annexe 3

³ Pour les profils en travers types, voir 'Annexe 4

qu'en végétalisant les flancs du ravin et les sites de glissement de terrain. La pente varie entre 6 en aval et 29 % au milieu avec une moyenne de 13 %. Le creusement en amont et en aval atteint des profondeurs de 0,5 à 0,8 m avec une largeur de 1,5 à 2,5 m.

Tableau 6 : Caractéristiques du ravin R5

Tronçon	Longueur au sol (m)	Dénivelée (m)	Pente (%)	Section moyenne	
				profondeur (m)	largeur (m)
AC	108	7	6	0,5	1,5
CC1	84	3	3	Glissement de terrain	
C1C2	110	12	11	0,5	1,5
CD	18	3	16	Glissement de terrain	
DE	24	7	29	Glissement de terrain	
EF	24	2	7	Glissement de terrain	
FF2	64	8	12	0,8	2,5
FF3	35	7	20	0,8	2,5
Total	467	49			
Moyenne			13	0,65	2,00

IV. DIMENSIONNEMENT DES SEUILS

IV.1. CALCUL DE L'ESPACEMENT ET DU NOMBRE DE BARRAGES

Pour calculer l'espacement entre barrages et le nombre de barrages, nous avons utilisé la formule (Heede & Mufich, 1973)⁴ suivante :

$$S = H_E / (K G \cos(a))$$

Où

S : l'espacement entre les seuils (m),

⁴ Heede B. and J. Mufich. 1973. Functional relationships and a computer program for structural gully control. *Journal of Environmental Management* 1 : pp 321-344.

H_E : la hauteur effective (m),

G : le gradient du ravin exprimé en terme de rapport,

α : l'angle correspondant au gradient du ravin, et

K : une constante égale à 0,3 quand le gradient $G < 0,2$ et 0,5 quand $G > 0,2$.

Cette équation est basée sur le fait que le gradient des dépôts de sédiments derrière le barrage est égal à $(1 - K) G$.

D'après cette formule, on voit bien que l'espacement est indépendant de la longueur totale du ravin et dépend surtout de la hauteur et de la pente. Plus la pente est élevée, plus l'espacement est petit et donc plus le nombre de barrages est élevé. Lorsque la pente est faible, l'espacement a tendance à être élevé et le nombre de barrage réduit. Bien sûr, quand cela est nécessaire, le nombre de seuils à construire est rectifié en fonction des données du terrain. La hauteur effective est déterminée à partir des profils en travers types mesurés (ou estimés) sur le terrain.

Les Tableaux 7 et 8 montrent l'espacement, le nombre et le type de seuils pour les cinq ravins étudiés. L'espacement est déterminé par l'équation ci-dessus, alors que le nombre de seuils est obtenu en divisant la longueur totale du tronçon par l'espacement. Quant au type de seuil, il a été dicté d'une part par la hauteur effective et le type de substrat. Les seuils en gabion ont été préférés dans des sections qui sont potentiellement vulnérables à l'érosion des berges ou dans des substrats à argile gonflante (observations récoltés lors des travaux de terrain). Les figures 2 à 17 montrent les profils en long et la localisation des seuils pour chaque tronçon des cinq ravins.

IV. 2. FONDATION, EPAISSEUR ET ANCRAGE DU SEUIL

D'après la littérature, la fondation a une valeur comprise entre 25 et 50 % de la hauteur du seuil, nous avons pris dans notre cas une moyenne de 25 %. L'ancrage du mur du seuil dans les deux berges est généralement de 50 % (25 % de chaque côté) de la largeur du seuil, c'est la valeur que nous avons retenue pour estimer l'ancrage. Quant à l'épaisseur du seuil maçonnerie de moellons, celle-ci varie car le fruit du seuil a généralement une pente avale qui varie de 20 à 30 %. Pour un fruit de 20 %, nous avons calculé l'épaisseur au couronnement, au centre et à la base, respectivement égale à 40, 50 et 60 % de la hauteur effective du barrage. Pour les seuils en

Tableau 7 : Détermination de l'espacement et du nombre de seuils pour les ravins R1, R2 et R3

Tronçon	Section		G ¹	Tang(a)	a ²	cos(a)	K ³	Longueur (m)	S	Nombre de seuils		Type ⁴
	H _E ⁵ (m)	Largeur (m)								Calculé	Arrondi	
Ravin R1												
AB	0,8	1,5	0,227	0,227	0,22	0,975	0,50	21	7	2,92	3	MM
BD	0,8	1,5	0,073	0,073	0,07	0,997	0,30	76	37	2,07	2	MM
DG	0,8	2	0,147	0,124	0,12	0,992	0,30	64	18	3,47	3	MM
GH	0,5	1	0,044	0,042	0,04	0,999	0,30	27	38	0,70	1	MM
GI	0,5	1	0,110	0,110	0,11	0,994	0,30	23	15	1,50	2	MM
Ravin R2												
AD	1,5	3,5	0,161	0,161	0,16	0,987	0,30	51	31	1,62	2	GB
DF	0,8	2,5	0,068	0,068	0,07	0,998	0,30	66	39	1,68	1	MM
FG	1,25	2	0,072	0,072	0,07	0,997	0,30	27	58	0,47	1	GB
GH	0,8	2	0,025	0,025	0,02	1,000	0,30	160	107	1,50	2	MM
Ravin R3												
AB	3	6	0,226	0,226	0,22	0,975	0,50	14	27	0,51	1	GB
BE	2	6	0,098	0,098	0,10	0,995	0,30	151	68	2,21	2	GB
EF	2,25	5	0,063	0,063	0,06	0,998	0,30	43	119	0,36	1	GB
FH	0,5	1,5	0,068	0,068	0,07	0,998	0,30	74	25	3,01	3	MM
FF1	0,5	1,5	0,100	0,100	0,10	0,995	0,30	16	17	0,97	1	MM
F1G	0,5	1,5	0,040	0,040	0,04	0,999	0,30	60	42	1,44	2	MM

¹ Gradient du ravin exprimé en terme de rapport

² Angle correspondant au gradient du ravin

³ Constante

⁴ MM = seuil en maçonnerie de moellons, GB = Seuil en Gabions

⁵ Hauteur effective

Tableau 8 : Détermination de l'espacement et du nombre de seuils pour les ravins R4 et R5

Tronçon	Section		G ¹	Tang(a)	a ²	cos(a)	K ³	Longueur (m)	S	Nombre de seuils		Type ⁴
	HE ⁵ (m)	Largeur (m)								Calculé	Arrondi	
ravin R4												
AB	0,8	2,5	0,092	0,092	0,09	0,996	0,30	20	29	0,67	1	MM
BE	1,25	6	0,257	0,257	0,25	0,969	0,30	39	17	2,32	2	GB
EG	2	3,5	0,064	0,064	0,06	0,998	0,30	59	104	0,57	1	GB
GH	2,5	3,5	0,120	0,120	0,12	0,993	0,30	30	70	0,43	1	GB
HI	1,5	7	0,083	0,083	0,08	0,997	0,30	65	60	1,08	1	GB
IK	1,5	6	0,132	0,132	0,13	0,991	0,30	65	38	1,71	2	GB
II1	1,75	6	0,078	0,078	0,08	0,997	0,30	83	75	1,10	1	GB
I1J	0,8	2,5	0,134	0,134	0,13	0,991	0,30	142	20	7,05	7	MM
JJ1	0,8	1	0,134	0,131	0,13	0,991	0,30	30	20	1,49	2	MM
JJ2	0,8	1	0,134	0,131	0,13	0,991	0,30	25	20	1,25	1	MM
Ravin R5												
AC	0,5	1,5	0,064	0,064	0,06	0,998	0,30	108	26	4,10	4	MM
C1C2	0,5	1,5	0,108	0,108	0,11	0,994	0,30	110	16	7,09	7	MM
FF2	0,8	2,5	0,123	0,123	0,12	0,993	0,30	64	22	2,90	3	MM
FF3	0,8	2,5	0,199	0,199	0,20	0,981	0,30	35	14	2,56	3	MM

¹ Gradient du ravin exprimé en terme de rapport;

² Angle correspondant au gradient du ravin

³ Constante

⁴ MM = seuil en maçonnerie de moellons, GB = Seuil en Gabions

⁵ Hauteur effective

Figure 2 : Profil en long, Tronçon AG, Ravin R1

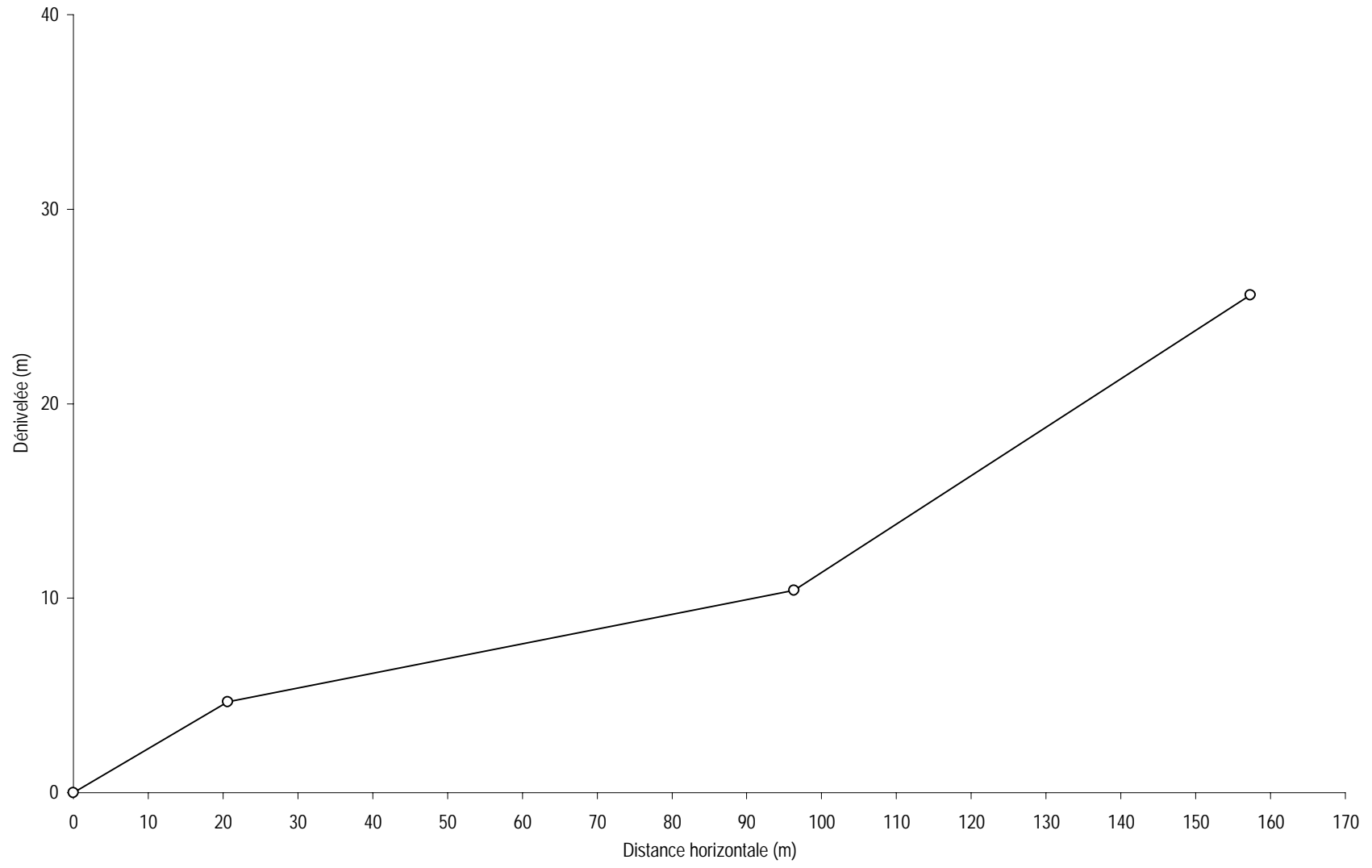


Figure 3 : Profil en long, Tronçon GH, Ravin R1

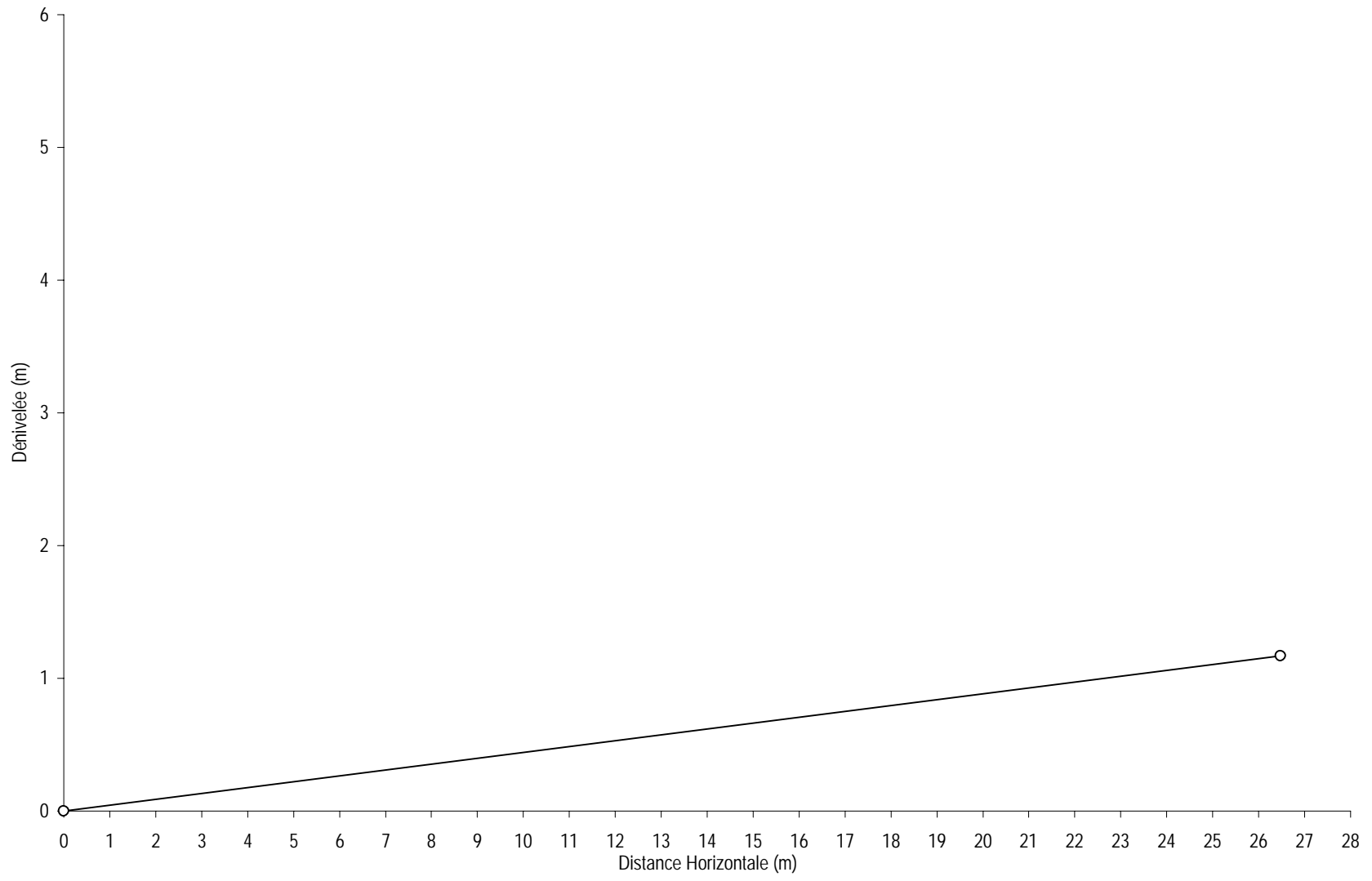


Figure 4 : Profil en long, Tronçon GI, Ravin 1

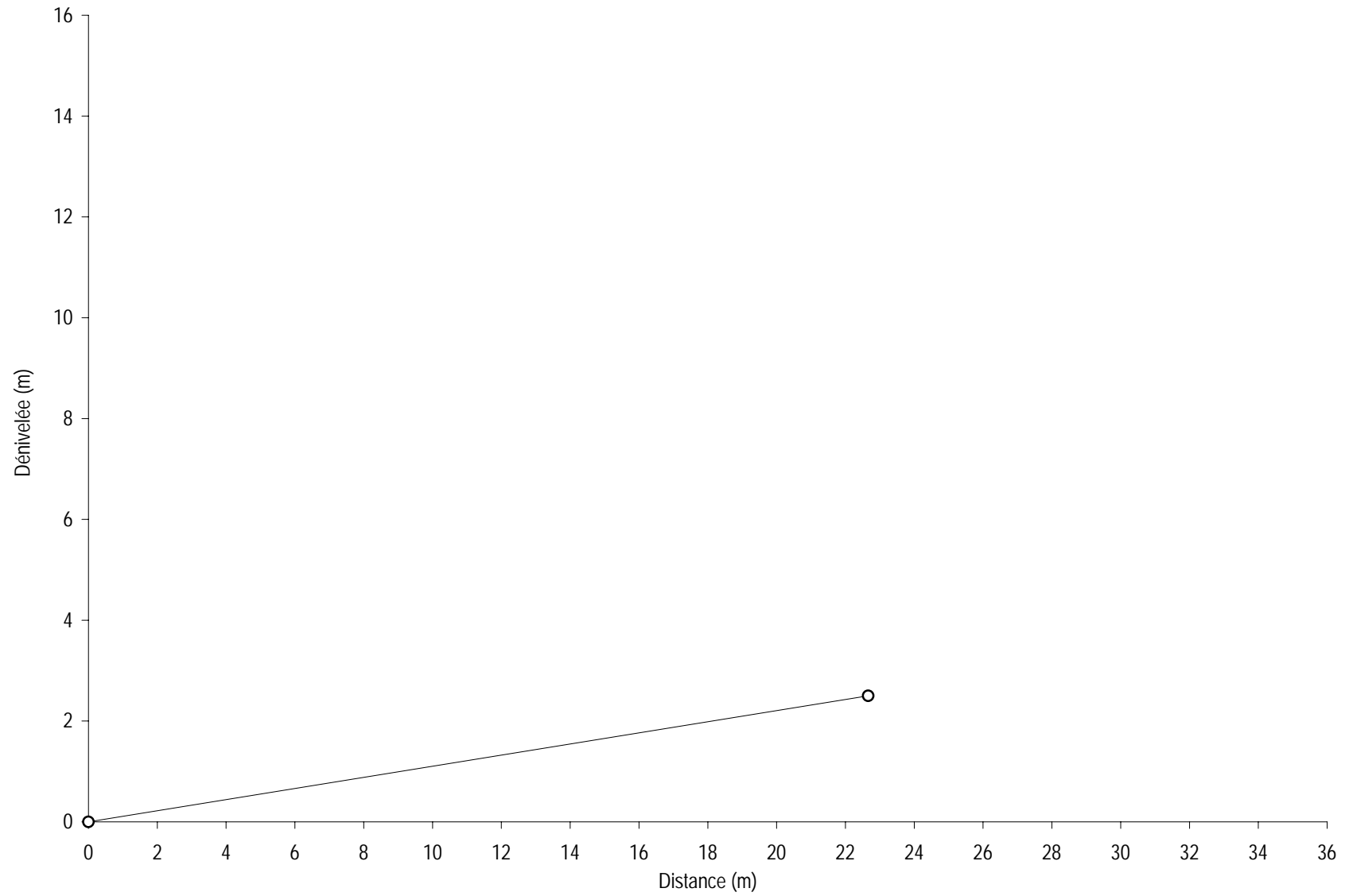


Figure 5 : Profil en long, Tronçon AH, Ravin R2

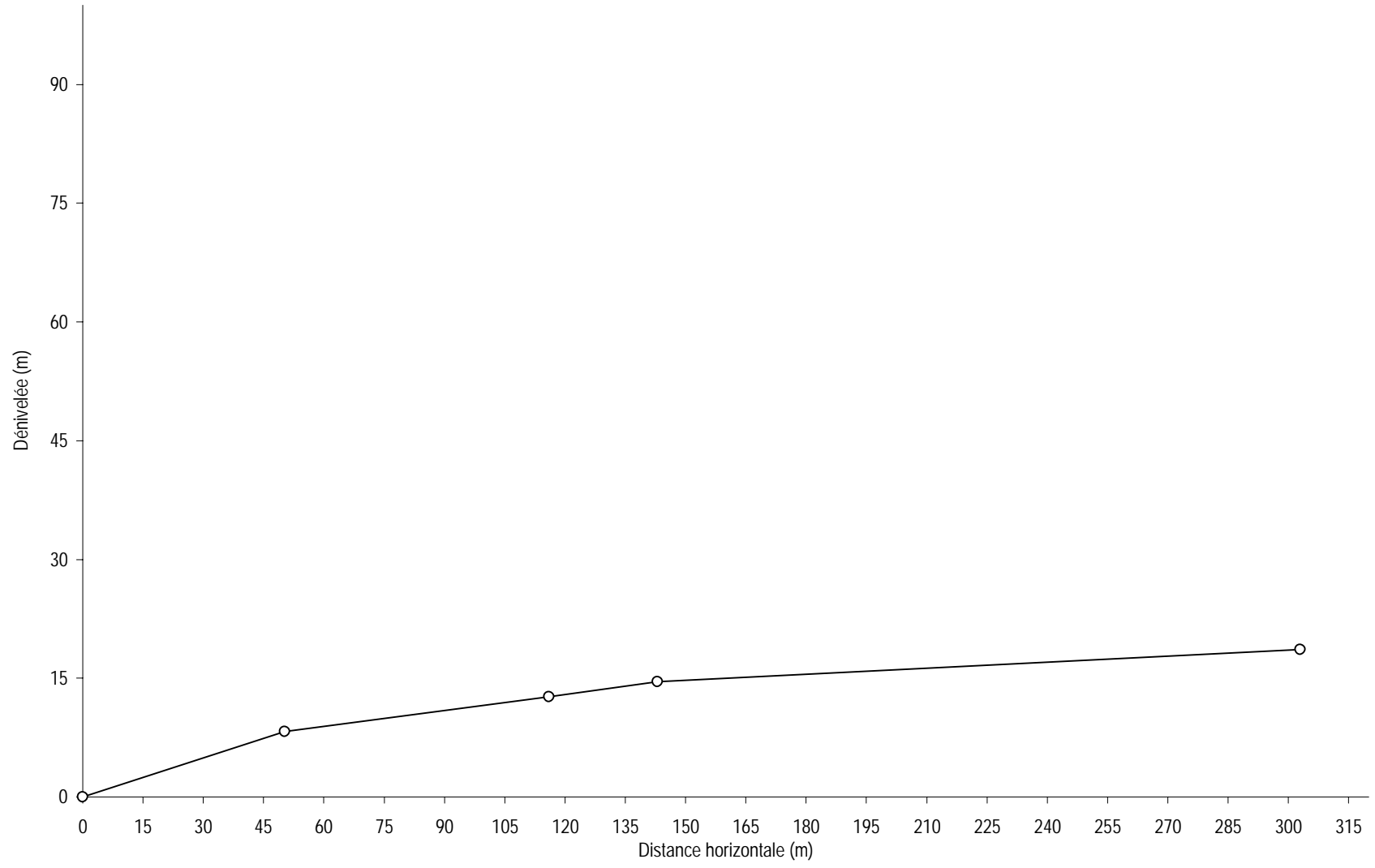


Figure 6 : Profil en long, Tronçon AF, Ravin R3

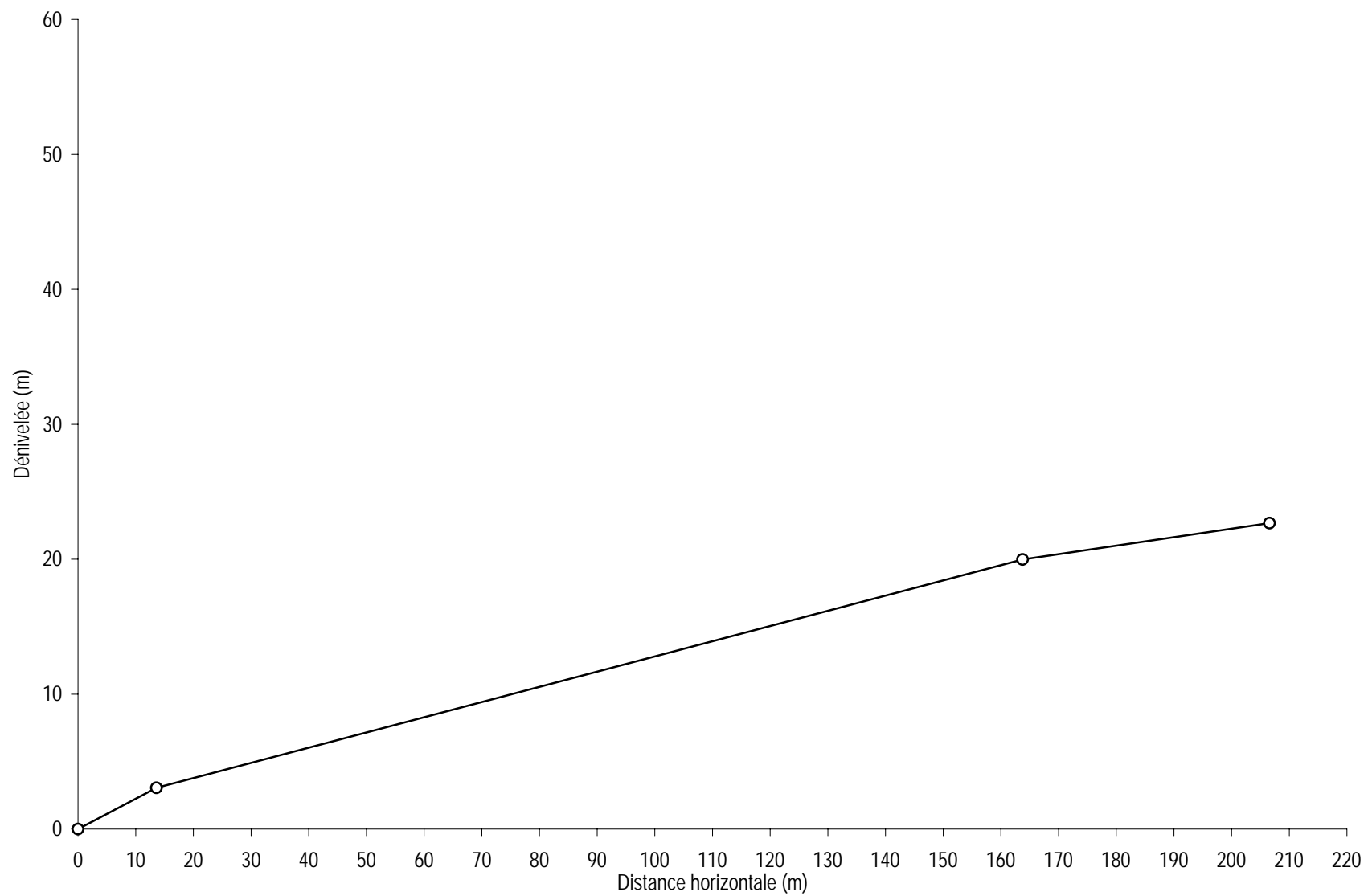


Figure 7 : Profil en long, Tronçon FH, Ravin R3

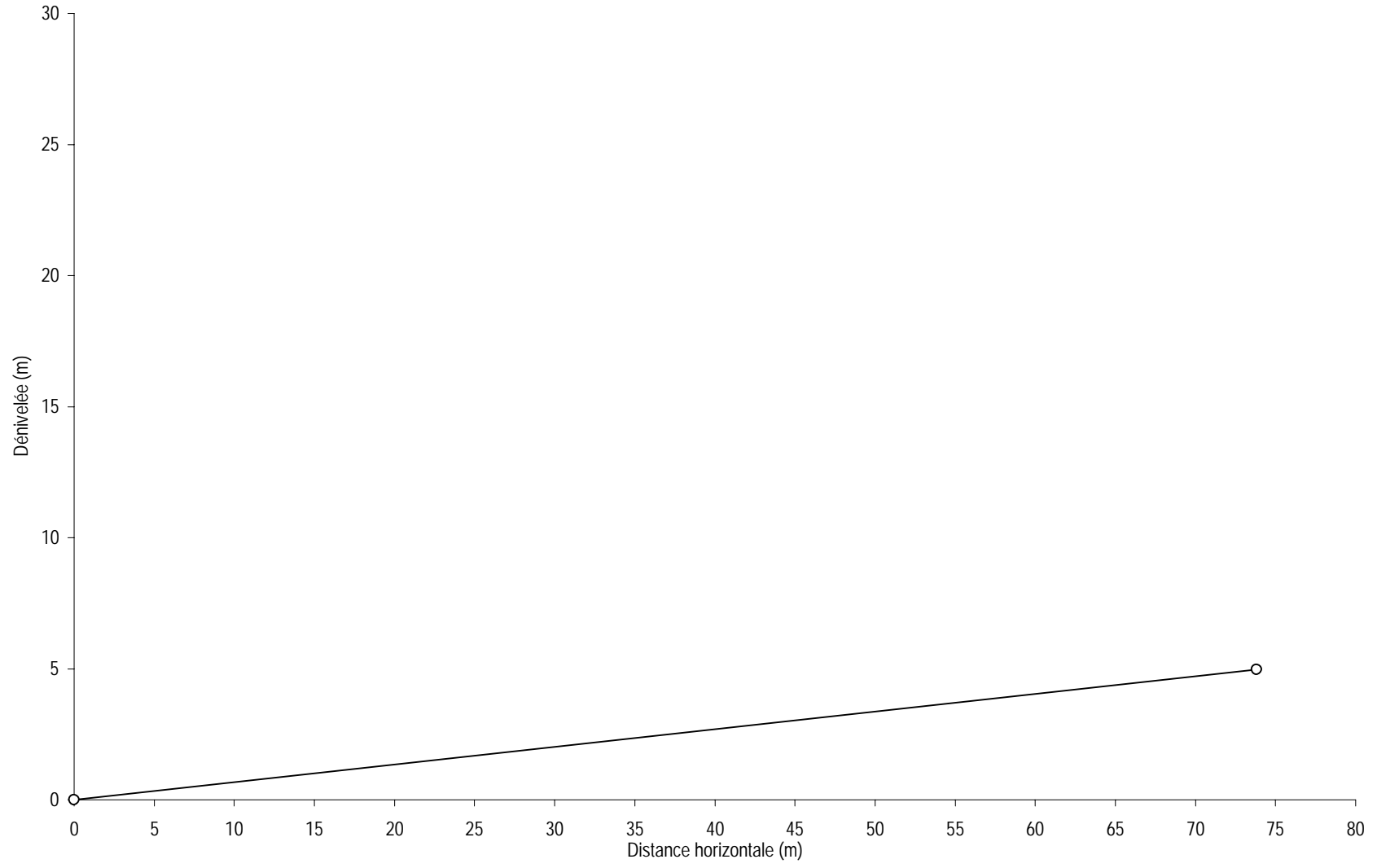


Figure 8 : Profil en long, Tronçon FG, Ravin R3

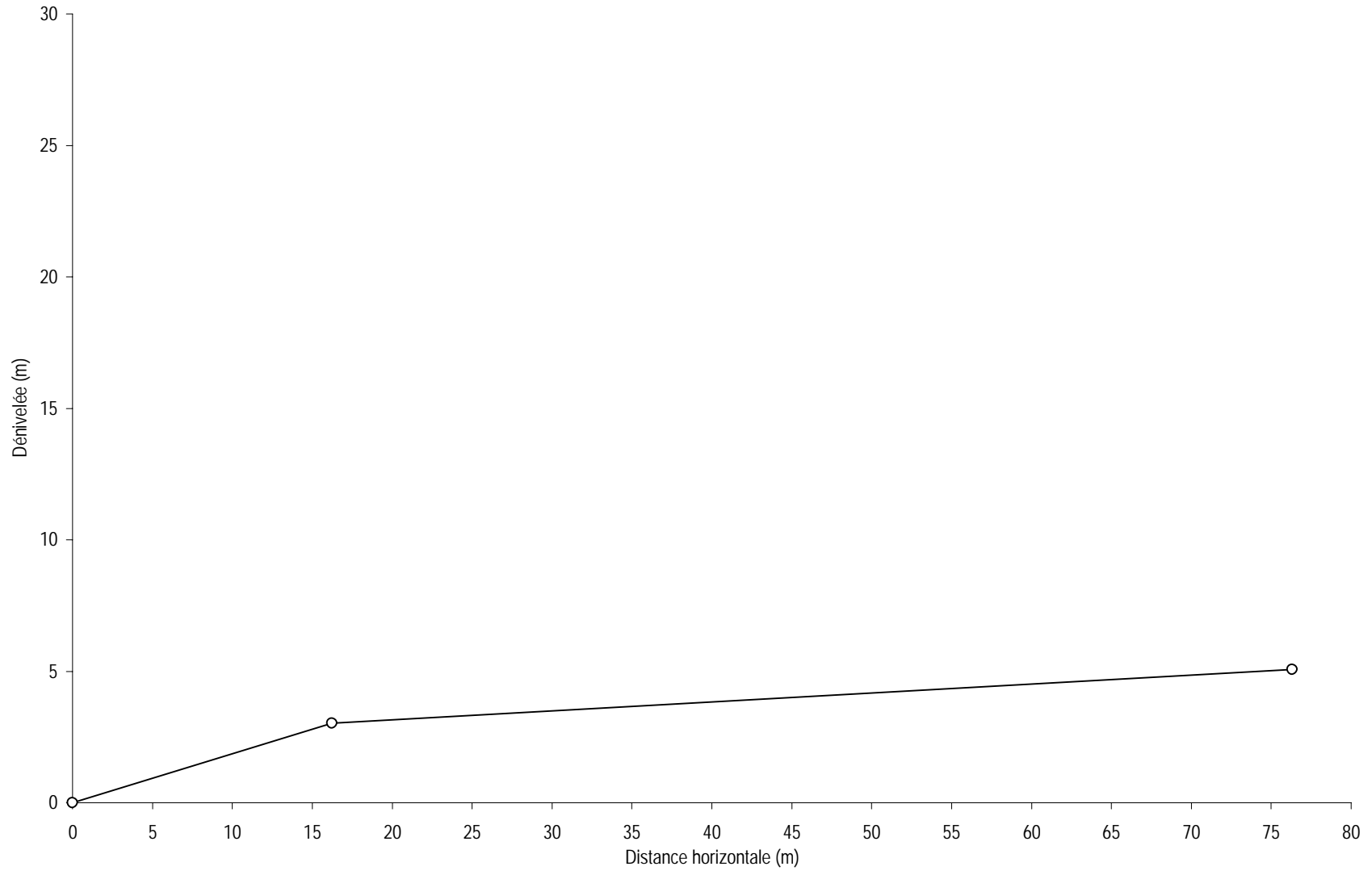


Figure 9 : Profil en long, Tronçon AI, Ravin R4

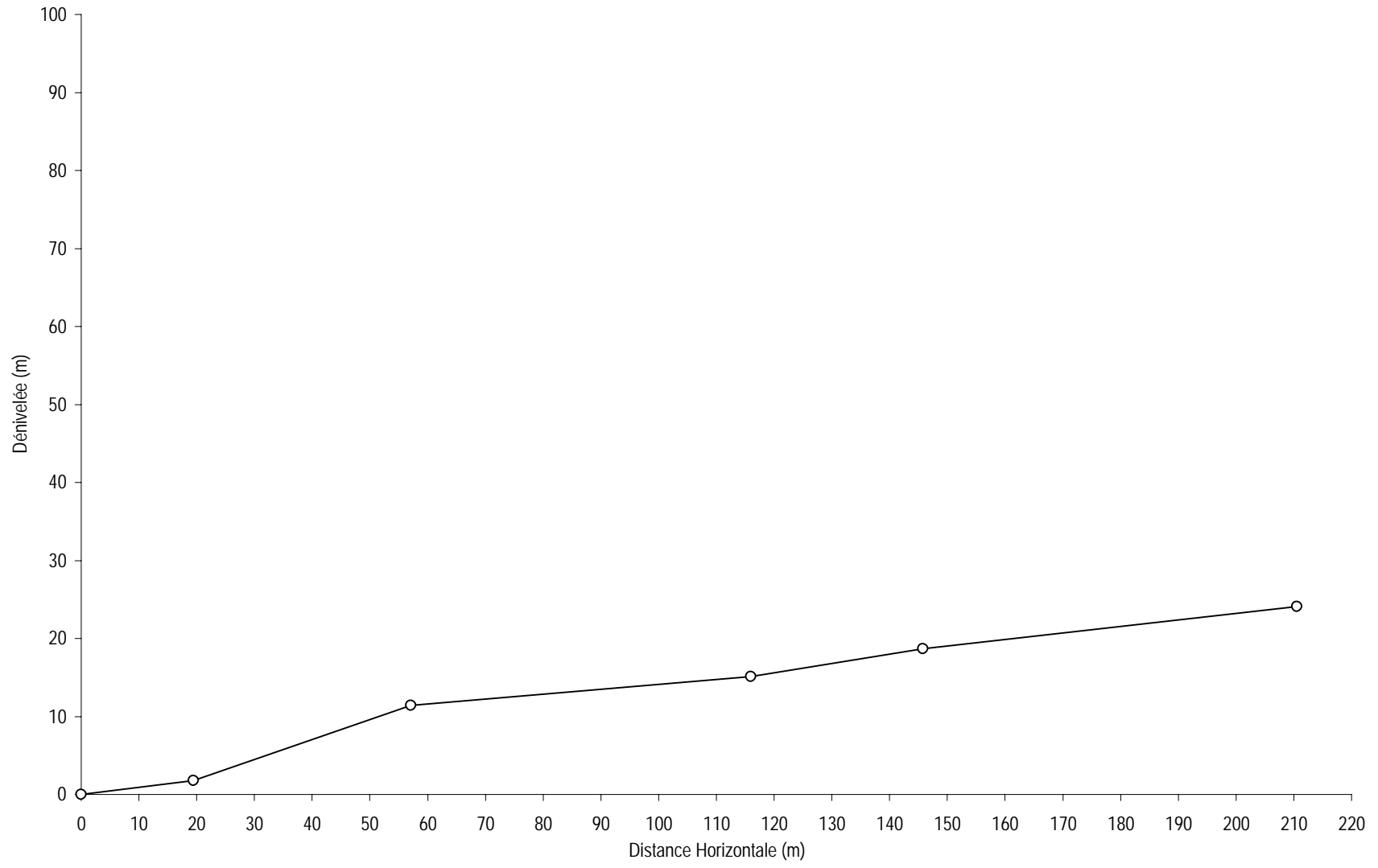


Figure 10 : Profil en long, Tronçon IK, Ravin R4

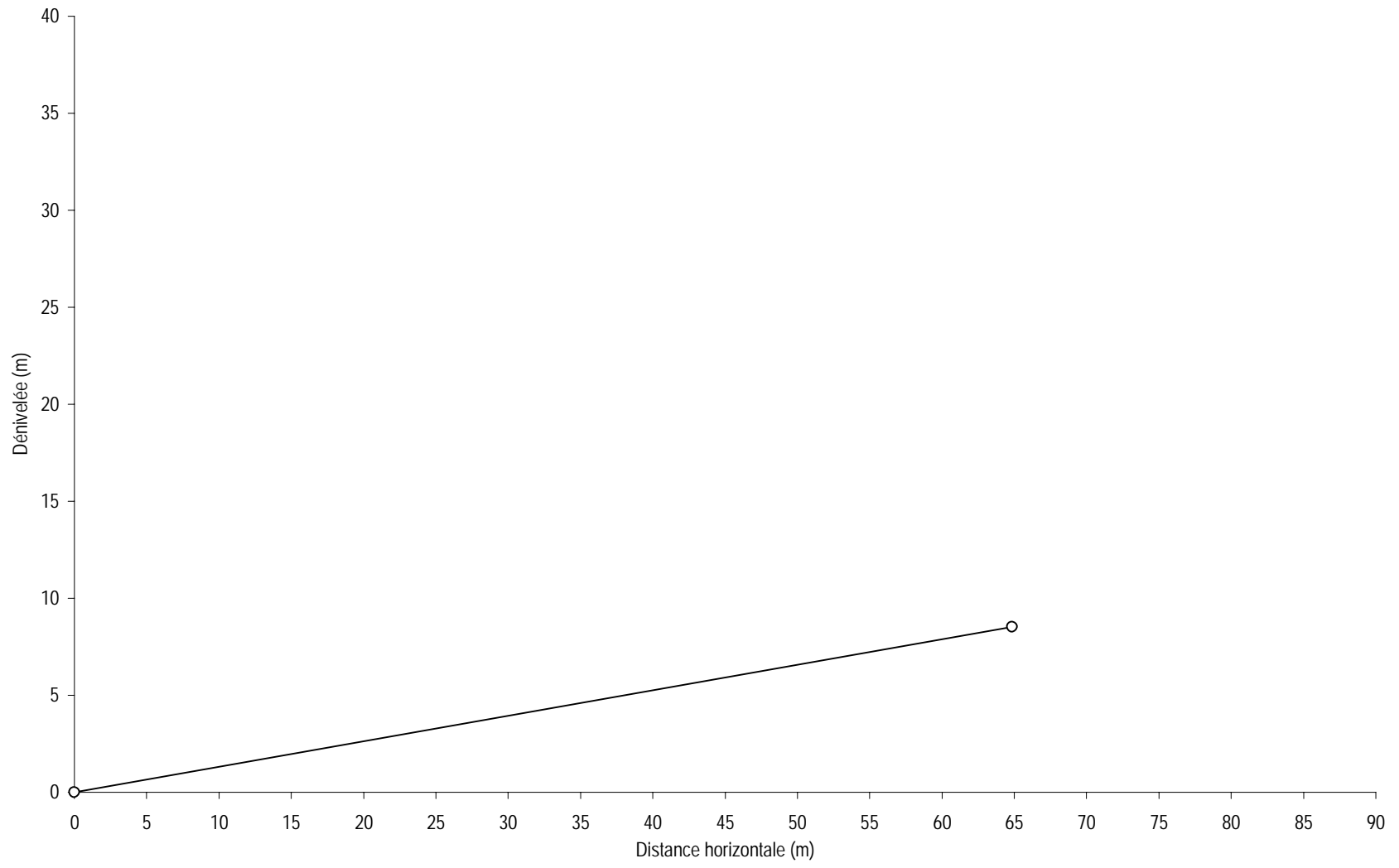


Figure 11 : Profil en long, Tronçon IJ, Ravin R4

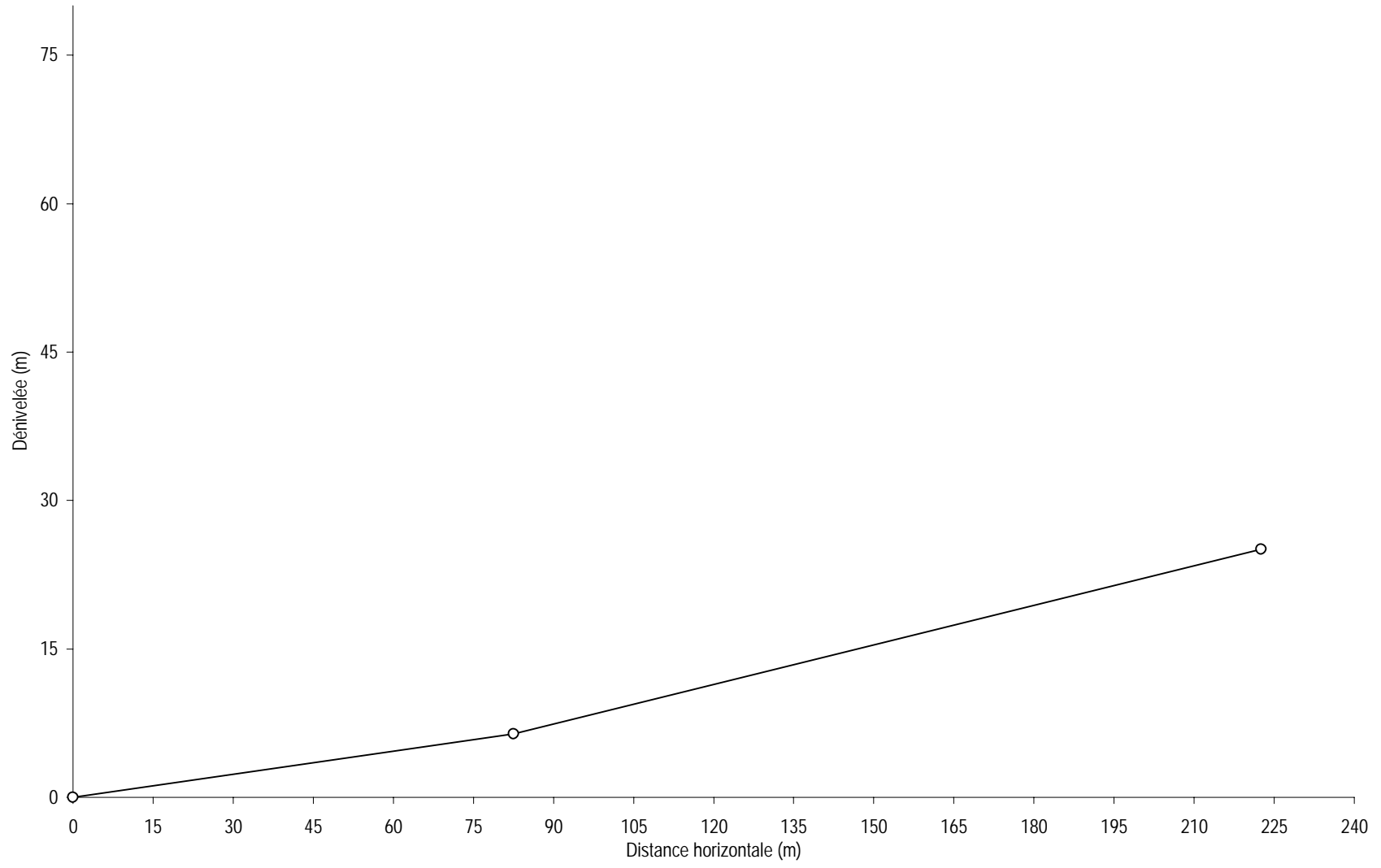


Figure 12 : Profil en long,Tronçon JJ1, Ravin R4

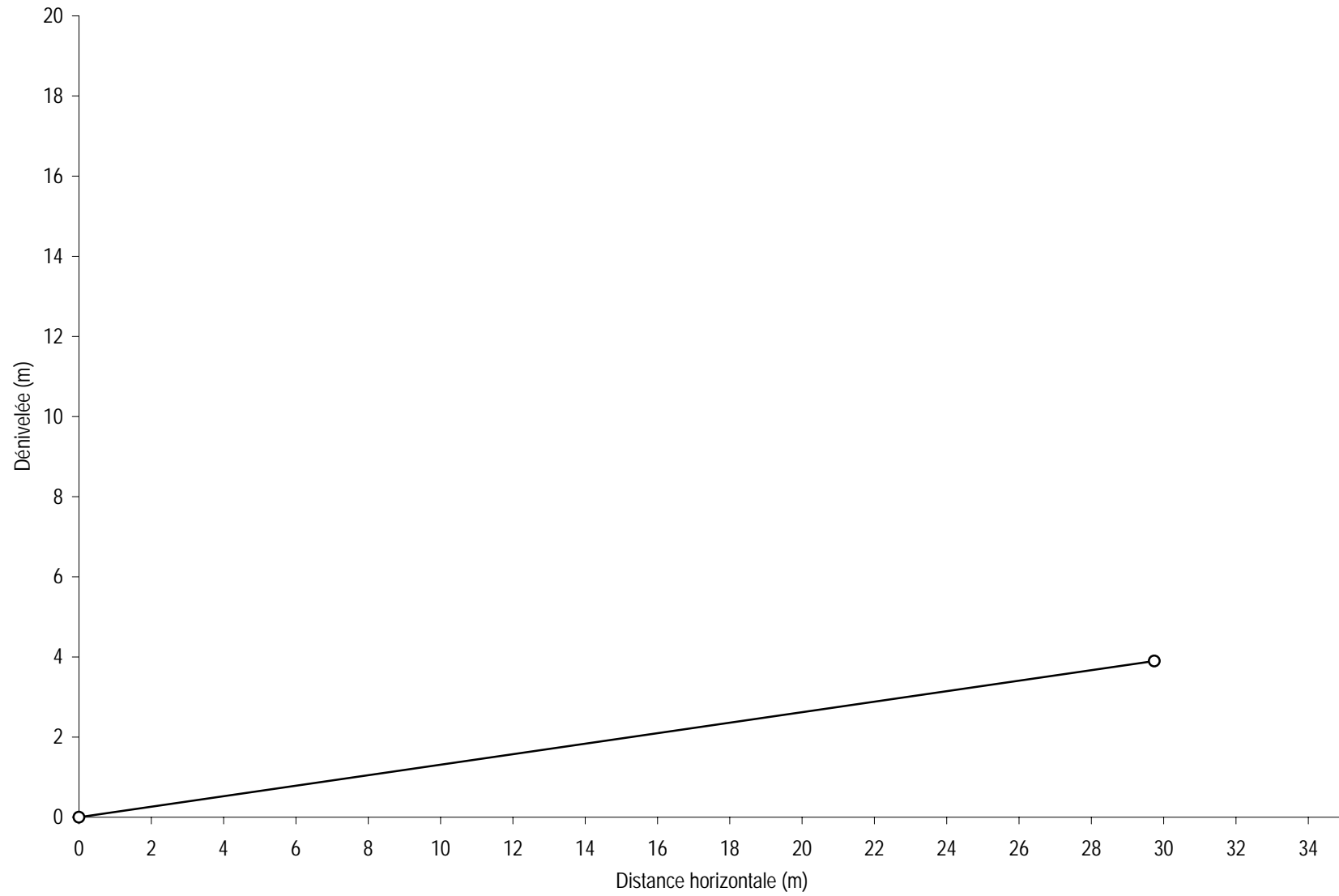


Figure 13 : Profil en long,Tronçon JJ2, Ravin 4

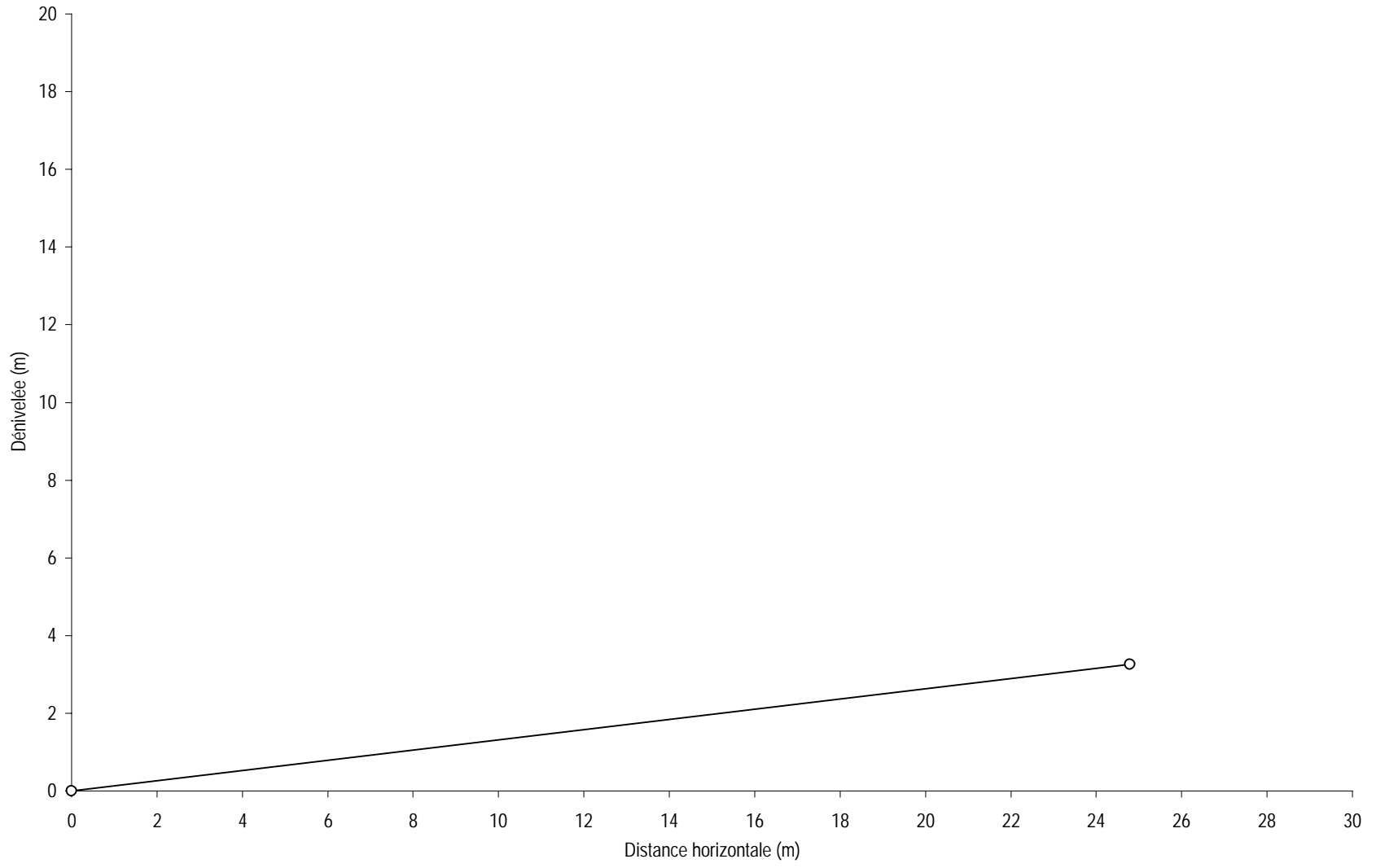


Figure 14 : Profil en long,Tronçon AC, Ravin R5

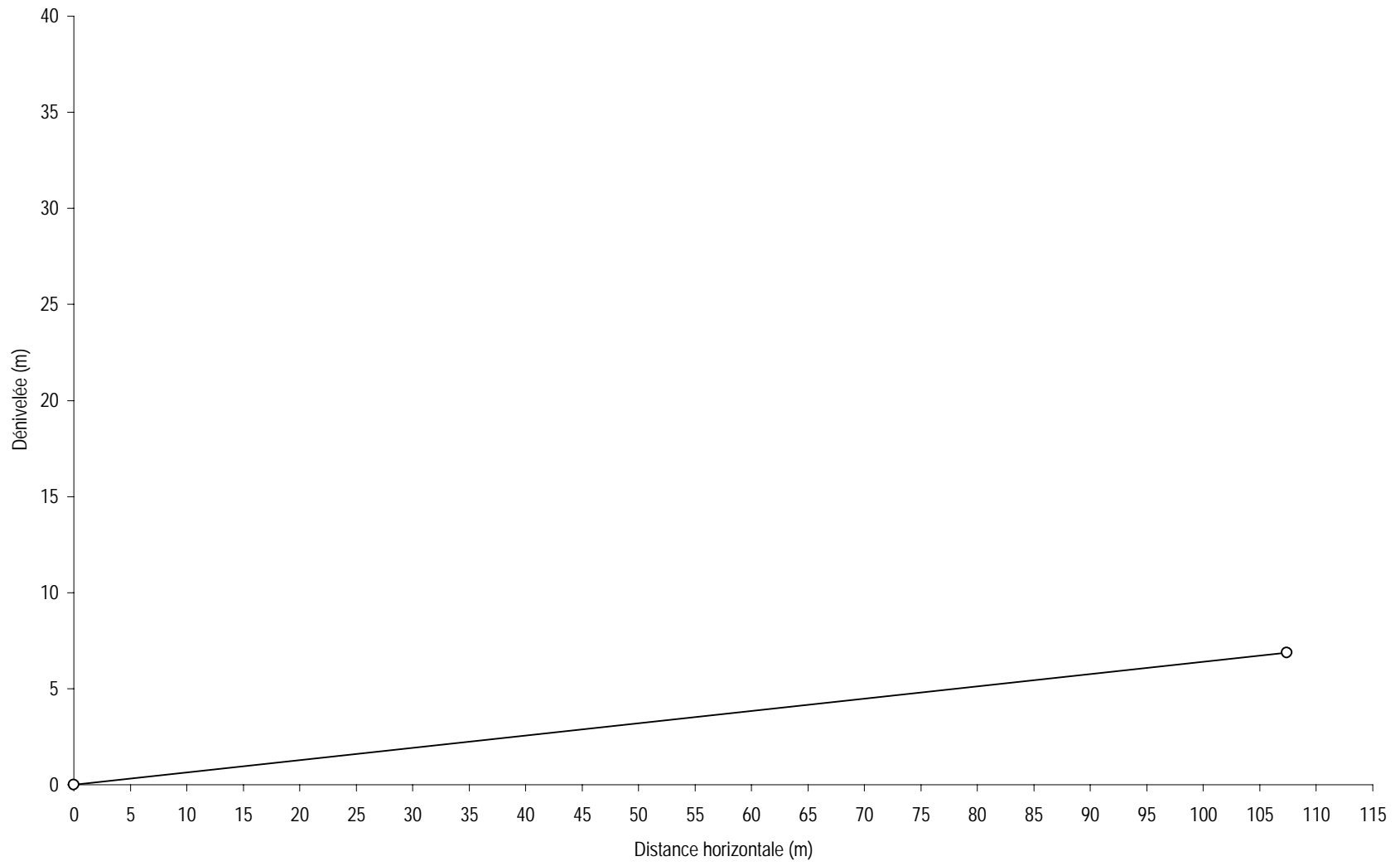


Figure 15 : Profil en long, Tronçon C1C2, Ravin 5

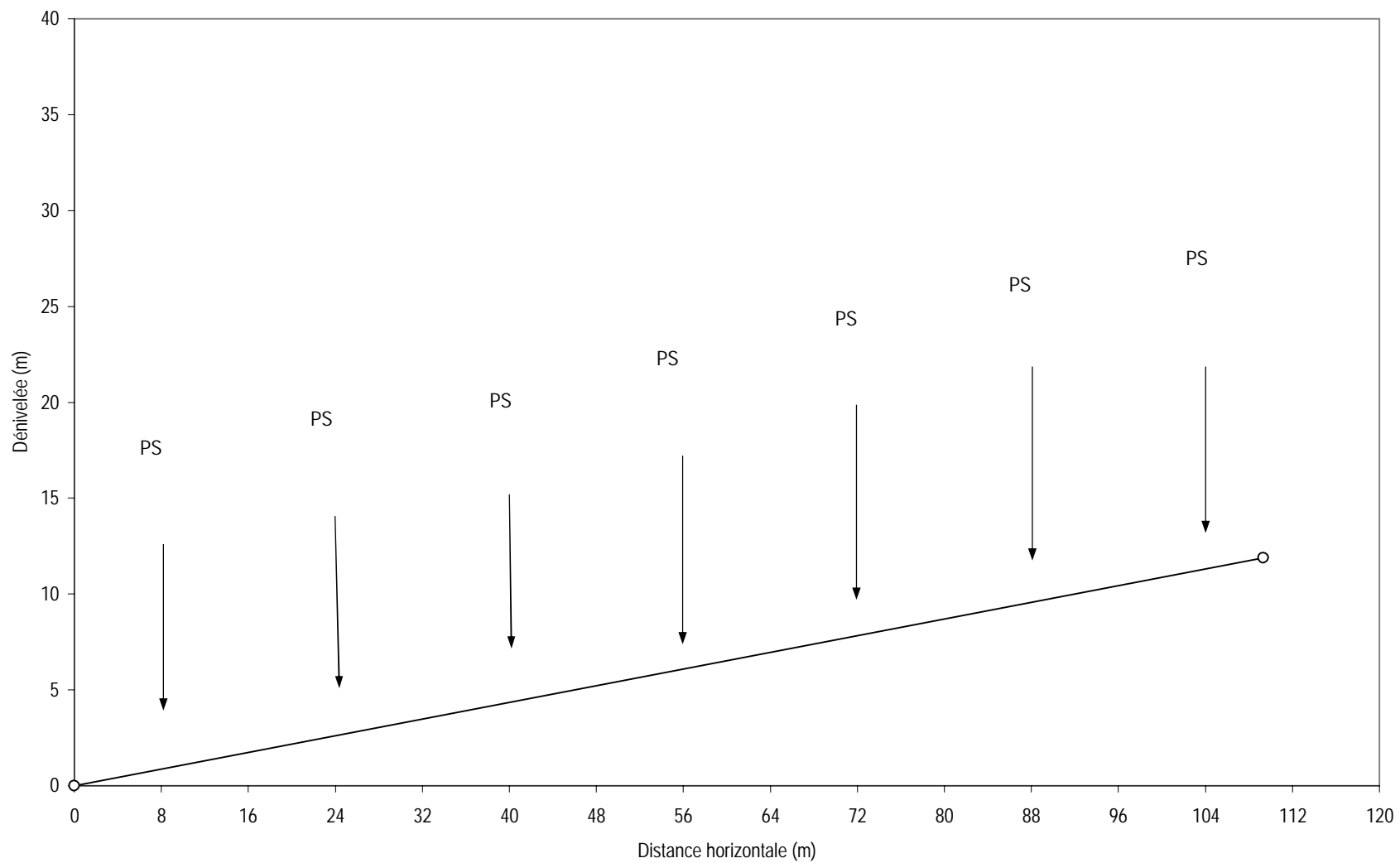


Figure 16 : Profil en long, Tronçon FF2, Ravin R5

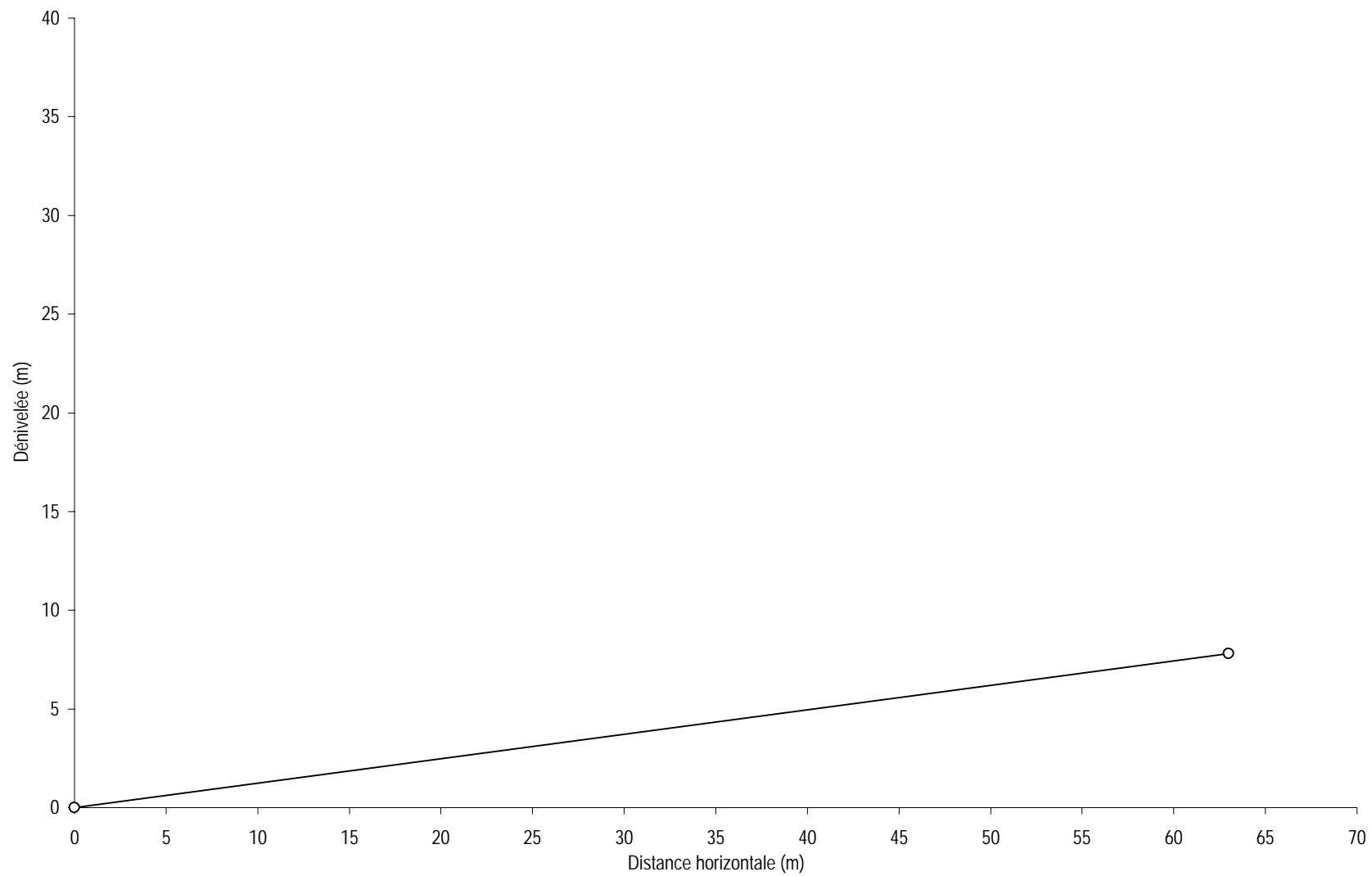


Figure 17 : Profil en long, Tronçon FF3, Ravin R5

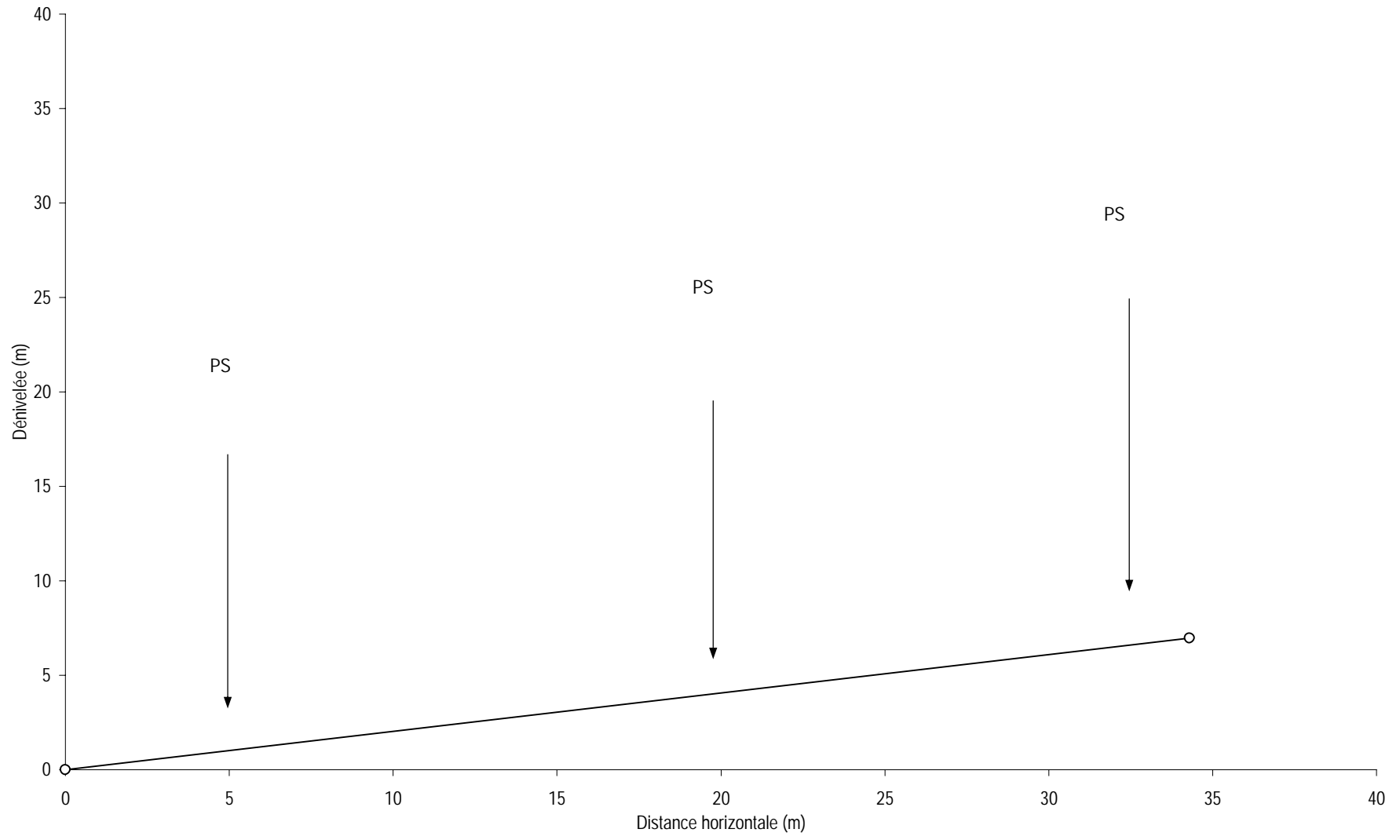


Tableau 9 : Epaisseur, fondations, ancrage, et déversoir, Ravin R1

Tronçon	Type de	Section		Epaisseur (m)		Fondation (m)		Ancrage (m)		Déversoir (m)	
		Hauteur (m)	largeur (m)	Calculée	Arrondie	Calculée	Arrondie	Calculé	Arrondi	Calculé	Arrondi
Ravin 1	MM	0,8	1,5	0,32		0,20	0,25	0,38	0,40	0,20	0,20
		0,8		0,40							
		0,8		0,48							
BD	MM	0,8	1,5	0,32		0,20	0,25	0,38	0,40	0,20	0,20
		0,8		0,40							
		0,8		0,48							
DG	MM	0,8	2	0,32		0,20	0,25	0,50	0,50	0,20	0,20
		0,8		0,40							
		0,8		0,48							
GH	MM	0,5	1	0,20		0,13	0,15	0,25	0,25	0,13	0,15
		0,5		0,25							
		0,5		0,30							
GI	MM	0,5	1	0,20		0,13	0,15	0,25	0,25	0,13	0,15
		0,5		0,25							
		0,5		0,30							

Tableau 10 : Epaisseur, fondations, ancrage, et déversoir, Ravin R2

Tronçon	Type de	Section		Epaisseur (m)		Fondation (m)		Ancrage (m)		Déversoir (m)	
		Hauteur (m)	largeur (m)	Calculée	Arrondie	Calculée	Arrondie	Calculé	Arrondi	Calculé	Arrondi
AD	GB	1,5	3,5	0,90	1,00	0,38	0,50	0,88	0,75	0,88	1,00
DF	MM	0,8	2,5	0,32		0,20	0,25	0,63	0,70	0,20	0,20
		0,8		0,40							
		0,8		0,48							
FG	GB	1,25	2	0,75	1,00	0,31	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
GH	MM	0,8	2	0,32		0,20	0,25	0,50	0,50	0,20	0,20
		0,8		0,40							
		0,8		0,48							

Tableau 11 : Epaisseur, fondations, ancrage, et déversoir, Ravin R3

Tronçon	Type de	Section		Epaisseur (m)		Fondation (m)		Ancrage (m)		Déversoir (m)	
		Hauteur (m)	largeur (m)	Calculée	Arrondie	Calculée	Arrondie	Calculé	Arrondi	Calculé	Arrondi
AB	GB	3	6	1,80	2,00	0,75	0,50	1,50	1,50	1,50	1,50
BE	GB	2	6	1,20	1,00	0,50	0,50	1,50	1,50	1,50	1,50
EF	GB	2,25	5	1,35	1,00	0,56	0,50	1,25	1,50	1,25	1,50
FH	MM	0,5	1,5	0,20		0,13	0,15	0,38	0,25	0,13	0,15
		0,5		0,25							
		0,5		0,30							
FF1	MM	0,5	1,5	0,20		0,13	0,15	0,38	0,40	0,13	0,15
		0,5		0,25							
		0,5		0,30							
F1G	MM	0,5	1,5	0,20		0,13	0,15	0,38	0,40	0,13	0,15
		0,5		0,25							
		0,5		0,30							

Tableau 12 : Epaisseur, fondations, ancrage, et déversoir, Ravin R4

Tronçon	Type de	Section		Epaisseur (m)		Fondation (m)		Ancrage (m)		Déversoir (m)	
		Hauteur (m)	largeur (m)	Calculée	Arrondie	Calculée	Arrondie	Calculé	Arrondi	Calculé	Arrondi
Ravin 4	MM	0,8	2,5	0,32		0,20	0,25	0,63	0,50	0,20	0,20
		0,8		0,40							
		0,8		0,48							
BE	GB	1,25	6	0,75	1,00	0,31	0,50	1,50	1,50	1,50	1,50
EG	GB	2	3,5	1,20	1,00	0,50	0,50	0,88	1,00	0,88	1,00
GH	GB	2,5	3,5	1,50	1,00	0,63	0,50	0,88	1,00	0,88	1,00
HI	GB	1,5	7	0,90	1,00	0,38	0,50	1,75	1,50	1,75	2,00
II1	GB	1,5	5	0,90	1,00	0,38	0,50	1,25	1,50	1,25	1,50
IIJ	MM	0,8	2,5	0,32		0,20	0,25	0,63	0,75	0,20	0,20
		0,8		0,40							
		0,8		0,48							
IK	GB	1,5	6	0,90	1,00	0,38	0,50	1,50	1,50	1,50	1,50
JJ1	MM	0,8	1	0,32		0,20	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20
		0,8		0,40							
		0,8		0,48							
JJ2	MM	0,5	1	0,20		0,13	0,15	0,25	0,25	0,13	0,15
		0,5		0,25							
		0,5		0,30							

Tableau 13 : Epaisseur, fondations, ancrage, et déversoir, Ravin R5

Tronçon	Type de	Section		Epaisseur (m)		Fondation (m)		Ancrage (m)		Déversoir (m)		
		Hauteur (m)	largeur (m)	Calculée	Arrondie	Calculée	Arrondie	Calculé	Arrondi	Calculé	Arrondi	
Ravin 4	AC	MM	0,5	1,5	0,20		0,13	0,15	0,38	0,40	0,13	0,15
					0,25							
					0,30							
C1C2	MM	0,5	1,5	0,20		0,13	0,15	0,38	0,40	0,13	0,15	
				0,25								
				0,30								
FF2	MM	0,8	2,5	0,32		0,20	0,25	0,63	0,70	0,20	0,20	
				0,40								
				0,48								
FF3	MM	0,8	2,5	0,32		0,20	0,25	0,63	0,70	0,20	0,20	
				0,40								
				0,48								

gabions, l'épaisseur a été prise égale à 60 % de la hauteur effective, mais limitée par les dimensions des gabions qui sont généralement standard (multiple de 1 mètre).

Les résultats de la détermination des fondations, de l'épaisseur et de l'ancrage par type de seuil (maçonnerie de moellons et gabions) et par tronçon sont dans les Tableaux 9 à 13.

V. MODELES DE SEUIL ET DETERMINATION DU VOLUME UNITAIRE

V.1. SEUILS EN MACONNERIE MACCONNEIRE DE MOELLONS

Avant de procéder au calcul du cubage en maçonnerie, nous avons choisi des profils en travers représentatifs de chaque tronçon. Dans le cas des tronçons à section étroite et n'ayant pas fait l'objet de relevés topographiques, nous avons établi des esquisses de sections de ravin en assimilant la section à une section réelle et en respectant la largeur et la profondeur de la section. Cela nous a permis de visualiser les différents modèles de seuils et de faciliter le calcul en mètres cubes de maçonnerie.

Pour chaque type de section, nous avons dessiné à l'échelle la section, la fondation, l'ancrage et l'épaisseur du mur du seuil. En fonction des hauteurs effectives et des largeurs du seuils, nous avons retenu au total six modèles (numérotés de 1 à 6) en maçonnerie de moellons (cf. schémas dans l'annexe 6). Le calcul du volume unitaire en m³ de maçonnerie/modèle a été fait selon trois tranches (A, B et C) choisies suivant l'ancrage des seuils au niveau des berges (cf. Tableau 14 et Annexe 6). Le volume unitaire varie entre 0,30 m³ (modèle 5) et 1,37 m³ (modèle 3).

V.2. SEUILS EN GABIONS

Pour les seuils en gabion, nous avons déterminé le volume unitaire de gabions par type de seuil à partir des profils en travers types relevés sur le terrain (cf. Tableaux 2 à 6 et Annexes 1 à 5). Nous avons ainsi défini 11 modèles de seuils en gabions numéroté de 7 à 17 (Voir Schémas dans l'annexe 7). Le calcul est relativement simple étant donné les dimensions standards des gabions disponible sur le marché (des multiples du m³). L'annexe 7 montre les schémas des 11 modèles et le Tableau 15

Tableau 14 : Calcul du volume unitaire (m³ par modèle) - seuil en maçonnerie de moellons

Modèle N°	Section		Tranches	Mode de calculs	Volume (m ³)
	Hauteur (m)	Largeur (m)			
1	0,8	1,5	A	$(0,32+0,4)/2 * 0,4 * 2,3$	0,33
			B	$(0,4+0,48)/2 * 0,4 * 1,5$	0,26
			C	$0,88 * 0,3 * 0,8$	0,21
Total					0,81
2	0,5	1,5	A	$(0,2+0,3)/2 * 0,5 * 2,3$	0,29
			B	$(0,25+0,3)/2 * 0,25 * 1,5$	0,10
			C	$0,7 * 0,25 * 0,8$	0,14
Total					0,53
3	0,8	2,5	A	$(0,32+0,4)/2 * 0,4 * 3,90$	0,56
			B	$(0,40+0,48)/2 * 0,4 * 2,50$	0,44
			C	$0,88 * 0,3 * 1,4$	0,37
Total					1,37
4	0,8	1	A	$(0,32+0,4)/2 * 0,4 * 1,5$	0,22
			B	$(0,4+0,48)/2 * 0,4 * 1,0$	0,18
			C	$0,88 * 0,3 * 0,5$	0,13
Total					0,52
5	0,5	1	A	$(0,25+0,2)/2 * 0,25 * 2$	0,11
			B	$(0,25+0,3)/2 * 0,25 * 1,5$	0,10
			C	$0,25 * 0,7 * 0,5$	0,09
Total					0,30
6	0,8	2	A	$(0,32+0,4)/2 * 0,4 * 3$	0,43
			B	$(0,4+0,48)/2 * 0,4 * 2$	0,35
			C	$0,88 * 0,3 * 1,0$	0,26
Total					1,05

Tableau 15 : Calcul du volume unitaire (m³ par modèle) - seuil en gabions

Modèle N°	Profil type	Section		Calculs	Volume unitaire (m ³)
		Hauteur (m)	Largeur (m)		
7	P21	1,5	3,5	$2 * (2*1*0,5) + 1 * (4*1*1) + 2 * (3*1*0,5)$	9
8	P25	1,25	2	$2 * (2*1*0,5) + 1 * (2*1*1) + 2 * (1*1*0,5)$	5
9	P32	3	6	$4 * (4*1*0,5) + 4 * (3*1*1) + 2 * (5*1*1) + 2 * (3*1*1) + 3 * (3*1*0,5)$	40,5
10	P33	2	6	$2 * (3*1*0,5) + 1 * (5*1*1) + 2 * (3*1*0,5) + 3 * (2*1*0,5)$	14,5
11	P34	2,25	5	$4 * (3*1*0,5) + 2 * (5*1*1) + 2 * (3*1*1) + 3 * (2*1*0,5)$	25
12	P42	1,25	6	$2 * (3*1*0,5) + 1 * (5*1*1) + 2 * (3*1*0,5)$	11
13	P44	2	3,5	$2 * (3*1*0,5) + 1 * (4*1*1) + 2 * (3*1*1) + 3 * (2*1*0,5)$	16
14	P46	2,5	3,5	$4 * (2*1*0,5) + 2 * (4*1*1) + 2 * (3*1*1) + 3 * (2*1*0,5)$	21
15	P47	1,5	7	$2 * (4*1*0,5) + 1 * (6*1*1) + 3 * (2*1*0,5)$	133
16	P48	1,5	5	$2 * (3*1*0,5) + 1 * (4*1*1) + 2 * (2*1*0,5)$	9
17	P410	1,5	6	$2 * (3*1*0,5) + 2 * (3*1*1) + 2 * (3*1*0,5)$	12

présente le calcul ainsi que le volume unitaire (m^3 de gabions/modèle de seuil). Le volume unitaire des seuils en gabions varie entre $5 m^3$ (modèle 8) et $40,5 m^3$ (modèle 9).

VI. ESTIMATION DU COUT

VI.1. COUT UNITAIRE

Le coût unitaire a été déterminé à partir des coûts pratiqués dans la région par la Direction régionale des Travaux Publics pour lutter contre l'érosion au bord des routes. Nous avons même pris des renseignements lors de notre visite de terrain au niveau d'un chantier de confectionnement de gabions au bord dans la partie amont du bassin notamment sur la route de Tétouan à Chefchaouen. En effet, le coût du m^3 de gabions se situe dans une fourchette de 450-500 Dhs (selon la qualité et les dimensions des pierres). Pour la maçonnerie en moellons, le coût unitaire pratiqué varie entre 250 et 350 Dhs/ m^3 . Nous avons retenu dans notre calcul du coût les prix unitaires de 500 et 300 Dhs, respectivement pour les gabions et la maçonnerie de moellons,

VI.2. COUT TOTAL

Compte tenu des coûts unitaires et du nombre de seuils en maçonnerie de moellons et de gabions, nous avons estimé le coût total par tronçon et par ravin au niveau de la zone I (Tableau 16). Le Tableau montre que le coût varie d'un ravin à l'autre, En effet, il est de 2 426 Dhs pour le ravin R1 et 55 271 Dhs pour le ravin R4. Le coût total estimatif de l'opération correction des ravins dans cette zone est de l'ordre de **122 660 Dirhams**. Le volume total de gabions est de l'ordre de $220 m^3$ et celui de la maçonnerie est à peu près $43 m^3$.

Tableau 16 : Détail estimatif des coûts par tronçon et par ravin

Tronçon	Type de seuils	Modèle	Nombre	Volume (m ³)		Coût (Dhs)	
				Unitaire	Total	Unitaire	Total
Ravin R1							
AB	MM	1	3	0,81	2,42	300	726
BD	MM	1	2	0,81	1,61	300	484
DG	MM	6	3	1,05	3,14	300	943
GH	MM	5	1	0,30	0,30	300	91
GI	MM	5	2	0,30	0,61	300	182
Total			11				2426
Ravin R2							
AD	GB	7	2	9,00	18,00	500	9000
DF	MM	3	1	1,37	1,37	300	411
FG	GB	8	1	5,00	5,00	500	2500
GH	MM	6	2	1,05	2,10	300	629
Total			6				12540
Ravin R3							
AB	GB	9	1	40,50	40,50	500	20250
BE	GB	10	2	14,50	29,00	500	14500
EF	GB	11	1	25,00	25,00	500	12500
FH	MM	2	3	0,53	1,59	300	478
FF1	MM	2	1	0,53	0,53	300	159
F1G	MM	2	2	0,53	1,06	300	318
Total			10				48205
Ravin R4							
AB	MM	3	1	1,37	1,37	300	411
BE	GB	12	2	11,00	22,00	500	11000
EG	GB	13	1	16,00	16,00	500	8000
GH	GB	14	1	21,00	21,00	500	10500
HI	GB	15	1	13,00	13,00	500	6500
IK	GB	16	2	9,00	18,00	500	9000
II1	GB	17	1	12,00	12,00	500	6000
I1J	MM	3	7	1,37	9,60	300	2880
JJ1	MM	3	2	1,37	2,74	300	823
JJ2	MM	4	1	0,52	0,52	300	157
Total			19				55271
Ravin R5							
AC	MM	2	4	0,53	2,12	300	637
CC1	MM	2	7	0,53	3,71	300	1113
FF2	MM	3	3	1,37	4,11	300	1234
FF3	MM	3	3	1,37	4,11	300	1234
Total			17				4218
				Total			122660

ANNEXE 1 : RAVIN R1

Relevés topographiques du profil en long, Ravin R1

Tronçon	Distance au sol (m)	Élévation relative (m)	Observations
A	0	4,1	Section de dimensions profondeur = 0,8 m Largeur = 1,5 m
	8	3,28	
	17	0,34	
B	21,14		
B	0		Section de dimensions profondeur = 0,8 m Largeur = 1,5 m
	8,5	4,03	
	17,8	2,93	
	30	1,94	
	39,7	0,51	
C	43,4		
C	0		Section de dimensions profondeur = 0,8 m Largeur = 1,5 m
	6	2,12	
	25,5	0,65	
D	32,5		
D	0	2,97	Section de dimensions profondeur = 0,8 m Largeur = 1,5 m
	5,3	0,77	
	18		
E	23		
E	0		Section de dimensions profondeur = 0,9 m Largeur = 2 m
	8		
	13,4	3,53	
F	27	0,18	
F	0		Section de dimensions profondeur = 0,3 m Largeur = 1 m
	2,6	3,4	
G	13,5	1,12	
G	0		Section de dimensions profondeur = 0,3 m Largeur = 1 m
	7,6	3,85	
	19,2	1,3	
H	26,5	0,13	
H	0		Section de dimensions profondeur = 0,3 m Largeur = 1 m
	8	2,71	
I	22,8	0,23	

Profil en long par tronçon, Ravin R1

	Distance au sol (m)	Distance horizontale cumulée (m)	Dénivelée cumulée (m)	Pente (%)
Tronçon AG				
A	0,00	0,00	0,00	
B	21,14	20,62	4,68	22,68
C	43,40	63,85	8,52	8,90
D	32,50	96,29	10,40	5,77
E	23,00	117,22	19,94	12,22
F	27,00	144,01	23,29	12,50
G	13,50	157,31	25,57	17,14
Tronçon GH				
G	0,00	0,00	0,00	
H	26,50	26,47	1,17	4,42
Tronçon HI				
G	0,00			
I	22,80	22,66	2,50	11,03

ANNEXE 2 : RAVIN R2

Relevés topographiques du profil en long, Ravin R2

Tronçons	Distance (m)	Élévation relative (m)	Observations
A	0,0	4,00	Profil P21 à 8,5 mètres
B	20,8	0,73	
B	0,0	3,82	Profil P22 à 12,3 mètres
C	12,3	2,35	
C	0,0	4,55	Profil P23 à 17,8 mètres
D	17,8	1,02	
D	0,0	3,22	Profil P24 à 8 mètres
	5,0	2,62	
	11,0	2,07	
	17,0	1,66	
	20,0	1,25	
	26,0	0,96	
E	30,0	0,73	
E	0,0	3,76	Profil P25 à 27,6 mètres
	4,0	2,80	
	11,0	2,74	
	19,0	2,25	
	30,0	2,05	
E	36,0	1,86	
F	0,0	4,37	Profil P26 à 7 mètres Profil P27 à 22 mètres Profil P28 à 27 mètres
	7,0		
	22,0		
G	27,0	2,44	
G	0,0	4,10	Section de dimensions Profondeur = 0,5 à 0,8 m Largeur = 0,8 à 2,5 m
	30,0	3,10	
	60,0	2,03	
	81,0		
H	160,0	0,09	

Profil en travers P21, Ravin R2

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0,0	1,97
1,0	1,77
2,0	1,61
2,5	1,56
3,0	1,46
3,4	1,34
3,6	0,41
4,0	0,03
4,5	0,00
4,8	0,06
5,0	0,48
5,1	1,10
5,8	1,28
6,2	1,41
6,7	1,53
7,0	1,57
7,5	1,86
8,0	1,76
8,5	1,82
9,0	1,91
9,8	2,04

Profil en travers P22, Ravin R2

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0,0	2,45
1,0	2,55
1,5	2,63
2,1	0,23
2,7	0,00
3,4	0,02
3,8	0,00
4,0	0,18
4,1	0,26
4,5	1,08
5,0	1,75
5,2	2,09
5,8	2,20
6,0	2,27
6,1	2,35
7,0	2,57
8,0	2,64

Profil en travers P23, Ravin R2

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
1,0	0,95
1,5	1,00
2,0	0,90
2,0	0,87
2,3	0,10
2,5	0,05
3,0	0,12
3,5	0,00
3,9	0,18
4,0	0,82
4,3	0,87
4,4	0,90
5,0	0,99

Profil en travers P24, Ravin R2

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0,0	1,03
1,0	0,98
2,0	0,88
2,5	0,82
2,8	0,76
2,9	0,69
3,0	0,28
3,1	0,05
3,2	0,00
3,4	0,02
3,7	0,05
3,8	0,15
3,9	0,28
4,1	0,34
4,2	0,46
4,4	0,59
4,6	0,64
5,0	0,69
5,5	0,77
6,0	0,79
6,5	0,85

Profil en travers P25, Ravin R2

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0,0	1,29
0,5	1,22
1,0	1,11
1,5	1,12
2,0	0,98
2,2	0,89
2,4	0,76
2,5	0,38
2,6	0,00
2,8	0,00
3,0	0,06
3,2	0,52
3,3	1,15
3,8	1,18
4,2	1,21
5,0	1,31

Profil en travers P26, Ravin R2

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0,0	2,02
1,0	1,95
2,0	1,95
3,0	1,88
3,6	1,81
4,0	1,71
4,4	1,49
4,8	1,03
5,1	0,89
5,5	0,60
5,8	0,31
6,0	0,00
6,4	0,01
6,6	0,00
6,9	0,65
7,0	0,78
7,3	1,13
7,6	1,24
7,8	1,33
8,0	1,65
9,0	1,72
10,0	1,80
11,0	1,79

Profil en travers P27, Ravin R2

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0,0	3,21
1,5	3,06
2,4	2,91
3,0	2,70
3,3	2,43
3,6	2,25
4,1	2,01
4,6	1,85
5,0	1,61
5,6	1,36
6,2	1,05
7,1	0,96
7,6	0,74
8,1	0,56
8,3	0,19
8,5	0,00
8,9	0,05
9,2	0,26
9,4	0,51
9,6	0,66
9,9	0,86
10,1	1,04
10,3	1,28
10,5	1,74
10,6	2,05
11,0	2,10
12,0	2,16
13,0	2,18

Profil en travers P28, Ravin R2

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0,0	2,82
1,0	2,62
1,8	2,42
1,9	2,33
2,1	2,17
2,3	1,91
2,6	1,73
3,0	1,74
3,5	1,59
4,0	1,57
4,1	1,34

4,5	1,27
5,0	1,08
5,5	0,89
6,0	0,61
6,4	0,32
6,7	0,00
7,1	0,04
7,4	0,10
7,7	0,34
8,0	0,35
8,2	1,94
9,0	1,98
10,0	1,97
11,0	1,88

ANNEXE 3 : RAVIN R3

Relevés topographiques du profil en long, Ravin R3

Tronçons	Distance (m)	Élévation relative (m)	Observations
A	0	3,74	Tronçon situé à 90 m de la piste
B	13,9	0,63	Profil P31 à 0 mètres
B	0		
	13	1,55	
	14,4	1,2	
	15,5	0,86	
	16,5	0,62	Profil P32 localisé à 30 mètres de B
	17,5	0,36	
	18,5	0,22	
	19,5	0,01	
B'	30		
B'	0	4,66	
	4,5	3,84	
	11,2	3,24	
	16	2,46	
	22,7	1,2	
	30	0,58	
C	50		
C	0	3,5	
	8	2,28	Profil P33 est au point C
	14,6	2,17	
D	30		
D	0,00	3,68	
	4,00	2,80	
	10,70	1,55	
	17,90	0,85	Affaissement de terrain avec une pente en escalier
	23,50	0,77	
	26,40		
	30,00		
E	41,20		
E	0	3,8	
	22,7	3	
	33,7	2,42	Profil P34 localisé à 22,7 par rapport à E
	37,4	1,45	
F	42,90		
F	0	3,24	Bifurcation au point F
	6,6	2,1	Section de dimensions :
	12,6	1,25	Profondeur = 0,6 à 0,7 m
H	74		Largeur = 1,5 à 1,6 m
F	0	3,24	Section de dimensions :
	6,5	2,3	Profondeur = 0,6 à 0,7 m
	11,5	1,4	Largeur = 1,5 à 1,6 m
F1	16,3	0,21	
F1	0	3,05	
	3	2,91	Section de dimensions :
	8	2,6	Profondeur = 0,6 à 0,7 m
	13	2,17	Largeur = 1,5 à 1,6 m
	17	1,51	
G	22	1,06	

Profil en long par tronçon, ravin 2

	Distance au sol (m)	Distance horizontale cumulée (m)	Dénivelée cumulée (m)	pente (%)
Tronçon AF, Ravin R3				
A	0	0,00	0,00	
B	13,9	13,90	3,06	22,56
B'	30	43,90	5,42	7,91
C	50	93,90	12,18	13,64
D	30	123,90	14,91	9,12
E	41,2	165,10	19,98	12,41
F	42,9	208,00	22,68	6,29
Tronçon FH				
F	0	0,00	0,00	0,00
H	74	73,83	4,98	6,75
Tronçon FG				
F	0	0,00	0,00	
F1	16,3	16,22	3,03	10,00
G	60	59,95	5,06	4,00

Profil en travers P31 , Ravin R3

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0	3,55
0,3	3,50
0,9	3,38
1,4	3,26
1,8	3,17
2,2	3,07
2,6	2,94
3,3	2,68
4,2	2,50
6,2	2,17
7,2	2,03
7,8	1,80
8,2	1,64
8,6	1,52
8,8	1,37
9,1	0,98
9,3	0,74
9,5	0,57
10	0,00
10,4	0,07
10,7	0,10
11,2	0,18
11,8	0,37
12,4	0,62
12,9	2,33
13,2	3,12
13,6	3,38
14,4	3,46
14,7	3,50

Profil en travers P32, Ravin R3

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0,00	4,31
0,70	4,21
1,80	4,12
3,20	3,99
4,90	3,87
5,30	3,00
5,90	2,53
6,30	2,06
7,00	2,34
7,30	1,02
7,50	0,89
7,60	0,10
7,90	0,00
8,50	0,29
8,90	0,86
9,40	1,08
10,00	1,30
10,40	1,65
10,70	2,49
11,00	2,88
11,60	3,10
12,20	3,10
13,00	3,10
14,40	3,45
15,50	3,97
16,50	4,03
17,50	4,29
18,50	4,43
19,50	4,64

Profil en travers P33, Ravin R3

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0,00	2,98
0,80	2,90
1,50	2,92
1,90	2,82
2,50	2,69
3,30	2,52
4,00	2,40
4,80	2,24
5,40	2,12
6,20	1,92
6,80	1,68
7,60	1,45
8,10	0,82
8,40	0,43
8,50	0,07
9,10	0,00
9,70	0,12
10,00	1,01
10,40	1,67
10,70	1,90
11,40	2,09
12,00	2,25
12,80	2,37
14,00	2,59
15,50	2,80
16,40	2,97

Profil en travers P34, Ravin R3

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0	2,99
1,2	2,99
1,8	2,79
2,1	2,47
2,8	2,29
3,2	2,39
3,7	2,3
4	1,9
4,5	1,7
4,8	1,61
5,2	1,43
5,7	0,84
6	0,49
6,3	0
6,5	0,79
7	1,31
7,6	1,56
8	1,8
8,6	2,14
9	2,34
9,4	2,55
9,9	2,67
10,2	2,73
10,5	2,82
11,4	2,95

ANNEXE 4 : RAVIN R4

Relevés topographiques du profil en long, Ravin R4

Tronçon	Distance (m)	Elévation (m)	Observations
A	0	3,01	
	6	2,6	Section de dimensions : Profondeur = 1 m Largeur = 2 m
	11,3	2,44	
	16,7	1,85	
B	19,5	1,22	
B	0	3,67	Lit rocheux, roches de diamètre quelquefois 1 mètre de diamètre
	3,4	3,17	
	8,8	2,32	
	10,5	1,48	
C	14,9	0,25	Profil P41 localisé à 0 mètre par rapport à B
C	0	4,4	Lit rocheux, roches de diamètre quelquefois 1 mètre de diamètre
	4,1	3,39	
	7,2	2,8	
	10,7	1,88	
D	14	0,89	Profil P42 localisé à 0 mètre par rapport à C
D	0	3,85	Lit rocheux, roches de diamètre quelquefois 1 mètre de diamètre
	3	2,55	
E	10	1,18	Profil P43 localisé à 3 mètres par rapport à
E	0	3,87	Profil P44 localisé à 0 mètre par rapport à E
	6,7	3,48	
	13,1	2,88	
	22,2	2,41	
F	29	1,83	
F	0	4,25	Profil P45 localisé à 0 mètre par rapport à F
	5,2	3,75	
	13,7	3,25	
	22	2,9	
G	30	2,56	
G	0		Profil P46 localisé à 1,5 mètres para rapport à G
	1,5	3,97	
	7,4	3,23	
	13,4	2,37	
	20,1	1,61	
	25	0,92	
H	30	0,4	
H	0	4	Profil P47 localisé à 27 mètres para rapport à H Section évasée pour l'ensemble du tronçon HI Point I représente une bifurcation
	11	3,27	
	18,7	2,59	
	27	1,87	
	31,4	1,05	
	41,7	0,54	
I	65		

Relevés topographiques du profil en long, Ravin R4 (Suite)

Tronçon	Distance (m)	Élévation (m)	Observations
I	0	4,15	
	10,5	2,93	
	15,5	2,89	Profil P48 localisé à 15,5 mètres par rapport à I
	22,5	2,35	
	30,2	1,8	
I1	82,5		
I1	0	4,12	
	10,4	2,84	
I2	17,5	1,74	
I2	0	4,6	
	6,4	2,9	
	11	2,82	Profil P49 localisé à 11 mètres para rapport à I2
	17,3	2,32	
	22,3	1,67	
J	124		
J	30		Section : profondeur 0,8 m; largeur = 0,6 m
-J1			même pente que I2J
J1	25		Section : profondeur 0,3 m; largeur = 0,4 m
-J2			même pente que I2J
I	0	4,35	
	8,7	2,74	
	17,9	1,78	
	25,2	0,74	
I3	33,4	0,08	
I3	0	2,8	
	7	2,1	
	11,3	1,8	Profil P410 localisé à 7 mètres par rapport à I3
	21	0	Après K, rupture de pente
K	32		

Profil en long par tronçon, Ravin R4

	Distance au sol (m)	Distance horizontale cumulée (m)	Dénivelée cumulée (m)	Pente (%)
Tronçon AI				
A	0	0,00	0,00	
B	19,5	19,42	1,79	9,22
C	14,9	33,92	5,21	23,58
D	14	47,47	8,72	25,90
E	10	57,11	11,39	27,71
F	29	86,04	13,43	7,05
G	30	115,99	15,12	5,64
H	30	145,78	18,69	11,99
I	65	210,55	24,08	8,33
Tronçon IK				
I	0	0,00	0,00	
I3	33,4	33,13	4,27	12,89
K	32	64,84	8,54	13,45
Tronçon IJ				
I	0	0,00	0,00	
I1	82,5	82,25	6,42	7,78
I2	17,5	99,59	8,80	13,60
J	124	222,51	25,09	13,14
Tronçon JJ1				
J	0	0	0	
J1	30	29,7	3,9	13,2
Tronçon JJ2				
J	0	0	0	
J2	25	24,79	3,26	13,2

Profil en travers P41, Ravin R4

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0	1,52
0,8	1,35
1,6	1,11
2,3	0,92
3	0,44
3,5	0,13
3,7	0
4,1	0,17
4,7	0,32
5,1	0,7
5,6	0,77
6,7	0,86

Profil en travers P42, Ravin R4

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0	1,42
1,1	1,26
1,6	1,08
2	0,81
2,7	0,55
3,3	0,1
4,3	0
5,1	0,15
5,9	0,4
6,8	0,96
7,1	1,57
8	1,62
8,8	1,68
9,4	1,64

Profil en travers P43, Ravin R4

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0	1,33
0,8	1,43
1,6	1,49
2,2	1,31
2,7	1,02
3	0,86
3,3	0,08
4	0
4,5	0,05
5,2	0,05
5,7	0,03
6,1	1,16
6,6	1,36
7,4	1,45
8,5	1,46

Profil en travers P44, Ravin R4

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0	2,68
0,8	2,43
1,4	2,18
1,8	1,95
2,1	1,62
2,5	1,17
2,8	0,55
3	0,02
3,6	0
4	0,52
4,3	1,28
4,8	1,75
5,6	1,94
6,3	2,03
7,2	2,11
8	2,22
8,4	2,23
9,5	2,41
10,4	2,55

Profil en travers P45, Ravin R4

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0	2,45
0,7	2,43
1,3	2,3
1,9	2,18
2,4	1,96
2,9	1,76
3,3	1,27
3,7	0,74
4,2	0,43
4,4	0
4,8	0
5,1	0,57
5,5	0,89
5,8	1,32
6,2	1,67
6,5	1,91
6,8	2,25
7,4	2,34
8	2,37
8,6	2,43
9,4	2,49

profil en travers P46, Ravin R4

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0	2,72
0,6	2,69
1,9	2,66
2,4	2,61
2,9	2,17
3	1,54
3,3	0,83
3,5	0,59
3,7	0,12
3,9	0
4,1	0,07
4,3	0,18
4,5	0,33
4,9	0,65
5,1	1,45
5,4	1,79
5,6	2,14
6	2,53
6,6	2,63
7,4	2,66
8	2,69

Profil en travers P47, Ravin R4

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
----------------------	------------------------

0	1,86
0,7	1,84
1,6	1,75
2,4	1,59
3,2	1,28
3,8	0,94
4,4	0,72
4,8	0,5
5,4	0,39
5,9	0,37
6	0
6,2	0,01
6,3	0,21
6,5	0,45
6,8	0,59
7,2	0,66
7,9	0,88
8,7	1,17
9,5	1,42
10,4	1,65
11,1	1,8
11,5	1,87

Profil en travers P48, Ravin R4

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0	2,43
1	2,38
1,5	2,19
2	1,85
2,5	1,58
3	1,34
3,4	1,23
3,7	0,94
4	0,42
4,3	0,24
4,4	0,07
4,7	0
4,8	0,19
5,3	0,45
5,6	0,66
5,9	1,01
6,3	1,23
6,9	1,37
7,6	1,59
8,4	1,79
9	1,86
9,6	1,99
10,2	2,01
10,7	2,06

Profil en travers P49, Ravin R4

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0	1,67
1,4	1,53
2	1,44
2,5	1,01
3	0,63
3,4	0,29
3,6	0
3,9	0,05
4,3	0,36
4,6	0,88
4,8	1,36
5,2	1,53
5,5	1,6
6,2	1,77

Profil en travers P410, Ravin R4

Distance cumulée (m)	Élévation relative (m)
0	1,95
1	1,88
2	1,88
2,4	1,72
2,7	1,48
3,1	1,14
3,4	0,68
3,9	0,3
4,2	0,07
4,6	0,02
4,9	0
5,1	0,1
5,6	0,28
6,2	0,48
6,6	0,7
7	0,86
7,4	1,05
8	1,35
8,6	1,54
9,2	1,78
10	1,91
10,8	2,08

ANNEXE 5 : RAVIN 5

Relevés topographiques du profil en long, Ravin R5

Tronçon	Distance (m)	Élévation relative (m)	Observations	
AB	0	4,45	Section de profondeur 0,6 m et de largeur 1,5 m	
	12	3,75		
	20	3,3		
	30	2,58		
	34,8	2,41		
	41,4	2,1		
	49,7	1,36		
	53	0,6		
BC	0,0	3,6	Section de profondeur 0,6 m et de largeur 2 m	
	6	3,54		
	14,6	3,09		
	21,6	2,78		
	30	2,2		
	36,4	1,58		
	47,6	0,82		
CC1	0,0	2,9	Glissement de terrain	
	18,0			
	24,0			
	34,0			
	84,0			0,6
C1C2	0,0	3,9	section 3x0,5(prof) Section de profondeur 0,5 m et de largeur 3 m	
	15,0			
	30,0			2,6
	44,5			0,7
	60,0			
	90,0			
	110,0			
CD	0	3,2	Bifurcation au point C changement important de pente Glissement Hauteurs des flancs plus de 6 mètres	
	6,6	2,6		
	12,8	1,4		
	17,6	0,5		
DE	0,0	3,4	Pente raide glissement de terrain	
	10,6	0,4		
	24,0			
EF	0,0	3,4	Glissement de terrain	
	8,0	3,1		
	15,0	2,6		
	23,5	1,8		
FF1	0	4,3	Section de profondeur 0,5 m et de largeur 2 m	
	13			
	21,5			3,42
	30			0,62
F1F2	0		même pente que C1C2	
	30			
	33,5			
FF3	0	4	Section 3,5x 1,5 (prof) Section de profondeur 1,5 m et de largeur 3,5 m	
	5,6	2,56		
	15,9	0,84		
	35			

Profil en long par tronçon, ravin R5

	Distance au sol (m)	Distance horizontale cumulée (m)	Dénivelée cumulée (m)	pente (%)
Tronçon AC				
A	0	0,00	0,00	
B	60	59,87	4,01	6,68
C	47,6	107,38	6,87	6,03
Tronçon CC2				
C	0	0,00	0,00	
C1	84	83,95	2,92	3,48
C2	110	193,30	14,82	10,82
Tronçon CF				
C	0	0,00	0,00	
D	17,6	17,39	2,73	15,51
E	24	40,39	9,59	28,58
F	23,5	63,84	11,13	6,55
Tronçon FF2				
F	0,0	0,0	0,0	
F1	30,0	29,8	3,7	12,27
F2	33,5	63,0	7,8	12,27
Tronçon FF3				
F	0,00	0,00	0,00	
F3	35,00	34,30	6,96	19,87

**ANNEXE 6 : Schemas des modeles de seuils en maçonnerie de moellons
(modeles 1 à 6)**

Modèle 1

modèle 2

modèle 3

Modèle 4

Modèle 5

Modèle 6

ANNEXE 7 : SCHEMA DES MODELES DE SEUIL EN GABIONS (MODELE 7 A 17)

MODELE 7

MODELE 8

MODELE 9

MODEL 10

MODELE 11

MODELE 12

MODELE 13

MODELE 14

MODELE 15

MODELE 16

MODELE 17