

- Jet liquide
- Pression
- Zone à risque
- Banc d'essai

► *Patrice MARCHAL, Michel JACQUES, INRS, département Ingénierie des équipements de travail*

#### VERY HIGH-PRESSURE WATER JET DANGER DISTANCE

The aim of the study described in this paper is to evaluate the risk of a very high-pressure (VHP) jet in relation to its type (shape, pressure, flow rate).

A test bench was designed for this purpose. This involved passing a protected and unprotected, simulated muscle-and-skin sample in front of a VHP water jet at a speed of 0.5 m/s.

Our measurements revealed the high dangerousness of unprotected exposure to straight jets. The danger distance varies between 1.4 and 3.6 m, depending on the jet diameter and its pressure/flow rate. This distance is in the 100-400 mm range for flat jets used in cleaning operations. For 2- or 3-nozzle rotary jets, the danger distance lies between 200 and 700 mm and for orbital jets between 200 and 800 mm.

Danger distance decreases with protection, but remains significant, depending on the type of jet evaluated. It is 50 mm for flat jets, less than 50 mm for rotary jets and approximately 200 mm for orbital jets. These distances were sufficiently lower and we are confident of the possibility of discovering fabrics that can be used for making up PPE suitable for protecting the operator. On the other hand, the protected danger distance with straight jets is between 0.15 m and 1.1 m, which is still too large to consider the possibility of protecting the operator with coated or multi-layer fabrics.

These data illustrate the need for PPE, but also show that this must be adapted to jet parameters (shape, flow rate, pressure).

They will also enable operators and site managers to set up, for example safe working areas based on the jet types used and to know the distance, which must be ensured between two operators working on the same site.

- Liquid jet
- Pressure
- Risk zone
- Test bench

# DISTANCE DE DANGÉROSITÉ DES JETS D'EAU TRÈS HAUTE PRESSION

L'objectif de l'étude, objet de cet article, est d'évaluer la distance de dangerosité d'un jet très haute pression (THP) en fonction du type de jet (forme, pression, débit).

Pour ce faire, un banc d'essai a été mis au point. Il consiste à faire passer un échantillon représentatif du muscle et de la peau avec ou sans protection devant un jet d'eau THP à une vitesse de 0,5 m/s.

Sans protection, les mesures ont permis de montrer la dangerosité importante des jets droits. La distance de dangerosité est comprise entre 1,4 et 3,6 m selon le diamètre et la pression/débit. Pour les jets plats, utilisés dans le nettoyage, elle est comprise entre 100 et 400 mm. Pour les jets rotatifs 2 ou 3 buses, elle est comprise entre 200 et 700 mm et pour les jets orbitaux à 800 mm.

Avec une protection, la distance diminue mais reste significative selon le type de jet évalué. Avec les jets plats, elle est inférieure à 50 mm, avec les jets rotatifs et orbitaux, elle est d'environ 200 mm. Ces distances ont été suffisamment réduites et nous permettent d'être confiant quant à la possibilité de trouver des tissus utilisables dans la confection d'EPI et aptes à protéger l'opérateur. Par contre, avec les jets droits, elle est comprise entre 0,15 m et 1,1 m, distance encore trop élevée pour considérer qu'avec une protection du type tissu enduit ou multicouches l'opérateur est protégé.

Ces informations illustrent la nécessité d'utiliser des EPI mais démontrent aussi que ceux-ci doivent être adaptés aux paramètres du jet (forme, débit, pression).

Elles permettront également aux opérateurs et aux responsables de chantiers de définir, par exemple, des zones de travail sécurisées en fonction du type de jets employés et de connaître la distance qui doit séparer deux opérateurs travaillant sur un même site.

La technique du nettoyage - décapage [1, 2], utilisant l'eau à haute pression (HP) et à très haute pression (THP, soit plusieurs centaines de bars) devient concurrentielle vis-à-vis du sablage. Son utilisation jusqu'alors marginale se généralise. De ce fait, on note une nette augmentation du nombre d'accidents graves, voire mortels, causés par l'agression physique du jet. Cette situation est probablement destinée à encore évoluer dans un futur proche, du fait de l'élargissement des utilisations et de la baisse des coûts de ce type de matériel.

Le niveau de dangerosité d'un jet d'eau HP et THP est fonction d'un certain nombre de paramètres interdépendants, tels que la distance entre la buse et l'opérateur, la pression, le débit, le type de jet et la vitesse de balayage du jet. Actuellement, celui-ci est mal maîtrisé [3, 4, 5].

Pour limiter le risque d'accident, l'utilisateur doit être en mesure d'évaluer la dangerosité du jet. En particulier, il doit connaître la distance de dangerosité, c'est-à-dire la distance entre la buse et le point d'impact à partir de laquelle une personne sans protection est en danger [6].

Le premier objectif de cette étude est donc de mesurer cette distance en fonction du type de jet (forme, pression, débit). Cette information permettra d'estimer à partir de quelle distance une personne sans protection risque d'être blessée par un jet THP.

Le second objectif est d'estimer la diminution de la distance de dangerosité en fonction du type de jet, lorsque l'opérateur est équipé d'un vêtement de protection confectionné à partir d'un tissu enduit ou d'un tissu multicouches.

## EQUIPEMENT ET MÉTHODE D'ESSAI

### PRINCIPE

L'essai consiste à faire passer un échantillon représentatif d'une partie du corps humain (muscle + peau) [7] ou une partie du corps humain protégé (muscle + peau + tissu de protection) devant un jet d'eau THP. Le jet est généré par une pompe THP sur laquelle le paramètre pression peut être

FIGURE 1

Schéma de principe du banc d'essai  
Test bench outline diagram

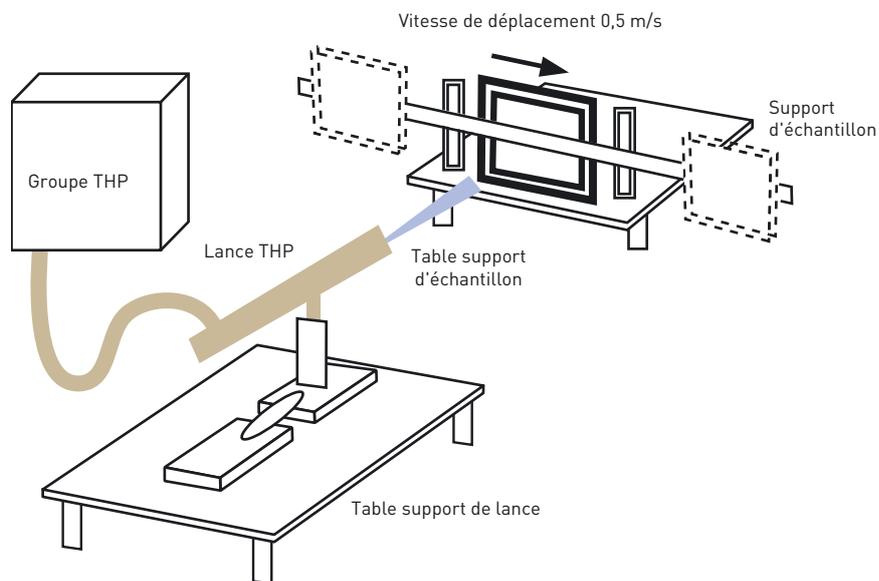


FIGURE 2

Banc d'essai « mesure de distance de dangerosité »  
Test bench for measuring jet danger distance



ajusté en fonction de la force de réaction et du type de jet choisi.

La lance est équipée de différentes têtes pour tester les diverses formes de jets. L'échantillon est monté sur un support muni d'un système permettant le réglage de la vitesse de passage devant le jet THP. La distance entre la sortie du jet et l'échantillon est variable en déplaçant la table support d'échantillon.

### BANC D'ESSAI

Le banc d'essai est composé de 3 éléments : une pompe THP, une lance maintenue sur une table et un support d'échantillon fixé sur une glissière roulant elle-même fixée sur une table roulante (cf. Figures 1 et 2).

FIGURE 3

### Support d'échantillon

Sample support

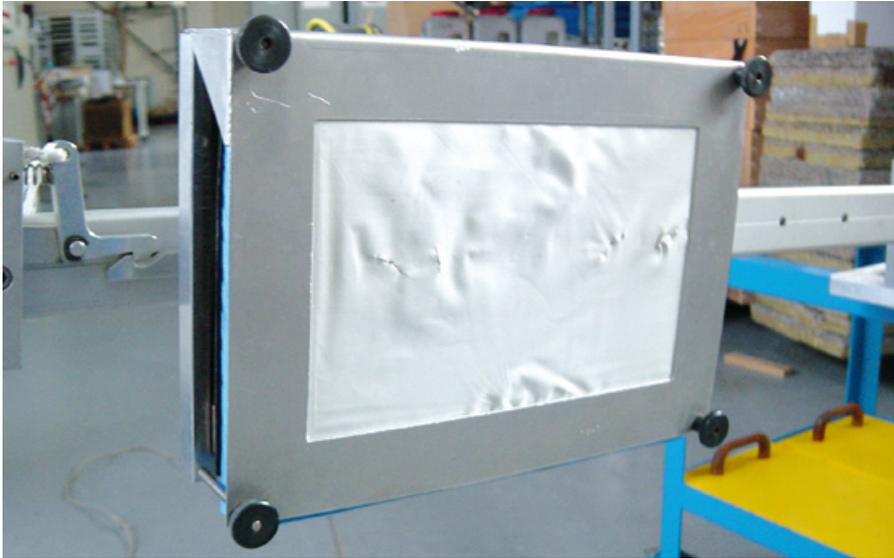


FIGURE 4

### Exemple de latex perforé avec la feuille de latex

Example of perforated latex sheet



### SUPPORT D'ÉCHANTILLON

Le support d'échantillon, la vitesse relative entre le jet et l'échantillon, le système de détection de la perforation par le jet ont été définis lors d'une étude précédente [8] dont l'objet était de mettre au point une méthodologie d'essai permettant de qualifier les équipements de protection individuelle (EPI) protégeant contre les jets d'eau THP. Ces paramètres sont repris dans la présente étude.

La vitesse de passage de l'échantillon devant le jet avait été fixée à 0,5 m/s correspondant approximativement à la vitesse de balayage du jet lors d'une opération de nettoyage effectuée avec une lance tenue à la main.

Le support d'échantillon est monté sur une glissière inclinée réglable permettant d'obtenir une vitesse de 0,5 m/s qui est mesurée à l'aide d'un caméscope.

Le support d'échantillon (cf. Figure 3), est composé d'un empilement de mousses spécifiques simulant le muscle, recouvert d'une feuille de latex d'une épaisseur de 0,18 mm représentant la peau. La feuille de latex sert, en outre, de moyen de détection de la perforation par le jet (cf. Figure 4).

Pour les essais avec le matériau susceptible d'être utilisé dans un vêtement de protection, le support d'échantillon reste le même. Le tissu enduit ou multicouches est positionné devant la feuille de latex (cf. Figure 5).

### TABLE SUPPORT DE LANCE

La lance est fixée sur un support permettant d'ajuster la hauteur du jet avec celle de l'échantillon. Un capteur mesure la force de réaction du jet.

### POMPE HAUTE PRESSION

La pompe de l'INRS (cf. Figure 6) fournit une pression d'environ 1 150 bars pour un débit de 35 l/min. Le réglage de la pression est obtenu en faisant varier la vitesse de rotation du moteur.

Des essais ont été effectués chez un fabricant de pompe THP avec des équipements offrant d'autres gammes de débits/pressions. La première pompe peut atteindre une pression d'environ 2 400 bars pour un débit de 35 l/min, la seconde, une pression d'environ 1 200 bars pour un débit de 60 l/min et la troisième permet une pression d'environ 800 bars pour un débit de 110 l/min.

### TYPES DE JETS

Plusieurs types de jet ont été utilisés : ronds, plats, rotatifs et orbitaux (cf. Figures 7 à 12).

#### Jets ronds

Egalement appelés jets crayons, ils produisent des jets de forme droite. Le fabricant indique un coefficient d'efficacité de la buse de 95 %, c'est-à-dire que 95 % de l'énergie à l'entrée de la buse est restituée à la sortie.

Les diamètres utilisés pour les essais vont de 1 mm à 3 mm par pas de 0,1 mm.

FIGURE 5

Exemple de tissu enduit perforé  
Example of perforated coated fabric

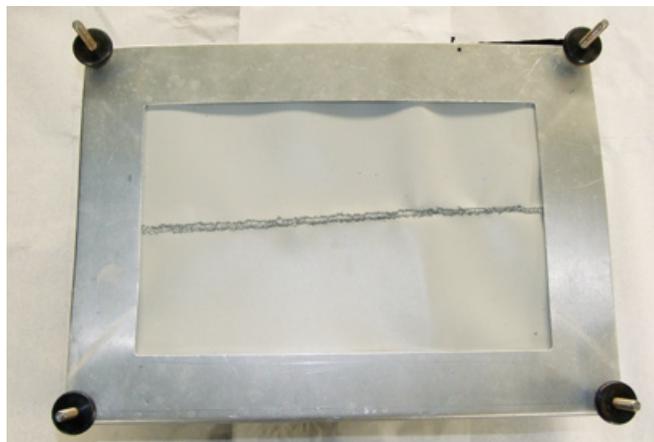


FIGURE 6

Groupe THP de l'INRS  
INRS VHP generating set



FIGURE 7

Exemple de buse (jet rond diamètre 1,5 mm)  
Example of nozzle (1.5 mm dia. circular jet)



### Jets plats

Ils peuvent avoir plusieurs angles d'ouverture. Pour l'étude, 2 angles d'ouverture ont été choisis : 30° et 15°. L'efficacité de ces buses est de 67 %.

### Jets rotatifs

La tête à 2 buses comprend 2 buses jets ronds inclinées à 20° produisant la rotation de la tête. Les buses sont les mêmes que celles utilisées pour les essais jet rond seul dont l'efficacité est de 95 %. Les buses utilisées avaient un diamètre de 0,9 mm, 1,1 mm et 1,2 mm.

La tête à 3 buses comprend 3 buses disposées comme représenté *Figure 11*. Les buses sont différentes de celles utilisées pour la tête rotative à 2 buses. Leur efficacité est de 70 %. Les diamètres des

buses utilisées pour les essais étaient 0,4 mm et 0,45 mm.

### Jets orbitaux

Il s'agit d'un jet droit tournant autour d'un axe formé par la lance (cf. *Figure 12*).

Le diamètre de la buse est de 1,25 mm. Sa pression maximale admissible est 1 500 bars.

### TISSUS DE PROTECTION

Deux matériaux ont été testés.

Le premier est un tissu enduit, défini lors d'une étude précédente [8] comme étant susceptible d'être utilisé dans la confection d'un vêtement de protection. Selon le fabricant, les caractéristiques du tissu enduit sont :

- surface massique : 1 050 +/- 10 g/m<sup>2</sup>,
- fabrication de base : polyester haute ténacité,
- enduction : extérieure polyéthylène chlorosulfoné (CSM)/polychloroprène (CR) ; intérieure polychloroprène (CR).

Le second est un tissu multicouches, utilisé dans la confection de vêtements contre les jets d'eau THP. Les caractéristiques techniques revendiquées par le fabricant sont une protection contre un jet droit à 2 000 bars, avec une buse de diamètre 1,2 mm, à une distance 75 mm. Ce tissu est composé de 8 couches intérieures d'un tissu aramide et de 2 couches extérieures de tissu imperméable.

### MÉTHODE D'ESSAI

Des pré-essais avec la pompe INRS avaient permis d'obtenir une première estimation de la distance de dangerosité. Elle était comprise entre 2,5 m et 5 cm en fonction du type de jet, de la pression et du débit. Par exemple :

■ pour un jet droit de diamètre 2 mm, une pression de 250 bars avec un débit théorique maximum de 34 l/min obtenu avec la pompe INRS et une force de réaction théorique de 100 N, la distance est environ 2 m,

■ pour une pression de 450 bars avec un jet plat de 30° d'ouverture et un diamètre de 2 mm, pour une force de réaction théorique d'environ 150 N, la distance est environ 10 cm.

A l'aide de ces informations, le nombre d'essais peut être limité : la distance entre le support d'échantillon et la buse est réglée à environ 0,5 m de plus que celle estimée lors des pré-essais. Ensuite, tant qu'il n'y a pas perforation du latex, la table support d'échantillon est approchée progressivement de la lance.

Après avoir choisi le type de jet à contrôler (rond, plat, rotatif, orbital), la pression est ajustée en fonction de la force de réaction définie. Celle-ci est fixée à 150 N, à 200 N ou à 250 N. Ces valeurs ont été choisies en fonction des différents types de lances utilisées par les opérateurs. Pour les lances tenues à bout de bras, il est recommandé de ne pas dépasser 150 N, pour celles tenues à la hanche, la force ne doit pas dépasser

200 N et pour les lances avec appui à l'épaule, la force de réaction peut monter jusqu'à 250 N.

L'analyse des résultats de l'essai est réalisée en observant le latex. S'il n'est pas perforé, l'échantillon est approché de la lance. S'il est perforé, la distance buse/échantillon est répertoriée et la buse est changée pour un nouvel essai. Cette valeur est donc la distance à partir de laquelle une personne est en danger, non pas la distance de sécurité.

FIGURE 8

### Représentation d'un jet rond Representation of a circular jet

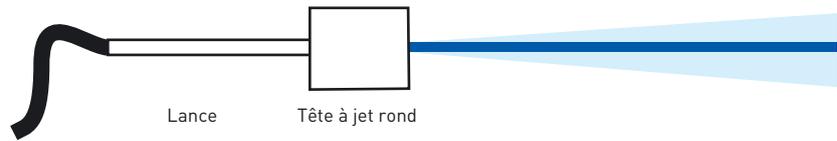


FIGURE 9

### Représentation d'un jet plat Representation of a flat jet

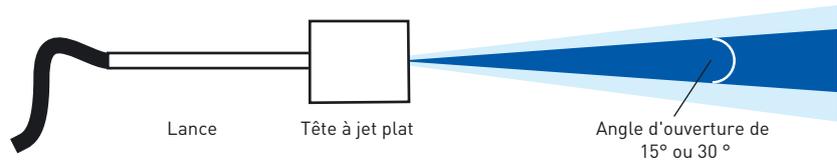


FIGURE 10

### Tête rotative à 2 buses inclinées à 20° Rotary head with two nozzles inclined at 20°



FIGURE 11

### Représentation d'une tête rotative à 3 buses Representation of a 3-nozzle rotary head

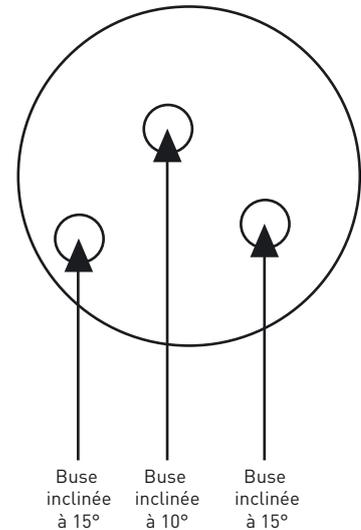
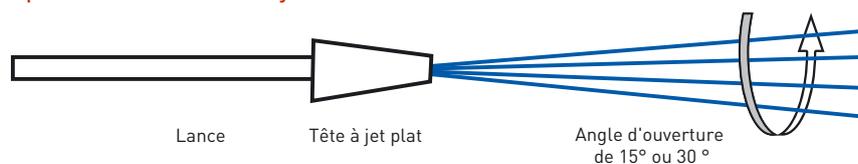


FIGURE 12

### Représentation d'un jet orbital Representation of an orbital jet



## RÉSULTATS DE MESURES

Les tableaux ci-après présentent les résultats d'essais pour différents types de jets avec et sans tissu.

### JET DROIT SANS PROTECTION

#### Force de réaction : 150 N

**TABLEAU I**

Distance de dangerosité en fonction du diamètre de la buse  
Danger distance with respect to nozzle diameter

Diamètre (mm)	Distance (m)	Pression (bar)	Débit Théorique (l/min)
1,0	1,8	1 000	20
1,1	1,8	850	22
1,2	1,8	720	24
1,3	2,4	610	28
1,4	2,2	535	30
1,5	2,4	465	32
1,6	2,2	450	34
1,7	2,4	360	36
1,8	3	320	40
2,0	3	250	44
2,2	2,8	225	48
2,4	3,2	200	50
2,5	3,4	180	56
2,8	3,6	150	60
3,0	3,6	140	64

#### Force de réaction : 250 N

**TABLEAU III**

Distance de dangerosité, en fonction du diamètre de la buse  
Danger distance with respect to nozzle diameter

Diamètre (mm)	Distance (m)	Pression (bar)	Débit Théorique (l/min)
1,4	2,4	1 000	36
1,6	2,6	700	41
1,8	3	500	47
2,0	3,4	600	52
2,2	3,4	660	57

#### Force de réaction : 200 N

**TABLEAU II**

Distance de dangerosité, en fonction du diamètre de la buse  
Danger distance with respect to nozzle diameter

Diamètre (mm)	Distance (m)	Pression (bar)	Débit Théorique (l/min)
1,0	1,4	1 330	23
1,2	1,6	1 250	28
1,4	2,2	800	32
1,6	2,2	450	37
1,8	3	400	42
2,0	3,2	450	46
2,2	3,2	450	51
2,4	3,4	350	56

#### Récapitulatif pour le jet droit

**TABLEAU IV**

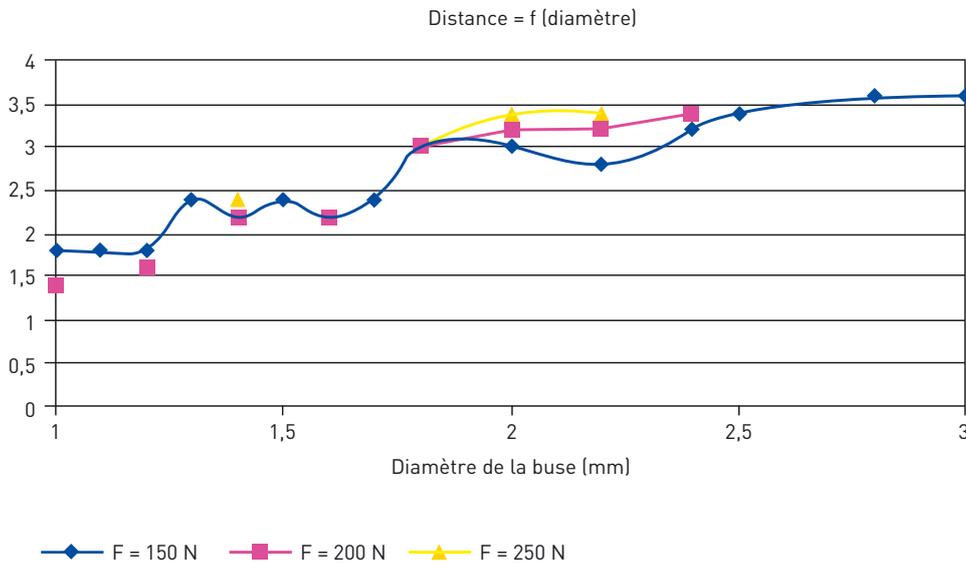
Distance de dangerosité, en fonction du diamètre de la buse, pour un jet droit avec une force de réaction de 150 N, 200 N et 250 N

Danger distance with respect to nozzle diameter for a straight jet producing a reaction force of 150 N, 200 N and 250 N

Force de réaction	F = 150 N	F = 200 N	F = 250 N
Diamètre (mm)	Distance (m)	Distance (m)	Distance (m)
1,0	1,8	1,4	
1,1	1,8		
1,2	1,8	1,6	
1,3	2,4		
1,4	2,2	2,2	2,4
1,5	2,4		
1,6	2,2	2,2	2,6
1,7	2,4		
1,8	3,0	3,0	3,0
2,0	3,0	3,2	3,4
2,2	2,8	3,2	3,4
2,4	3,2	3,4	
2,5	3,4		
2,8	3,6		
3,0	3,6		

FIGURE 13

Distance de dangerosité en fonction du diamètre de la buse pour une force de réaction de 150 N, 200 N et 250 N  
 Danger distance with respect to nozzle diameter for a reaction force of 150 N, 200 N and 250 N



La distance de dangerosité est comprise entre 1,4 m et 3,6 m pour les jets droits aux diamètres de buse évalués.

## JET DROIT SANS PROTECTION

### Jet plat 30° d'ouverture

TABLEAU V

Distance de dangerosité pour un jet plat 30°  
 Danger distance for a 30° flat jet

Diamètre (mm)	150 N			200 N			250 N		
	Distance (mm)	Pression (bar)	Débit théorique (l/min)	Distance (mm)	Pression (bar)	Débit théorique (l/min)	Distance (mm)	Pression (bar)	Débit théorique (l/min)
1,2	200	1 000	20	400	1 700	23			
1,6	120	600	27	150	800	31	200	1 000	35
1,8	150	530	30	150	650	35	200	730	39
2	120	450	34	200	550	39	200	620	43

Les jets plats avec un angle d'ouverture de 30° donnent des distances de dangerosité comprises entre 120 et 400 mm.

## Jet plat 15° d'ouverture

TABLEAU VI

Distance de dangerosité pour un jet plat 15°  
Danger distance for a 15° flat jet

Diamètre (mm)	150 N			200 N			250 N		
	Distance (mm)	Pression (bar)	Débit théorique (l/min)	Distance (mm)	Pression (bar)	Débit théorique (l/min)	Distance (mm)	Pression (bar)	Débit théorique (l/min)
0,8	120	1 170	13						
1,0	115	590	17						
1,6	150	600	27	250	800	31	300	1 000	35
1,8	200	470	30						
2,0	160	420	34	250	570	39	300	720	43

Les jets plats avec un angle d'ouverture de 15° donnent des distances de dangerosité comprises entre 100 mm et 300 mm.

## JET ROTATIF SANS PROTECTION

### Tête rotative à 2 buses inclinées à 20°

TABLEAU VII

Distance de dangerosité pour une tête rotative à 2 buses  
Danger distance for a 2-nozzle rotary head

Diamètre (mm)	150 N		200 N		250 N	
	Distance (mm)	Pression (bar)	Distance (mm)	Pression (bar)	Distance (mm)	Pression (bar)
0,9	400	730	600	1 020		
1,1	400	500	700	720	700	900
1,2	600	440	500	670	500	870

Les jets rotatifs à 2 buses donnent des distances de dangerosité comprises entre 400 mm et 700 mm.

### Tête rotative à 3 buses inclinées

TABLEAU VIII

Distance de dangerosité pour une tête rotative à 3 buses  
Danger distance for a 3-nozzle rotary head

Diamètre (mm)	Distance (mm)	Force de réaction (N)	Pression (bar)
0,4	250	120	2 400
0,45	300	145	2 400

Les jets rotatifs à 3 buses donnent des distances de dangerosité d'environ 250 mm avec les caractéristiques de la tête testée.

## JET ORBITAL SANS PROTECTION

### Tête rotative à 2 buses inclinées à 20°

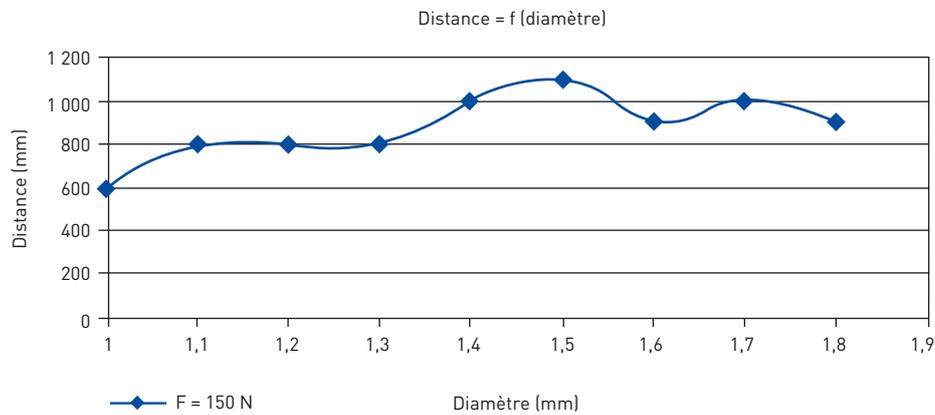
Avec un jet orbital de diamètre 1,25 mm et une force de réaction de 200 N, la pression est réglée à 1 050 bars. La distance à partir de laquelle le latex d'épaisseur 0,18 mm est perforé est de 800 mm.

## JET DROIT SUR TISSU ENDUIT

Force de réaction : 150 N

FIGURE 14

Distance de dangerosité en fonction du diamètre de la buse  
Danger distance with respect to nozzle diameter



Les jets rotatifs à 3 buses donnent des distances de dangerosité d'environ 250 mm avec les caractéristiques de la tête testée.

TABLEAU IX

Distance de dangerosité pour un jet droit sur tissu enduit  
Danger distance for a straight jet striking coated fabric

Diamètre (mm)	Distance (m)	Pression (bar)	Débit Théorique (l/min)
1	0,6	1 000	20
1,1	0,8	850	22
1,2	0,8	720	24
1,3	0,8	610	28
1,4	1,0	535	30
1,5	1,1	460	32
1,6	0,9	420	34
1,7	1,0	380	36
1,8	0,9	350	40
2,0	0,8	250	44

TABLEAU X

Distance de dangerosité pour un jet plat 30° sur tissu enduit  
Danger distance for a 30° flat jet striking coated fabric

Diamètre (mm)	Distance (mm)	Pression (bar)	Débit Théorique (l/min)
1,0	< 50	590	17
1,6	< 50	600	27
1,8	< 50	470	30
2,0	< 50	420	34

La distance pour perforer le tissu enduit avec une buse jet plat d'ouverture 30° est inférieure à 50 mm.

## JET PLAT 15° D'OUVERTURE

Force de réaction : 150 N

TABLEAU XI

Distance de dangerosité pour un jet plat 15° sur tissu enduit  
Danger distance for a 15° flat jet striking coated fabric

Diamètre (mm)	Distance (mm)	Pression (bar)	Débit Théorique (l/min)
1,0	< 50	590	17
1,6	< 50	600	27
1,8	< 50	470	30
2,0	< 50	420	34

Comme pour les buses jets plats avec un angle d'ouverture de 30°, la distance pour perforer le tissu enduit avec un jet plat d'ouverture 15° est inférieure à 50 mm.

## JET ROTATIF SUR TISSU ENDUIT

Tête rotative à 2 buses inclinées à 20°

Force de réaction : 150 N

TABLEAU XII

Distance de dangerosité pour un jet rotatif à 2 buses sur tissu enduit

Danger distance for a 2-nozzle rotary jet striking coated fabric

Diamètre (mm)	Distance (mm)	Pression (bar)
0,9	150	730
1,1	150	500
1,2	150	440

Pour les 3 diamètres de buse testés, la distance de dangerosité reste constante à 150 mm.

## JET ORBITAL SUR TISSU ENDUIT

Avec un jet orbital de diamètre 1,25 mm et une force de réaction de 200 N, la pression est réglée à 1 050 bars.

La distance à partir de laquelle le latex d'épaisseur 0,18 mm est perforé est de 200 mm.

## JET DROIT SUR TISSU MULTICOUCHES

La force de réaction des jets droits sur le tissu multicouches est de 150 N.

TABLEAU XIII

Distance de dangerosité pour un jet droit sur tissu multicouches

Danger distance for a straight jet striking a multi-layer fabric

Diamètre (mm)	Distance (m)	Pression (bar)	Débit Théorique (l/min)
1,0	0,30	1 000	20
1,1	0,30	850	22
1,2	0,35	720	24
1,3	0,40	610	28
1,4	0,30	535	30
1,5	0,30	465	32
1,6	0,20	450	34
1,7	0,20	360	36
1,8	0,15	320	40
2,0	0,15	250	44

La distance à partir de laquelle le latex d'épaisseur 0,18 mm est perforé est comprise entre 150 mm et 400 mm.

## JET PLAT SUR TISSU MULTICOUCHES

Comme pour le tissu enduit, avec les jets plats d'angle 15° et 30°, la distance de dangerosité est inférieure à 50 mm pour une force de réaction de 150 N et des diamètres de buse compris entre 0,8 mm et 2,0 mm.

## JET ROTATIF SUR TISSU MULTICOUCHES

TABLEAU XIV

Distance de dangerosité pour un jet rotatif à 2 buses sur tissu multicouches

Danger distance for a 2-nozzle rotary jet striking a multi-layer fabric

Diamètre (mm)	Distance (mm)	Pression (bar)
0,9	100	730
1,1	80	500
1,2	80	440

Avec le tissu multicouches, la distance de dangerosité pour les jets rotatifs reste faible puisqu'elle est inférieure à 100 mm pour les diamètres estimés.

## JET ORBITAL SUR TISSU MULTICOUCHES

Pour une force de réaction de 150 N, la pression est réglée à 900 bars avec une buse de diamètre 1,25 mm. La distance de dangerosité mesurée est de 100 mm.

## CONCLUSION

L'objectif de cette étude portait sur la détermination de la distance de dangerosité à partir de laquelle l'opérateur n'est plus en sécurité, en fonction des différents types de jets (formes, débits, pression), c'est-à-dire la distance à laquelle le latex est perforé. La distance de sécurité correspond à la dernière valeur supérieure pour laquelle le latex n'est pas perforé. Par ailleurs, les incertitudes de mesures de ces distances sont importantes, ce qui implique que les distances de dangerosité indiquées dans ce document sont des ordres de grandeur.

Les premiers enseignements de cette étude concernent la distance de dangerosité pour une personne sans protection.

■ Pour les jets droits, les distances de dangerosité mesurées sont comprises entre 1,4 m et 3,6 m. La variation de ces distances est fonction des diamètres de buse, elle est pratiquement proportionnelle. La force de réaction intervient faiblement.

Il semble que la distance de dangerosité ne peut pas dépasser 4 m ; au-delà, le jet tend à perdre de sa cohérence. Nous n'avons pas réalisé d'essais avec des buses ayant des diamètres supérieurs à 3 mm, car elles ne sont pas utilisées sur des lances tenues à la main. De plus, à ces diamètres, le débit chute considérablement puisque la force de réaction ne doit pas dépasser 250 N et l'efficacité du décapage diminue. Selon les fabricants, les buses jets droits avec des diamètres supérieurs à 3 mm sont vendues pour être montées, par exemple, sur des rampes mécanisées.

Par ailleurs, l'importance de la qualité de la buse a été mise en évidence lors de ces essais. Lorsque la buse est de bonne qualité, le jet a une bonne cohérence, sinon il s'écarte et forme des paquets d'eau. De ce fait, la distance de dangerosité peut être divisée pratiquement par 1,5. Par exemple, pour une buse de diamètre 2,4 mm, la distance de dangerosité est d'environ 3 m mais si la qualité n'est pas parfaite, elle peut chuter à environ 2 m. Ceci a été remarqué avec des buses neuves, considérées comme identiques mais dont la qualité n'était pas homogène.

■ Les buses jets plats avec une ouverture de 15° ou 30° sont les plus utilisées dans le domaine du nettoyage simple. Selon le fabricant, leur efficacité est de 67 %. La distance de dangerosité est comprise entre 100 mm et 400 mm quelle que soit la force de réaction. Les valeurs sont beaucoup plus faibles qu'avec les jets droits.

■ Les jets rotatifs sont également très utilisés dans le domaine du nettoyage mais aussi dans celui du décapage.

Avec la tête rotative à 2 buses inclinées à 20°, la distance de dangerosité ne varie pas beaucoup. Elle est comprise entre 400 mm et 700 mm quelle que soit la force de réaction. Il semble que les jets se perturbent mutuellement. De plus, les jets étant tournant, la poussée de l'eau n'est pas continue comme sur un jet fixe. L'efficacité des buses testées est de 95 % et elles sont identiques à celles utilisées pour les jets droits.

Avec la tête à 3 buses, les mesures ont été effectuées avec les 2 diamètres de buse (0,45 mm et 0,40 mm) les plus commercialisées, représentant environ 90 % des ventes selon le fabricant de pompe THP contacté. L'intérêt est de mesurer la distance pour les diamètres les plus utilisés. Il est difficile de constater une différence significative avec des diamètres de buse aussi proches. La distance de dangerosité est de l'ordre de 250 mm. L'efficacité des buses de la tête testée est 63 %. Ceci peut en partie expliquer une distance de dangerosité plus faible qu'avec la tête à 2 buses.

■ Les jets orbitaux, comme les jets rotatifs, sont utilisés dans le domaine du nettoyage et du décapage. Les mesures ont été effectuées avec une tête représentative du marché équipée d'une buse de 1,25 mm de diamètre. La force de réaction était fixée à 200 N pour une pression de 1 050 bars. La distance de dangerosité est de 800 mm.

Les seconds enseignements de cette étude concernent la distance de dangerosité pour une personne qui serait équipée d'une protection du type tissus enduits ou multicouches.

■ Pour les jets droits, la distance diminue considérablement. Elle passe d'une distance comprise entre 1,4 m et 3,6 m pour une personne sans protection à une distance comprise entre 0,6 m et 1,1 m pour une personne équi-

pée d'un EPI composé du tissu enduit utilisé pour l'étude et comprise entre 0,15 m et 0,40 m avec un tissu multicouches. La distance reste cependant encore trop importante pour garantir la sécurité de l'opérateur.

■ Pour les jets plats, la distance de dangerosité avec les deux tissus de protection est inférieure à 50 mm lorsque la force de réaction est de 150 N alors que, sans protection, elle est comprise entre 100 mm et 400 mm. Nous pouvons considérer qu'un EPI composé de ces tissus enduits ou multicouches est efficace contre des jets plats dont la force de réaction est de 150 N.

■ Pour les jets rotatifs, la distance de dangerosité est comprise entre 150 mm et 200 mm avec un tissu enduit. La distance diminue mais reste encore trop importante pour considérer que le tissu enduit est une protection efficace. Avec le tissu multicouches, elle diminue à 100 mm dans les conditions de l'étude. Cette distance de dangerosité ne peut garantir la sécurité de l'opérateur. Il lui sera donc conseillé, à l'aide de tests supplémentaires, de s'assurer que le tissu multicouches convient pour les caractéristiques du jet rotatif qu'il utilise. En revanche, ces distances ont été suffisamment réduites et nous permettent d'être confiant quant à la possibilité de trouver des tissus utilisables dans la confection d'EPI et aptes à protéger l'opérateur.

■ Pour les jets orbitaux, elle passe de 800 mm sans protection à 200 mm avec une protection type tissu enduit et à 100 mm avec le tissu multicouches. Comme pour les jets rotatifs, cette distance est encore trop élevée et doit être évaluée en fonction des paramètres du jet rotatif employé.

Le *Tableau XV* résume les résultats obtenus lors de cette étude.

Ces informations illustrent la nécessité d'utiliser des EPI qui doivent être adaptés aux paramètres du jet (forme, débit, pression).

À l'aide des différentes distances de dangerosité, définies lors de cette étude, les utilisateurs pourront définir les zones de travail en fonction du type de jet employé et connaître, par exemple, la distance minimale de sécurité qui doit séparer deux opérateurs travaillant sur un même site et la zone de travail à sécuriser (cf. *Figure 15*).

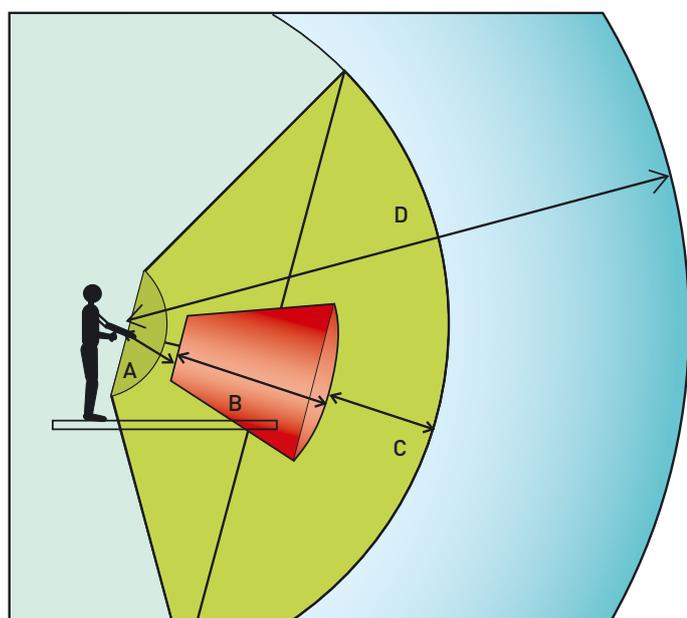
**TABLEAU XV**

**Distances de dangerosité**  
**Danger distances**

	Sans protection	Tissu enduit	Tissu multicouches
Jets droits	1,40 m à 3,60 m	0,60 m à 1,10 m	0,15 m à 0,40 m
Jets plats	0,10 m à 0,40 m	< 0,05 m	< 0,05 m
Jets rotatifs	0,20 m à 0,70 m	0,15 m	0,10 m
Jets orbitaux	0,80 m	0,20 m	0,10 m

**FIGURE 15**

**Représentation des différentes zones de dangerosité**  
**Representation of different danger zones**



- A : longueur du canon  
- Elle doit être adaptée afin que l'opérateur ne puisse pas se blesser.
- B : Distance de dangerosité  
- Elle est fonction du type de jet utilisé par l'opérateur.
- C : Distance correspondante au déplacement et au temps de réaction de l'opérateur  
- 1 pas de déplacement normal,  
- 1 pas pour le temps de réaction.
- D : Distance de projection des débris  
- A estimer par l'opérateur.

Reçu le : 08/09/2008  
 Accepté le : 07/10/2008

**BIBLIOGRAPHIE**

[1] MABROUCKI T. – Exploration expérimentale et modélisation numérique des impacts fluidiques : contribution à l'étude du décapage par jet d'eau pure H.P. - Thèse de doctorat présentée à l'ENSAM, 2000, 182 p.

[2] MERLE C. – Découpage des produits alimentaires par jet d'eau à très haute pression. DEA 1991 pp. 1 à 32.

[3] IMBEAU D., MOMPETIT Y., BERGERON S. – Description des risques à la santé et à la sécurité du travail de nettoyage avec jets d'eau sous haute et très haute pression, Rapport R-285, IRSST, 2001, 63 p.

[4] MENG P., GESKIN E.S., LEU M.C., LI F., TISMENESKIY L. – An Analytical and Experimental Study of Cleaning with moving Waterjets, Transactions of the ASME-Journal of Manufacturing Science and Engineering, August 1988, Vol. 120, pp. 580-589.

[5] MENG P., LEU M.C., GESKIN E.S. & TISMENESKIY L. – Cleaning with High-Pressure Directed Waterjets, Proceedings of Japan-USA Symposium on Flexible Automatin, Boston, MA, July, 1996.

[6] WERLE R. – Equipements à jets d'eau sous haute et très haute pression, ED 784, INRS, 1997, 88 p.

[7] MANSCHOT J – The mechanical properties of human skin in vivo, thèse de doctorat présentée à l'université catholique de Nijmegen, 1985, 133 pages.

[8] MARCHAL P., JACQUES M. – Etude de la tenue mécanique des équipements de protection individuelle aux jets d'eau à très haute pression. Hygiène et santé du travail, ND 2248-203-06, 2006, 12 pp. 35-46.