

# MONOGRAPHIE DE PRODUIT

## Pr **ACYCLOVIR SODIQUE INJECTABLE**

(50 mg d'acyclovir/mL)

Agent antiviral

**SteriMax Inc.**  
2770 Portland Drive  
Oakville, ON L6H 6R4

Date de révision :  
le 20 juillet 2016

N° de contrôle : 189402

## MONOGRAPHIE DE PRODUIT

### Pr ACYCLOVIR SODIQUE INJECTABLE

50 mg d'acyclovir/mL

### CLASSIFICATION THÉRAPEUTIQUE

Agent antiviral

### MODE D'ACTION ET PHARMACOLOGIE CLINIQUE

L'acyclovir, analogue acyclique de synthèse d'un nucléoside purique, est un substrat hautement spécifique de la thymidine-kinase du virus herpès simplex et du virus zona-varicelle, mais peu spécifique de la thymidine-kinase des cellules hôtes. La thymidine-kinase virale (virus herpès simplex et virus zona-varicelle) catalyse la transformation de l'acyclovir en acyclovir monophosphate que des enzymes cellulaires convertissent ensuite en acyclovir diphosphate et en acyclovir triphosphate. L'acyclovir triphosphate est en même temps un inhibiteur et un substrat de l'ADN-polymérase spécifique du virus herpès simplex. La concentration d'acyclovir triphosphate nécessaire pour inhiber l'ADN-polymérase du virus herpès simplex est beaucoup plus faible que celle qui est nécessaire à l'inhibition de l' $\alpha$ -ADN-polymérase de la cellule hôte. L'acyclovir est sélectivement converti en sa forme active dans les cellules infectées par le virus herpès simplex et est ainsi absorbé de façon préférentielle par ces cellules. *In vitro*, le potentiel de toxicité de l'acyclovir est beaucoup moins marqué sur les cellules normales et non infectées que sur les cellules infectées. Cela s'explique par le fait que : 1) les cellules non infectées captent moins facilement le médicament; 2) la quantité d'acyclovir qui y est transformée en produit actif est moins importante; 3) l' $\alpha$ -ADN-polymérase cellulaire est moins sensible à l'action de la forme active du médicament. L'inhibition de la réplication du virus herpès simplex résulte de l'effet combiné de la grande affinité de la thymidine-kinase virale pour le médicament, de l'inhibition de l'ADN-polymérase virale, et de l'arrêt prématuré de la synthèse de l'ADN. Le médicament n'a aucun effet connu sur le virus qui n'est pas en phase de réplication.

L'inhibition du virus écourte la période d'excrétion virale, diminue l'ampleur de la dissémination et la gravité du processus morbide, et favorise ainsi la guérison. Rien ne permet de penser que le traitement suppressif par l'acyclovir entrave la migration du virus vers le tissu nerveux. L'acyclovir empêche la manifestation des épisodes récurrents d'herpès en inhibant la réplication virale après la réactivation.

#### **Pharmacocinétique**

La pharmacocinétique de l'acyclovir a été évaluée chez 95 patients (9 essais cliniques). Les résultats des phases I et II des essais ont été obtenus chez des sujets adultes ayant une fonction rénale normale et ayant reçu des doses uniques d'acyclovir allant de 0,5 à 15 mg/kg et des doses multiples allant de 2,5 à 15 mg/kg toutes les 8 heures. La pharmacocinétique de l'acyclovir a également été déterminée chez des enfants de 1 à 17 ans ayant une fonction rénale normale et ayant reçu des doses de 250 mg/m<sup>2</sup> ou de 500 mg/m<sup>2</sup> toutes les 8 heures. Lors de ces essais, on a observé

que les paramètres pharmacocinétiques de l'acyclovir n'étaient pas proportionnels à la dose lorsque la posologie variait entre 0,5 et 15 mg/kg. Les concentrations plasmatiques sont toutefois proportionnelles à la dose après l'administration de doses uniques ou, à l'état d'équilibre, après l'administration de doses multiples.

L'acyclovir est principalement éliminé par les reins sous sa forme inchangée par filtration glomérulaire et par sécrétion tubulaire. Entre 62 et 91 % de la dose administrée est éliminée par voie rénale. La demi-vie et la clairance corporelle totale de l'acyclovir chez les enfants âgés de plus d'un an sont semblables à celles observées chez des adultes ayant une fonction rénale normale.

## **INDICATIONS ET USAGE CLINIQUE**

L'acyclovir sodique injectable est indiqué pour le traitement des infections initiales et récurrentes causées par le virus herpès simplex cutanéomuqueux (HSV-1 et HSV-2) ainsi que pour le traitement des infections causées par le virus zona-varicelle (zona) chez les adultes et les enfants immunodéprimés. Il est également indiqué dans le cas des premiers épisodes graves d'infections causées par le virus herpès simplex chez les patients non nécessairement immunodéprimés. Son emploi pour traiter d'autres infections causées par des virus de la famille des virus herpétiques est à l'étude.

Ces indications sont fondées sur les résultats obtenus dans un certain nombre d'essais à double insu contrôlés par placebo visant à évaluer les changements touchant l'excrétion virale, la guérison complète des lésions et le soulagement de la douleur. En raison des grandes variations biologiques propres aux infections causées par le virus herpès simplex, les données suivantes sont présentées simplement pour illustrer la grande variété de réponses observées jusqu'à présent. Comme pour toute maladie infectieuse, on peut obtenir de meilleurs résultats lorsque le traitement est instauré dans les plus brefs délais.

### **Infections causées par le virus herpès simplex chez des patients immunodéprimés**

Dans un essai multicentrique, on a administré l'acyclovir intraveineux en perfusion à raison de 250 mg/m<sup>2</sup>, pendant une heure, toutes les 8 heures (750 mg/m<sup>2</sup>/jour) pendant 7 jours, à 98 patients immunodéprimés atteints d'infections buccofaciales, œsophagiennes, génitales et d'autres infections localisées (52 patients ont pris l'acyclovir et 46, le placebo). L'acyclovir a réduit de façon significative l'excrétion virale et la douleur, et a favorisé la formation de croûtes ainsi que la guérison rapide des lésions.

### **Premiers épisodes d'herpès génital**

Un essai contrôlé a été effectué chez 28 patients atteints pour la première fois d'herpès génital grave. On leur a administré de l'acyclovir en perfusion à raison de 5 mg/kg, pendant une heure, toutes les 8 heures, sur une période de 5 jours (12 patients ont pris l'acyclovir et 16, le placebo). Les effets significatifs du traitement ont été l'élimination du virus des lésions et une diminution du temps de guérison.

Dans une étude semblable, 15 patients atteints pour la première fois d'herpès génital ont reçu l'acyclovir en perfusion à raison de 5 mg/kg, pendant une heure, toutes les 8 heures, sur une période de 5 jours; 15 autres patients ont reçu le placebo. L'acyclovir a réduit la durée de l'excrétion virale, la formation de nouvelles lésions et le temps d'éruption des vésicules, et il a favorisé une guérison

plus rapide de toutes les lésions.

### **Infections causées par le virus zona-varicelle chez des patients immunodéprimés**

Un essai multicentrique portant sur l'acyclovir pour perfusion administré à raison de 500 mg/m<sup>2</sup>, toutes les 8 heures, pendant 7 jours, a été effectué chez des patients immunodéprimés atteints d'infections causées par le virus zona-varicelle (zona). On a évalué 94 patients (52 ont reçu l'acyclovir et 42 le placebo). L'acyclovir a arrêté la progression de l'infection comme on a pu en juger par la réduction significative de la dissémination cutanée et viscérale ou par la proportion de patients chez qui le traitement a été un échec.

Un essai comparatif portant sur l'acyclovir et la vidarabine a été effectué chez 22 patients gravement immunodéprimés et atteints de zona. L'acyclovir s'est révélé plus efficace que la vidarabine, des différences significatives ayant été observées dans la durée de formation des nouvelles lésions, le temps nécessaire pour réduire la douleur et arriver à la formation des croûtes, le temps pour parvenir à la guérison complète, la fréquence de la fièvre et la durée pendant laquelle les cultures virales ont été positives. De plus, aucun des 10 patients traités avec l'acyclovir n'a montré de dissémination cutanée tandis que 5 des 10 patients ayant pris la vidarabine ont présenté une éruption localisée dans un dermatome.

### **Processus de guérison**

Étant donné que la réépithélisation du tégument désuni par l'herpès met en jeu plusieurs mécanismes de réparation complexes, le médecin doit se rappeler que la disparition des lésions visibles varie quelque peu d'un cas à l'autre et qu'elle se produit lorsque l'excrétion virale a pris fin.

### **Diagnostic**

Bien que les lésions cutanées associées aux infections causées par le virus herpès simplex et par le virus zona-varicelle soient souvent pathognomoniques, les frottis de Tzanck tirés d'exsudats ou de raclages des lésions peuvent aider à poser un diagnostic. L'obtention de cultures positives du virus herpès simplex est le seul moyen sûr de confirmer le diagnostic. Des examens appropriés devraient être effectués afin d'éliminer d'autres maladies transmises sexuellement. Le frottis de Tzanck ne permet pas de distinguer les infections causées par le virus zona-varicelle de celles causées par le virus herpès simplex.

## **CONTRE-INDICATIONS**

L'acyclovir sodique injectable est contre-indiqué chez les patients présentant une hypersensibilité connue au produit.

## **MISES EN GARDE**

L'acyclovir sodique injectable est réservé à la perfusion intraveineuse lente. Les perfusions doivent être administrées sur une période d'au moins une heure afin de réduire les risques d'atteintes des tubules rénaux (voir **PRÉCAUTIONS** et **POSOLOGIE ET ADMINISTRATION**).

Chez les patients gravement immunodéprimés, le médecin devrait savoir que des traitements prolongés ou répétés au moyen d'acyclovir peuvent favoriser la sélection de virus résistants pouvant être responsables d'infections qui ne répondront pas toujours au traitement prolongé par l'acyclovir. Il faudrait établir cette éventualité de façon plus concluante, mais il serait bon d'en tenir compte au moment d'instaurer le traitement. Les effets de l'administration de l'acyclovir sur l'évolution

naturelle de l'infection causée par le virus herpès simplex ou le virus zona-varicelle ne sont pas connus.

## **PRÉCAUTIONS**

Une précipitation de cristaux d'acyclovir dans les tubules rénaux peut survenir si on dépasse la limite de solubilité (2,5 mg/mL dans de l'eau à 37 °C). Ce phénomène se manifeste par une hausse de la créatinine sérique et de l'azote uréique sanguin (BUN), et par une réduction de la clairance de la créatinine. Si les tubules rénaux sont suffisamment atteints, le débit urinaire diminue.

On a observé des hausses prononcées de la créatinine sérique et des baisses de la clairance de la créatinine chez des humains à qui l'on avait administré de l'acyclovir par perfusion et qui étaient mal hydratés, qui recevaient en concomitance des médicaments néphrotoxiques (p.ex., de l'amphotéricine B et des aminosides), qui présentaient préalablement des lésions ou des troubles rénaux, ou enfin qui avaient reçu leur médicament par injection intraveineuse rapide (< 10 minutes). Les troubles de la fonction rénale ont été passagères et, dans certains cas, ont disparu sans qu'il ait été nécessaire de modifier la posologie de l'acyclovir. Dans d'autres cas, la fonction rénale s'est améliorée après une meilleure hydratation, un ajustement de la posologie ou l'interruption du traitement par l'acyclovir.

L'administration d'acyclovir en perfusion intraveineuse doit se faire en présence d'une bonne hydratation. Comme les concentrations du médicament dans l'urine atteignent leur maximum dans les deux (2) premières heures qui suivent la perfusion, on doit veiller à maintenir un débit urinaire suffisant pendant cette période afin d'éviter la précipitation de cristaux dans les tubules rénaux. Le débit urinaire recommandé est  $\geq 500$  mL par gramme de médicament perfusé. Lorsqu'il faut procéder à un ajustement posologique, il est recommandé de tenir compte de la clairance estimée de la créatinine (voir **POSOLOGIE ET ADMINISTRATION**).

Environ 1 % des patients à qui l'on a administré de l'acyclovir par voie intraveineuse ont manifesté des troubles encéphalopathiques ayant pris la forme de léthargie, de diminution de la sensibilité, de tremblements, de confusion, d'hallucinations, d'agitation, de convulsions ou de coma. L'acyclovir doit être administré avec prudence chez les patients qui présentent des anomalies neurologiques sous-jacentes, des anomalies rénales, hépatiques ou électrolytiques graves ou encore une hypoxie marquée. On doit aussi l'administrer avec prudence chez les personnes qui ont déjà présenté des réactions neurologiques aux agents cytotoxiques ou chez celles qui reçoivent en concomitance du méthotrexate ou de l'interféron par voie intrathécale.

### **Administration pendant l'allaitement**

L'acyclovir est excrété dans le lait maternel humain. Il faut donc être prudent lorsqu'on administre l'acyclovir à des mères qui allaitent.

### **Administration pendant la grossesse**

Les études de tératologie menées à ce jour sur les animaux ont en général donné des résultats négatifs. Toutefois, dans le cadre d'une étude non standardisée menée sur des rates, on a observé des anomalies au niveau de la tête et de la queue chez le fœtus, ainsi qu'une toxicité chez la mère. Comme de telles études ne sont pas toujours représentatives de la réaction chez l'humain, l'acyclovir ne devrait pas être administré aux femmes enceintes, sauf si le médecin juge que les

avantages l'emportent sur les risques possibles pour le fœtus. On doit également tenir compte des risques de bris chromosomique *in vitro* associés aux concentrations élevées d'acyclovir.

Actuellement, il n'existe aucune donnée démontrant que l'utilisation de l'acyclovir prévient la transmission de l'infection par le virus herpès simplex à d'autres personnes.

Il faut envisager la possibilité de changer de traitement si, après 5 jours, il n'y a aucun espoir d'amélioration clinique des signes et symptômes de l'infection.

Des souches du virus herpès simplex moins sensibles à l'acyclovir ont été isolées dans des lésions herpétiques et sont également apparues durant un traitement intraveineux par l'acyclovir.

### **Interactions médicamenteuses**

On a démontré que l'administration concomitante de probénécide et d'acyclovir par voie intraveineuse augmente la demi-vie moyenne et l'aire sous la courbe de la concentration plasmatique en fonction du temps. L'excrétion urinaire et la clairance rénale ont diminué proportionnellement.

### **EFFETS INDÉSIRABLES**

Les effets indésirables énumérés ci-après ont été observés lors d'essais cliniques contrôlés et non contrôlés effectués chez environ 700 patients ayant reçu l'acyclovir à raison d'environ 5 mg/kg (250 mg/m<sup>2</sup>) et chez environ 200 patients ayant reçu l'acyclovir à raison d'environ 10 mg/kg (500 mg/m<sup>2</sup>).

Les effets indésirables les plus souvent signalés pendant l'administration d'acyclovir ont été une inflammation ou une phlébite au point d'injection chez environ 9 % des patients ainsi que des augmentations transitoires de la créatinine sérique ou de l'azote uréique sanguin dans 5 à 10 % des cas [la fréquence a habituellement atteint son point le plus élevé après une perfusion intraveineuse rapide (moins de 10 minutes)]. Des nausées ou des vomissements sont survenus chez près de 7 % des patients (dans la plupart des cas, des patients non hospitalisés ayant reçu 10 mg/kg). Des démangeaisons, des éruptions cutanées et de l'urticaire se sont produites chez environ 2 % des patients. Une augmentation des transaminases a été rapportée chez 1 à 2 % des patients.

Environ 1 % des patients à qui l'on a administré de l'acyclovir par voie intraveineuse ont manifesté des troubles encéphalopathiques prenant la forme de léthargie, de diminution de la sensibilité, de tremblements, de confusion, d'hallucinations, d'agitation, de convulsions ou de coma (voir **PRÉCAUTIONS**).

Les effets indésirables qui se sont présentés à une fréquence inférieure à 1 % et qui étaient probablement ou possiblement attribuables à l'administration intraveineuse d'acyclovir ont été les suivants : anémie, anurie, hématurie, hypotension, œdème, anorexie, sensation de tête légère, soif, céphalées, diaphorèse, fièvre, neutropénie, thrombopénie, résultats anormaux des analyses d'urine (caractérisés par une augmentation des éléments organisés du sédiment urinaire) et enfin, douleurs à la miction.

D'autres effets indésirables ont été signalés à une fréquence inférieure à 1 % chez les patients traités

par l'acyclovir, sans qu'il soit possible d'établir une relation de cause à effet entre l'acyclovir et ces effets, lesquels comprenaient œdème pulmonaire avec tamponnade cardiaque, douleurs abdominales et thoraciques, thrombocytose, leucocytose, neutrophilie, ischémie des doigts, hypokaliémie, purpura fulminans, mictions impérieuses, hémoglobinémie et rigidité.

## **SYMPTÔMES ET TRAITEMENT DU SURDOSAGE**

Des cas de surdosage ont été rapportés après l'administration de bolus ou de doses trop élevées d'acyclovir ou lorsque l'équilibre liquidien et électrolytique n'était pas surveillé convenablement. Il en a résulté une augmentation de l'azote uréique sanguin, de la créatinine sérique et finalement, une insuffisance rénale. Léthargie, convulsions et coma ont rarement été signalés. Il peut se produire des précipitations de cristaux d'acyclovir dans les tubules rénaux lorsque la limite de solubilité dans le liquide intratubulaire est dépassée (2,5 mg/mL) (voir **PRÉCAUTIONS**).

Une hémodialyse de 6 heures entraîne une diminution de 60 % des concentrations plasmatiques d'acyclovir. Les données concernant la dialyse péritonéale sont incomplètes, mais elles indiquent que cette méthode peut être beaucoup moins efficace pour éliminer l'acyclovir du sang. Advenant une insuffisance rénale aiguë et de l'anurie, l'hémodialyse peut soulager le patient tant que sa fonction rénale n'est pas rétablie (voir **POSOLOGIE ET ADMINISTRATION**).

## **POSOLOGIE ET ADMINISTRATION**

**Avertissement : L'acyclovir sodique injectable est réservé à la perfusion intraveineuse lente sur une période d'au moins une (1) heure.**

### **Infections causées par le virus herpès simplex**

**Herpès simplex cutanéomuqueux (HSV-1 et HSV-2) chez des patients immunodéprimés :**

Adultes : administrer 5 mg/kg, en perfusion, à un débit constant, pendant au moins une heure toutes les 8 heures, pendant 7 jours, chez les adultes ayant une fonction rénale normale.

Enfants : chez les enfants de moins de 12 ans, on peut atteindre des concentrations plasmatiques équivalentes avec l'administration de 250 mg/m<sup>2</sup>, en perfusion, à un débit constant, pendant au moins une heure, toutes les 8 heures, pendant 7 jours.

**Premiers épisodes cliniques graves d'herpès génital chez des patients immunocompétents :**

Administrer la posologie énoncée ci-dessus, pendant 5 jours.

### **Infections causées par le virus zona-varicelle**

**Zona chez les patients immunodéprimés**

Adultes: administrer 10 mg/kg, en perfusion, à un débit constant, pendant au moins une heure, toutes les 8 heures, pendant 7 jours, chez des adultes ayant une fonction rénale normale.

Enfants: chez les enfants âgés de moins de 12 ans, on peut atteindre des concentrations plasmatiques équivalentes avec l'administration de 500 mg/m<sup>2</sup>, en perfusion, à un débit constant, pendant au moins une heure, toutes les 8 heures, pendant 7 jours.

Les sujets obèses doivent être traités à raison de doses de 10 mg/kg (poids corporel idéal). Il ne faut en aucun cas dépasser la dose maximale équivalant à 500 mg/m<sup>2</sup> toutes les 8 heures.

**Atteinte rénale aiguë ou chronique**

Administer les doses recommandées et suivre le mode d'administration préconisé. Faire les ajustements posologiques aux intervalles indiqués dans le tableau suivant :

<b>Clairance de la créatinine (mL/min/1,73 m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pourcentage de la dose recommandée</b>	<b>Intervalle entre les doses (heures)</b>
> 50	100	8
25 à 50	100	12
10 à 25*	100	24
0 à 10*	50	24 à 48

\*Hémodialyse : la demi-vie plasmatique moyenne de l'acyclovir chez les personnes faisant l'objet d'une hémodialyse est d'environ cinq heures. Après une dialyse de six heures, on observe une diminution de 60 % de la concentration plasmatique du médicament. Les posologies recommandées doivent être administrées toutes les 24 à 48 heures et après l'hémodialyse.

## RENSEIGNEMENTS PHARMACEUTIQUES

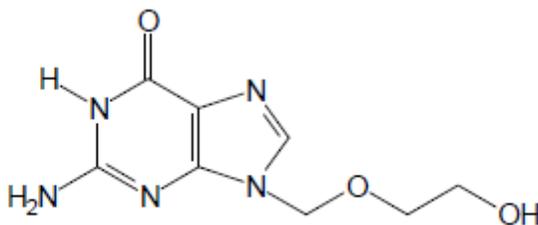
### Substance médicamenteuse

**Dénomination commune :** Acyclovir

**Dénomination chimique :** 9-[(2-hydroxyéthoxy)méthyl]guanine\*

\*L'acyclovir sodique est préparé *in situ* à l'aide d'hydroxyde de sodium.

**Formule développée :**



**Formule moléculaire :** C<sub>8</sub>H<sub>11</sub>N<sub>5</sub>O<sub>3</sub>

**Poids moléculaire :** 225,2

**Description :** Poudre inodore cristalline blanche à blanchâtre. Modérément à légèrement soluble dans l'eau, soluble dans le diméthylsulfoxyde, très légèrement soluble dans l'alcool. Soluble dans les solutions aqueuses diluées d'hydroxyde alcalin et d'acide minéral (Ph.Eur.). Modérément à légèrement soluble dans l'eau, soluble dans l'acide chlorhydrique dilué, insoluble dans l'alcool (USP).

### Composition

L'acyclovir sodique injectable est une solution stérile d'acyclovir sodique dans de l'eau pour injection, équivalant à 50 mg/mL d'acyclovir. Le pH de la solution (50 mg/mL) est compris entre 11,0 et 12,5.

### **STABILITÉ ET CONSERVATION**

L'acyclovir sodique injectable doit être conservé à une température variant entre 15° et 30 °C.

### Solutions diluées pour perfusion intraveineuse

La dose calculée de solution doit être aspirée et ajoutée à une solution appropriée pour la voie intraveineuse (voir ci-dessous), selon le volume choisi, pour être administrée sur une période d'une heure lors de chaque perfusion. **Des concentrations supérieures à 10 mg/mL ne sont pas recommandées.**

Comme le flacon ne contient pas d'agent de conservation, jeter toute portion inutilisée de la solution.

#### **Solutions pour perfusion intraveineuse :**

- Solution injectable de dextrose à 5 %
- Solution injectable de dextrose à 5 % et de chlorure de sodium à 0.9 %
- Solution saline normale injectable
- Solution de Ringer lactate injectable

Une fois dilué, le mélange doit être administré dans les 24 heures qui suivent la reconstitution initiale. Ne pas réfrigérer. Jeter toute portion inutilisée.

Avant d'administrer la solution diluée, on devrait l'inspecter visuellement pour déceler toute décoloration, turbidité, présence de matière particulaire ou fuite.

**Incompatibilité** il ne faut pas mélanger l'acyclovir sodique injectable avec des liquides biologiques ou colloïdaux (p. ex., les produits sanguins, les hydrolysats de protéines ou les acides aminés, les émulsions lipidiques).

#### **PRÉSENTATION DES FORMES POSOLOGIQUES**

L'acyclovir sodique injectable (équivalent à 50 mg/mL d'acyclovir) est présenté en deux formats :

- Flacon à dose unique de 10 mL contenant de l'acyclovir sodique équivalent à 500 mg d'acyclovir. Plateaux de 10 flacons.
- Flacon à dose unique de 20 mL contenant de l'acyclovir sodique équivalent à 1 g d'acyclovir. Plateaux de 10 flacons

#### **VIROLOGIE**

##### **Spectre d'activité *in vitro***

Le rapport quantitatif entre la sensibilité *in vitro* du virus herpès simplex et du virus varicelle-zona vis-à-vis de l'acyclovir et la réponse clinique au traitement n'a pas été établi chez l'humain. Les tests de sensibilité virale n'ont pas été standardisés. Les résultats des tests de sensibilité, exprimés par la concentration de médicament nécessaire à l'inhibition de 50 % de la croissance des virus en milieu de culture cellulaire (DI<sub>50</sub>), varient considérablement selon le dosage utilisé, le type de cellule employé et le laboratoire effectuant le test. La DI<sub>50</sub> de l'acyclovir sur les isolats du HSV-1 peut varier entre 0,02 µg/mL (réduction des plages dans des cellules Vero) et 5,9-13,5 µg/mL (réduction des plages dans des cellules rénales de singes verts). La DI<sub>50</sub> sur le HSV-2 varie entre 0,01 et 9,9 µg/mL (réduction des plages dans des cellules Vero et des cellules rénales de singes verts respectivement).

À l'aide d'une méthode de fixation d'un colorant permettant de déterminer dans les cellules Vero des DI<sub>50</sub> environ cinq à dix fois plus élevées que ne le font les dosages de réduction des plages, on a examiné sur une période de cinq ans 1417 isolats de HSV (553 du HSV-1 et 864 du HSV-2) prélevés chez quelque 500 patients. Ces dosages ont révélé que 90 % des isolats du HSV-1 étaient sensibles à ≤ 0,9 µg d'acyclovir par mL et que 50 % des isolats étaient sensibles à ≤ 0,2 µg

d'acyclovir par mL. En ce qui concerne les isolats du HSV-2, 90 % étaient sensibles à  $\leq 2,2 \mu\text{g/mL}$  et 50 % à  $\leq 0,7 \mu\text{g/mL}$  d'acyclovir. Chez 44 patients, on a constaté une baisse significative de la sensibilité des isolats. À noter que ni les patients ni les isolats n'ont été choisis au hasard; de ce fait, les résultats ne sont pas représentatifs de la population générale. La plupart des isolats cliniques de HSV dont la sensibilité était diminuée présentaient une carence relative en thymidine-kinase (TK) virale. On a également observé des souches montrant des altérations de la TK virale ou de l'ADN-polymérase virale. L'exposition prolongée à de faibles concentrations ( $0,1 \mu\text{g/mL}$ ) d'acyclovir en milieu de culture cellulaire a entraîné l'apparition de diverses souches résistantes.

La  $\text{DI}_{50}$  de l'acyclovir sur VZV varie entre  $0,17 - 1,53 \mu\text{g/mL}$  (diminution du rendement, fibroblastes de prépuce humain) et  $1,85 - 3,98 \mu\text{g/mL}$  (diminution des foyers, fibroblastes d'embryon humain). Une dose de  $1,5 \mu\text{g}$  d'acyclovir par mL inhibe à 50 % la reproduction du génome du virus d'Epstein-Barr dans des cellules de Raji ou des cellules lymphoblastoïdes P3HR-1 surinfectées. Le CMV est relativement résistant à l'acyclovir, les  $\text{DI}_{50}$  variant entre  $2,3 - 17,6 \mu\text{g/mL}$  (réduction des plages, fibroblastes d'embryon humain) et  $1,82 - 56,8 \mu\text{g/mL}$  (hybridation de l'ADN, fibroblastes d'embryon humain). À l'état de latence, aucun génome d'herpèsvirus humains ne s'est montré sensible à l'acyclovir.

### **Résistance**

L'exposition prolongée du virus herpès simplex (HSV) à des concentrations subinhibitrices ( $0,1 \mu\text{g/mL}$ ) d'acyclovir en milieu de culture cellulaire a entraîné l'apparition de diverses souches résistantes. Cette réaction semble être attribuable à la « sélection » de virus à l'état naturel qui présentent une sensibilité relativement faible à l'acyclovir. De telles souches ont été observées dans le cadre de plusieurs essais cliniques, dans des isolats d'avant-traitement.

On a décrit deux mécanismes de résistance où la thymidine-kinase virale (nécessaire à l'activation de l'acyclovir) entre en jeu. Le premier consiste en la sélection de mutants présentant une carence en thymidine-kinase et ne provoquant qu'une faible activité enzymatique, voire aucune, suivant l'infection. Le deuxième consiste en la sélection de mutants à spécificité de thymidine-kinase d'un substrat modifié, capables de phosphoryler le nucléoside naturel, la thymidine, mais pas l'acyclovir. La majorité des virus moins sensibles observés *in vitro* accusent une carence en thymidine-kinase et, de ce fait, ils ont un pouvoir infectieux et pathogène réduit et risquent moins d'entrer en latence chez les animaux.

Toutefois, on a constaté que la résistance du HSV à l'acyclovir, observée chez un patient immunodéprimé ayant reçu une greffe de moelle osseuse et suivi un traitement prolongé à l'acyclovir, était imputable à un isolat clinique dont la thymidine-kinase était normale, mais qui présentait une ADN-polymérase modifiée. Ce troisième mécanisme de résistance touchant l'ADN-polymérase du virus herpès simplex s'explique par la sélection de mutants qui encodent une enzyme modifiée, laquelle est résistante à l'effet d'inactivation de l'acyclovir triphosphate.

La résistance du virus zona-varicelle à l'acyclovir semble se manifester selon les mêmes mécanismes que ceux qui sont associés au virus herpès simplex.

À noter cependant qu'une recherche clinique limitée n'a révélé aucun signe de modification significative de la sensibilité *in vitro* du virus zona-varicelle durant le traitement à l'acyclovir, et

ce, malgré que des mutants résistants du virus puissent être isolés *in vitro* de manière analogue au virus herpès simplex. L'analyse d'un petit nombre d'isolats cliniques prélevés de patients ayant reçu de l'acyclovir ou un placebo par voie orale dans le cadre d'un traitement contre le zona aigu semble indiquer que l'émergence *in vivo* de mutants résistants du virus zona-varicelle est peu fréquente. L'administration prolongée d'un traitement par l'acyclovir à des patients grandement immunodéprimés souffrant du syndrome d'immunodéficience acquise et d'une infection sévère au virus zona-varicelle peut donner lieu à une résistance.

La résistance croisée à d'autres antiviraux se produit *in vitro* avec des mutants résistants à l'acyclovir. Les mutants du virus herpès simplex qui sont résistants à l'acyclovir en raison de l'absence de thymidine-kinase virale présentent une résistance croisée à d'autres agents phosphorylés par la thymidine-kinase herpès virus (p. ex., bromovinyl-désoxyuridine, ganciclovir et les nucléosides 2'-fluoropyrimidine, tels que 2'-fluoro -5-iodoarabinosylcytosine (FIAC).

La réaction clinique au traitement par l'acyclovir est ordinairement bonne chez les patients au système immunitaire normal chez qui on a isolé, avant, pendant ou après le traitement, des souches herpès virus ayant une sensibilité réduite à l'acyclovir. Par contre, on a constaté que la résistance du HSV est plus fréquente dans certains groupes de patients, notamment les sujets sévèrement immunodéprimés (surtout les receveurs d'une greffe de moelle osseuse) et ceux recevant un traitement suppressif à long terme; cette résistance peut ou non accompagner une faible réaction au traitement. On doit pouvoir reconnaître la possibilité que se manifestent des virus moins sensibles lorsqu'on traite ces patients, et on recommande de surveiller la sensibilité des isolats cliniques prélevés chez ces sujets.

En bref, le rapport quantitatif entre la sensibilité *in vitro* du virus herpès simplex et du virus zona-varicelle à l'acyclovir, et la réaction clinique au traitement n'a pas été clairement défini chez l'humain. Des méthodes d'évaluation de la sensibilité virale devront être utilisées afin d'établir une corrélation plus précise entre la sensibilité du virus *in vitro* et la réaction clinique au traitement par l'acyclovir.

## PHARMACOLOGIE

L'acyclovir sodique administré par perfusion intraveineuse d'une (1) heure chez des adultes, à raison de 5 mg/kg [environ 250 mg/m<sup>2</sup> de surface corporelle (SC)] toutes les 8 heures, donne lieu à des concentrations maximale et minimale moyennes à l'état d'équilibre respectivement de 9,8 µg/mL et de 0,7 µg/mL.

Des concentrations comparables sont obtenues chez les patients pédiatriques de plus d'un (1) an suivant l'administration par voie intraveineuse de doses de 250 mg/m<sup>2</sup> de SC toutes les 8 heures. Les concentrations obtenues dans le liquide céphalo-rachidien sont environ 50 % des valeurs plasmatiques. Le taux de liaison aux protéines plasmatiques est relativement faible (de 9 à 33 %), et on ne prévoit pas d'interactions médicamenteuses dues au déplacement du médicament de son site de liaison.

L'excrétion rénale du médicament à l'état inchangé par filtration glomérulaire et sécrétion tubulaire

est la principale voie d'élimination de l'acyclovir, soit entre 62 et 91 % de la dose marquée au  $^{14}\text{C}$  administrée par voie intraveineuse chez l'humain. La 9-[(carboxyméthoxy)méthyl]guanine est le seul métabolite urinaire important. Une quantité minime du médicament est récupérée dans les fèces et le  $\text{CO}_2$  expiré, et aucune donnée ne donne à penser qu'il se produit une rétention tissulaire.

La demi-vie et la clairance corporelle totale de l'acyclovir administré par perfusion intraveineuse dépendent de la fonction rénale (voir ci-dessous).

Clairance de la créatinine (mL/min/1,73 m <sup>2</sup> de MC*)	Demi-vie (h)	Clairance corporelle totale (mL/min/1,73 m <sup>2</sup> de MC*)
> 80	2,4	332
50 à 80	2,9	251
15 à 50	3,7	185
0 (anurique)	18	26

\*SC = surface corporelle

La demi-vie et la clairance corporelle totale de l'acyclovir administré par perfusion intraveineuse chez les enfants de plus d'un (1) an sont semblables à celles observées chez des adultes ayant une fonction rénale normale. L'insuffisance d'informations ne permet pas de définir de manière complète la pharmacocinétique de l'acyclovir administré par perfusion intraveineuse chez les nouveau-nés prématurés.

#### Concentrations plasmatiques d'acyclovir observées chez les nouveau-nés

Dose	5 mg/kg, toutes les 8 h	10 mg/kg, toutes les 8 h	15 mg/kg, toutes les 8 h
Conc. maximales moyennes	30 $\mu\text{M} \pm 9,9$ équivalent à 6,75 $\mu\text{g/mL}$	61,2 $\mu\text{M} \pm 18,3$ équivalent à 13,8 $\mu\text{g/mL}$	86,1 $\mu\text{M} \pm 23,5$ équivalent à 19,4 $\mu\text{g/mL}$
Conc. minimales moyennes	5,3 $\mu\text{M} \pm 3,4$ équivalent à 1,19 $\mu\text{g/mL}$	10,1 $\mu\text{M} \pm 8,4$ équivalent à 2,27 $\mu\text{g/mL}$	13,8 $\mu\text{M} \pm 11,1$ équivalent à 3,1 $\mu\text{g/mL}$

#### Principaux paramètres pharmacocinétiques chez les nouveau-nés

$\text{Cl}_{\text{tot}}$ (mL/min/1,73 m <sup>2</sup> )	105 $\pm$ 42
$t_{1/2}$ (h)	4,05 $\pm$ 1,22
$\text{Vd}_{\text{éq}}$ (L/1,73 m <sup>2</sup> )	28,8 $\pm$ 9,3

#### Principaux paramètres pharmacocinétiques chez les patients en insuffisance rénale terminale

$t_{1/2}$ terminale (h)	-	19,5 ± 5,9
$V_1$ (L/1,73 m <sup>2</sup> )	-	15,3 ± 8,1
$Vd_{eq}$ (L/1,73 m <sup>2</sup> )	-	41,2 ± 2,3
$V_1/Vd_{eq} \times 100$ (%)	-	37 ± 19,9
$Cl_{tot}$ (mL/min/1,73 m <sup>2</sup> )	-	28,6 ± 9,5
Kél (L/h)	-	0,15 ± 0,09
$t_{1/2}$ d'élimination terminale (h)	-	5,73 ± 0,85
Coefficient d'extraction (dialyse)	-	0,45 ± 0,12

### Posologie de l'acyclovir chez les patients en insuffisance rénale terminale (IRT)

	Modification de la posologie	Modification de l'intervalle d'administration
Dose de charge	37 % de la posologie standard* (93 à 185 mg/m <sup>2</sup> )	Dose standard complète (250 à 500 mg/m <sup>2</sup> )
Dose d'entretien	14 % de la posologie standard toutes les 8 h (35 à 70 mg/m <sup>2</sup> )	Dose standard complète toutes les 48 h (250 à 500 mg/m <sup>2</sup> )
Après séance de dialyse	60 à 100 % de la dose de charge	60 à 100 % de la dose standard
Avantages possibles	Minimise les fluctuations entre les pics et les creux	Moindre fréquence d'administration

\* Posologie standard d'acyclovir (patients à la fonction rénale normale)  
= 250 à 500 mg/m<sup>2</sup> initialement et toutes les huit heures.

## TOXICOLOGIE

### Études de toxicité aiguë

**Souris et rats adultes :** la toxicité aiguë de l'acyclovir administré par voie orale a été déterminée comme suit :

Espèce	Sexe	Voie	DL <sub>50</sub> (mg/kg)	Interv. de confiance à 95 %	Signes
Souris	M	Orale	> 10 000	-	Aucun
Rat	M	Orale	> 20 000	-	Aucun
Souris	M	I.V.	405	-	Ataxie, dépression
Rat	M	I.V.	> 600	-	Aucun
Souris	M	IP	1 454	1 323 - 1 662	Sédation
Souris	F	IP	999	670 - 1 364	Sédation
Rat	M	IP	1 305	512 - 1 733	Sédation
Rat	F	IP	1 210	504 - 1 580	Sédation

**Rats nouveau-nés, rats immatures et rats adultes :** des groupes de 10 rats mâles et

10 rats femelles Charles River CD (Sprague-Dawley) ont reçu une dose unique élevée (cinq niveaux différents) d'une solution (pH de 11,0) d'acyclovir par injection sous-cutanée à l'âge de 3, 10, 28 et 71 jours. Ils ont été en observation pendant 14 jours après le traitement. Les valeurs de la DL<sub>50</sub> ont été calculées selon la méthode de Litchfield et Wilcoxon. Cette étude a été effectuée afin de déterminer si l'âge au moment de l'exposition influait sur la toxicité aiguë de l'acyclovir.

Âge lors du traitement	DL <sub>50</sub> (mg/kg de poids corporel)	
	Mâles	Femelles
3 jours	1 070	1 281
10 jours	790	496
28 jours	678	750
71 jours	650	1 477

Il n'y avait aucun rapport visible entre la durée de survie après le traitement et l'âge lors du traitement. Parmi les signes cliniques observés chez les rats traités à l'âge de 3 jours et de 10 jours, on comptait : ampoules rouges et violettes, régions bleutées, croûtes, cicatrices, peau nécrosée ou recouverte d'escarres, plaies ouvertes, tremblements du corps et alopecie. Chez les rats soignés à l'âge de 28 et 71 jours, on a observé une activité réduite, des larmoiments, une fermeture des paupières, une matière rouge-brun ou brune autour des yeux, du museau et de la gueule, une ataxie, une prostration, des tremblements du corps, des taches d'urine autour de la région abdominale ou génitale, des régions nécrosées ou couvertes de croûtes et de l'alopecie.

### **Étude de toxicité orale subchronique**

**Souris :** quatre groupes comprenant chacun 28 souris mâles et 28 souris femelles Charles River CD-1 (ICR) ont reçu, par voie orale, au moyen d'une sonde gastrique, des doses de suspension d'acyclovir pendant 33 jours. Les doses quotidiennes s'élevaient à 0, 50, 150 et 450 mg/kg. Des épreuves hématologiques et cliniques de laboratoire ont été effectuées chez 8 souris mâles et 8 souris femelles supplémentaires par groupe (aux mêmes doses) après les première et quatrième semaines d'administration et pendant la troisième semaine suivant la fin du traitement.

Les concentrations plasmatiques du produit ont été mesurées à partir d'échantillons réunis, prélevés de 4 souris mâles et de 4 souris femelles supplémentaires de chaque groupe pendant la 1<sup>re</sup>, la 15<sup>e</sup> et la 30<sup>e</sup> journée d'administration.

Selon les expériences préliminaires effectuées sur des rats et des souris, la forte dose de 450 mg/kg a été choisie pour produire, d'une manière pratique, les concentrations plasmatiques les plus élevées du produit par administration orale chez des rongeurs. Les concentrations plasmatiques moyennes du produit variaient entre environ 3,4 µg/mL (à la dose la plus faible) et 11,0 µg/mL (à la dose la plus élevée) une heure après l'administration orale.

Aucun changement qui puisse être attribué de manière catégorique à l'administration d'acyclovir n'a été enregistré sur les plans de la santé, du taux de croissance, de l'hématologie et des épreuves de laboratoire cliniques.

Des examens macroscopiques et histopathologiques effectués à la fin de la période d'administration chez 16 rats mâles et 16 rats femelles provenant des groupes qui recevaient des

doses élevées et des groupes témoins n'ont rien révélé d'important.

### **Études de toxicité subchronique (voie intraveineuse)**

**Chiens beagles :** lors d'une étude de 31 jours auprès de chiens beagles, l'acyclovir a été administré par injection intraveineuse rapide ou bolus à des groupes de 8 chiens (4 mâles et 4 femelles) à des doses biquotidiennes de 0, 25, 50 et 100 mg/kg.

Les doses de 50 ou 100 mg/kg administrées en bolus deux fois par jour dans cette étude ont donné lieu à des concentrations plasmatiques très élevées du médicament [valeurs moyennes de l'ordre de 45 à 254 µg/mL (200 à 1 127 µM)], qui se sont révélées nettement très toxiques, tandis que la dose biquotidienne de 25 mg/kg s'est traduite par des concentrations plasmatiques considérablement plus faibles de l'ordre de 22,5 à 45 µg/mL (100 à 200 µM) et n'a été que légèrement toxique, soit une dose presque « sans effet ».

<u>Concentrations d'acyclovir</u>	
Dose (mg/kg) 2 f.p.j., s.c.	Concentration plasmatique (µg/mL)
25 n = 8	22,5 - 45
50 n = 8	45 - 254
100 n = 8	45 - 254

Les principaux changements liés au médicament observés à la dose biquotidienne de 25 mg/kg incluaient les suivants : haut-le-cœur et/ou vomissements rares, tachycardie occasionnelle, débit urinaire accru accompagné de réduction de la densité. Ces effets étaient réversibles et indétectables 15 jours après l'arrêt du traitement.

Aux doses de 50 et 100 mg/kg deux fois par jour, les autres effets indésirables observés incluaient notamment dyspnée, hypothermie, hypoactivité, diarrhée sanglante ou mucoïde, déshydratation, perte de poids corporel, anorexie partielle à totale, leucopénie, légères augmentations du taux de protéines sériques totales, d'albumine, de créatinine et d'azote uréique, ainsi que « forts » battements de cœur occasionnels.

Les effets jugés directement liés aux doses biquotidiennes de 50 et 100 mg/kg du médicament comprenaient les suivants : haut-le-cœur et vomissements rares, tachycardie occasionnelle et « forts » battements de cœur, débit urinaire accru, gouttelettes hyalines dans le cytoplasme des cellules du parenchyme du foie, légères altérations cytologiques au niveau de la muqueuse du côlon et toxicité rénale. Les autres changements, jugés comme secondaires aux effets de l'administration du médicament aux doses de 50 et 100 mg/kg deux fois par jour, étaient les suivants : atrophie des muscles squelettiques et des tissus adipeux, déplétion des lipides du cortex des glandes surrénales et aspermie testiculaire.

Plus graves encore, les cas suivants ont été observés : tremblements, cyanose, prostration et mort précoce (dans les 8 premiers jours de l'étude).

Lors d'une deuxième étude du médicament administré par voie intraveineuse, deux groupes de 8 chiens beagles de race pure (4 mâles et 4 femelles) ont reçu l'acyclovir injectable à raison de

doses bolus de 10 ou 20 mg/kg, deux fois par jour, pendant 31 ou 32 jours consécutifs. Un groupe comparable de chiens, servant de témoins, recevait des doses d'une solution de NaCl à 0,9 %.

Les signes de toxicité se sont limités à une augmentation de la consommation d'eau et du volume urinaire qui s'est produite à la fin de la période de traitement chez les chiens recevant 20 mg/kg deux fois par jour. L'augmentation de la consommation d'eau et du volume urinaire était accompagnée d'une diminution de la densité et de l'osmolalité urinaires. Aucun changement inhabituel n'a été observé dans l'état général de santé des animaux.

Les concentrations plasmatiques d'acyclovir étaient similaires les 1<sup>er</sup> et 29<sup>e</sup> jours d'administration du médicament. Les concentrations plasmatiques moyennes du produit 0,5 heure après l'administration de l'une ou l'autre dose quotidienne étaient de 37 et de 79 µM dans les groupes recevant respectivement la dose faible et la dose élevée.

**Rats :** des groupes de 15 rats mâles et 15 rats femelles Sprague-Dawley ont reçu un bolus quotidien unique de 20, 40 ou 80 mg/kg d'acyclovir par injection intraveineuse pendant 20 ou 21 jours consécutifs. Le produit était composé de solution isotonique à 2 % dans du chlorure de sodium stérile à 0,4 %. Un groupe témoin a reçu des injections quotidiennes uniques d'une solution à 0,9 % de chlorure de sodium.

À toutes les doses, la plupart sinon tous les rats souffraient de lésions rénales qui semblaient être causées par l'obstruction du néphron distal par des cristaux précipités du médicament. La gravité des lésions s'est intensifiée avec l'augmentation de la dose et correspondait à l'effet escompté d'une obstruction du néphron distal, soit dilatation tubulaire rétrograde ainsi que dégénérescence, nécrose et régénération de l'épithélium. Cela s'accompagnait d'une composante inflammatoire interstitielle dans le cas de certains des reins plus gravement touchés.

Des cristaux biréfringents étaient visibles dans certaines parties des reins qui avaient été gelées avant la fixation au formol, mais ils n'ont pas été observés dans les coupes de paraffine conventionnelle, car ils étaient solubilisés par les procédés de fixation au formol et de coloration.

L'examen des sections des reins de rats 15 jours après la dernière administration a révélé des changements résiduels bénins uniquement, sinon l'absence totale de lésion. Cela dénote bien la réversibilité de la néphropathie obstructive.

Les effets cliniques jugés en lien avec le médicament sont les modifications d'ordre rénal. Ces changements étaient comme suit : diminution du poids corporel, taux élevés d'azote uréique, augmentation de la consommation d'eau et du volume urinaire, et augmentation du poids absolu et relatif des reins.

Dans une deuxième étude chez le rat, des doses plus faibles du médicament ont été administrées dans le but d'établir l'absence d'effet. Il s'agissait de doses de 5 ou 10 mg/kg/jour, administrées en une seule injection bolus par voie intraveineuse pendant 19 ou 20 jours consécutifs; par ailleurs, un groupe témoin recevait une solution de chlorure de sodium à 0,9 %.

La seule anomalie observée chez les rats, qui a été jugée comme nettement associée à l'administration du médicament, a été une dilatation très légère des tubules rénaux distaux

survenue chez 2 des 20 animaux du groupe ayant reçu la dose de 5 mg/kg. Cette dilatation a été attribuée à la récente, et peut-être encore présente, obstruction des néphrons distaux causée par des cristaux de médicament (même ceux-ci n'étaient pas présents dans les coupes en paraffine pour les raisons exposées ci-dessus).

### **Études de toxicité chronique**

**Étude à vie de toxicité orale chez des rats à qui on a administré de l'acyclovir par intubation gastrique :** des rats Charles River CD (Sprague-Dawley) ont reçu des suspensions d'acyclovir par gavage. Il y avait 50 mâles et 50 femelles pour chacun des niveaux posologiques suivants : 0, 50, 150 et 450 mg/kg. Après 30 et 52 semaines de traitement, 10 mâles et 10 femelles de chaque groupe ont été autopsiés. On a continué de donner de l'acyclovir chaque jour aux autres rats jusqu'à ce que la mortalité naturelle à l'intérieur de chaque groupe fasse baisser la population à environ 20 % du nombre d'animaux présents dans chaque groupe au début de l'étude. Par la suite, tous les rats ont été tués et autopsiés. Chez les mâles, on a atteint ce pourcentage à la 110<sup>e</sup> semaine; chez les femelles, à la 122<sup>e</sup>. Des tissus des rats témoins et de ceux du groupe à dose élevée ont été examinés au microscope classique. On a également observé à l'aide de cet instrument les tissus des rats des groupes à dose faible et intermédiaire qui présentaient des amas, des nodules ou des lésions anormales. Des tissus fixés de rats trouvés morts au cours des 52 premières semaines de l'étude ont également été examinés au microscope classique.

Aucun signe de toxicose n'a été observé. Des échantillons de plasma ont été recueillis 1,5 heure après l'administration du produit les 7<sup>e</sup>, 90<sup>e</sup>, 209<sup>e</sup>, 369<sup>e</sup>, 771<sup>e</sup> (mâles seulement) et 852<sup>e</sup> (femelles seulement) jours du traitement. Les taux plasmatiques moyens obtenus chez les mâles qui recevaient des doses élevées (450 mg/kg/jour) aux temps indiqués plus haut se présentaient comme suit : 1,54, 1,63, 1,39, 1,60 et 1,70 µg/mL (6,84, 7,26, 6,17, 7,10 et 7,56 µM). Les concentrations plasmatiques moyennes décelées les jours indiqués ci-dessus chez les mâles et les femelles des groupes à dose élevée étaient respectivement de 1,76, 2,38, 2,12, 1,71 et 1,81 µg/mL (7,82, 10,58, 9,44, 7,62 et 8,03 µM). Après un (1) an de traitement, les taux plasmatiques mesurés chez les mâles et les femelles de tous les groupes étaient généralement comparables aux concentrations mesurées plus tôt. Les résultats des examens de laboratoire (hématologie, biochimie et ophtalmoscopie entre autres) étaient tous dans les limites de la normale. Aucune lésion macroscopique ou microscopique induite par le médicament n'a été décelée, et nulle observation ne porte à croire que l'acyclovir ait nui à la survie des animaux. Parmi les quelque relativement rares animaux trouvés morts ou moribonds durant les 52 premières semaines de l'étude, la plupart ont été victimes d'une erreur d'administration, comme en témoignent les observations post-mortem, à savoir : épanchement pleural, pneumonie ou médiastinite causés par une perforation de l'œsophage.

**Étude à vie sur l'action cancérigène orale chez les rats :** aucun signe de toxicose n'a été observé chez les rats Charles River CD (Sprague-Dawley) (100 rats de chaque sexe par groupe posologique) à qui on a administré, par gavage oral, de l'acyclovir à des doses de 50, 150 et 450 mg/kg au cours d'une étude à vie sur l'action cancérigène orale. Les taux plasmatiques moyens obtenus à partir de doses élevées chez des mâles 1,5 heure après l'administration, à différents temps d'échantillonnage au cours de l'étude, étaient de 1,54, 1,63, 1,39, 1,60 et 1,70 µg/mL (6,84, 7,26, 6,17, 7,10 et 7,56 µM) respectivement aux 7<sup>e</sup>, 90<sup>e</sup>, 209<sup>e</sup>, 369<sup>e</sup> et 771<sup>e</sup> jours. Les

valeurs moyennes correspondantes pour les femelles ayant reçu des doses élevées étaient de 1,76, 2,38, 2,12, 1,71 et 1,81 µg/mL (7,82, 10,58, 9,44, 7,62 et 8,03 µM) respectivement aux 7<sup>e</sup>, 90<sup>e</sup>, 209<sup>e</sup>, 369<sup>e</sup> et 852<sup>e</sup> jours.

Les résultats des examens de laboratoire (hématologie, biochimie, analyse d'urine, masse corporelle, consommation de nourriture et ophtalmoscopie entre autres) étaient tous dans les limites de la normale. Aucune lésion macroscopique ou microscopique induite par le médicament n'a été décelée, et nulle observation ne porte à croire que l'acyclovir ait nui à la survie des animaux ou ait eu un effet sur la chronologie de l'apparition de tumeurs ou sur le nombre de néoplasmes bénins ou malins.

**Étude à vie sur le pouvoir carcinogène de l'acyclovir chez la souris :** Aucun signe de toxicose n'a été observé chez les souris Charles River CD-1 (ICR) ayant reçu de l'acyclovir par gavage à des doses de 50, 150 ou 450 mg/kg/jour (115 souris/sexe/groupe de traitement) dans le cadre

d'une étude à vie sur le pouvoir carcinogène. Les concentrations plasmatiques moyennes mesurées 1,5 heure après l'administration de la plus forte dose chez les mâles les 90<sup>e</sup>, 365<sup>e</sup> et 541<sup>e</sup> jours du traitement étaient de 2,83, 3,17 et 1,82 µg/mL (12,59, 14,10 et 8,10 µM) respectivement. Chez les femelles, les valeurs moyennes correspondantes étaient de 9,81, 5,85 et 4,0 µg/mL (43,60, 26,0 et 17,79 µM) respectivement.

Les résultats cliniques des examens de laboratoire (hématologie, masse corporelle et consommation de nourriture entre autres) étaient tous dans les limites de la normale. Aucune lésion macroscopique ou microscopique induite par le médicament n'a été décelée. La survie des femelles ayant reçu 150 ou 450 mg/kg a été considérablement plus longue que celle des femelles du groupe témoin, tandis que chez les mâles, animaux traités et animaux témoins ont survécu à peu près autant de jours. L'acyclovir n'a pas eu un d'effet sur la chronologie de l'apparition de tumeurs ou sur le nombre de néoplasmes bénins ou malins.

**Étude sur la toxicité orale à court terme (12 mois) de l'acyclovir chez le chien :** des beagles de race pure ont reçu des doses d'acyclovir de 0, 15, 45 ou 150 mg/kg/jour chaque jour pendant les deux premières semaines d'une étude d'un (1) an. Les groupes tests comptaient 9 mâles et 9 femelles chacun. Les doses ont été administrées sous forme de capsules de gélatine contenant la quantité de médicament appropriée. Comme les chiens recevaient le médicament trois fois par jour, les doses individuelles, espacées également dans le temps, étaient de 0, 5, 15 et 50 mg/kg. Les doses de 45 et 150 mg/kg ont produit de la diarrhée, des vomissements ainsi qu'une diminution de la consommation de nourriture et du poids chez les mâles et chez les femelles durant les deux premières semaines de l'étude. C'est pour cette raison qu'à la troisième semaine de l'étude, on a décidé de réduire les niveaux posologiques moyen et élevé à 30 et 60 mg/kg/jour (10 et 20 mg/kg 3 f.p.j.). La dose faible de 15 mg/kg/jour (5 mg/kg 3 f.p.j.) n'a pas été changée. Les chiens ayant reçu 60 mg/kg/jour ont vomi et ont eu de la diarrhée à l'occasion, mais ils n'ont pas été affectés davantage pendant le reste de l'étude et leur gain pondéral et leur consommation de nourriture se comparaient à ceux des chiens témoins.

Durant la toxicose produite par l'administration de doses élevées d'acyclovir, les concentrations plasmatiques du médicament étaient probablement très élevées [comme en témoignent les valeurs

initiales moyennes déterminées une heure après la troisième dose le premier jour de l'étude, c.-à-d. 24,0 µg/mL (106,6 mcM) chez les mâles ayant reçu la dose élevée et 17,4 mg/mL (77,2 µM) chez les femelles ayant reçu la dose élevée]. Les concentrations plasmatiques étaient toujours élevées le jour 15 chez les chiens ayant reçu la dose élevée (150 mg/kg/jour), mais elles ont diminué par la suite lors de la réduction de la posologie. Les valeurs mesurées après 12 mois de traitement étaient généralement comparables aux valeurs enregistrées après 1, 3 et 6 mois. Par conséquent, le fait d'administrer l'acyclovir pendant une période prolongée ne semble pas augmenter le métabolisme du médicament.

Au cours de la 13<sup>e</sup> semaine, certains mâles et certaines femelles des groupes ayant reçu les doses moyenne et élevée présentaient les signes suivants : sensibilité des membres antérieurs, fragmentation et chute des griffes. La régénération des griffes perdues a commencé quelques semaines plus tard. Les griffes étaient régénérées six mois plus tard (période à laquelle trois mâles et trois femelles de chaque groupe ont été tués pour un sacrifice intermédiaire) et, vers la fin de l'étude, elles étaient, en général, en bon état. Aucun effet n'a été constaté sur les pattes ni les griffes des chiens qui recevaient des doses faibles (15 mg/kg/jour).

C'est un fait reconnu qu'une lésion de l'épithélium dermique qui produit la kératine des griffes peut se solder par une interruption de la production de kératine ou par la production de kératine anormale. La toxicose temporaire provoquée par l'administration de fortes doses d'acyclovir (45 et 150 mg/kg/jour) durant les deux premières semaines de l'étude peut avoir affecté cet épithélium. En cas d'effet transitoire sur l'épithélium dermique (possiblement relié aux effets directs ou secondaires à l'affection induite par le médicament au cours des deux premières semaines de l'étude), la perte subséquente des griffes pourrait être une séquelle. Aucun effet distinct n'a été observé sur d'autres tissus produisant ou contenant de la kératine. Il faut souligner que l'altération des griffes semble avoir été causée par la toxicose transitoire consécutive à l'administration de doses de 50 et 150 mg/kg/jour durant les deux premières semaines de l'étude et non par les doses de 30 et 60 mg/kg/jour administrées ultérieurement.

Le médicament n'a entraîné aucune variation importante des résultats des épreuves biochimiques et électrocardiographiques, non plus que des analyses d'urine, effectuées aux intervalles appropriés durant l'étude. L'albumine sérique et les protéines totales ont par contre légèrement diminué chez les chiens ayant reçu les doses de 30 et 60 mg/kg/jour pendant 6 et 12 mois, mais tous ces paramètres sont demeurés dans les limites de la normale.

Exception faite d'une altération résiduelle de la vieille kératine du bout des griffes, le microscope optique n'a révélé aucun signe d'effet du médicament sur tous les tissus examinés. Aucune variation importante du poids des organes n'a non plus été constatée à l'autopsie. Par conséquent, l'administration d'acyclovir pendant 1 an a été bien tolérée jusqu'à concurrence de 60 mg/kg/j. La « dose sans effet » a été évaluée à 15 mg/kg/jour (5 mg/kg 3 f.p.j.); cependant, le seul effet indésirable à 30 ou 60 mg/kg/jour a été une altération des griffes et des coussinets digitaux (30 et 60 mg/kg/jour) et de légers effets gastro-intestinaux (60 mg/kg/jour).

### **Études sur la reproduction**

**Tératologie – Rats :** des rates A.R.S. Sprague-Dawley gravides ont reçu des doses d'acyclovir de 0,0, 6,0, 12,5 ou 25,0 mg/kg de poids corporel, administrées par injection sous-cutanée deux fois par jour durant l'organogenèse (du 6<sup>e</sup> au 15<sup>e</sup> jour de la gestation).

Les critères utilisés pour évaluer les effets du composé étaient les suivants : poids corporel de la mère, gain pondéral, apparence et comportement, taux de survie, altération des yeux, taux de grossesses et données sur la reproduction. La viabilité et le développement de la descendance ont également été évalués.

Outre les mesures ci-dessus, les concentrations du médicament ont été mesurées dans des échantillons de sang maternel, de liquide amniotique et de fœtus prélevés chez certains animaux désignés qui ont été sacrifiés 1 heure après avoir reçu leur première dose le 15<sup>e</sup> jour de l'étude. Les valeurs moyennes obtenues avec ces échantillons sont énumérées ci-après :

Dose mg/kg 2 f.p.j., s.c.	Plasma (µg/mL)	Concentrations d'acyclovir	
		Liquide amniotique (µg/mL)	Homogénat fœtal ng/g (nmoles/g de poids mouillé)
6 n = 7	0,26 ± 0,09	0,39 ± 0,06	0,704 (3,13 ± 0,50)
12,5 n = 5	0,69 ± 0,20	1,13 ± 0,22	0,963 (4,28 ± 0,67)
25 n = 5	1,59 ± 0,55	2,0 ± 0,53	1,994 (8,64 ± 2,33)

Les valeurs plasmatiques obtenues représenteraient environ 30 % des taux plasmatiques initiaux, selon la demi-vie plasmatique chez les rongeurs.

Aucun effet attribuable à l'administration d'acyclovir n'a été observé lorsqu'on a comparé le poids des mères, leur apparence et leur comportement, leur taux de survie et de gestation, ou le taux d'implantations. En outre, aucune différence attribuable au composé n'a été observée non plus quant à la taille des fœtus, leur sexe ou leur développement.

Bien que l'incidence de résorptions et la viabilité des fœtus fussent dans les limites de variation normales dans tous les groupes, on a observé une incidence de résorptions légèrement plus élevée chez les animaux du groupe à dose élevée sacrifiés les 15<sup>e</sup> et 19<sup>e</sup> jours de la gestation; toutefois, aucune relation dose-effet n'a fini par ressortir.

Par conséquent, l'acyclovir ne s'est pas révélé tératogène ni embryotoxique lorsqu'on l'a administré à des rates à des doses allant jusqu'à 50 mg/kg de poids corporel par jour pendant l'organogénèse.

Dans une deuxième étude, des rats Wistar femelles (35/groupe) ont reçu de l'acyclovir à raison de 0, 6,25, 12,5 ou 25 mg/kg deux fois par jour par voie sous-cutanée du jour 7 au jour 17 de la gestation. Les deux tiers des mères ont été sacrifiés au jour 20 de la gestation et les autres ont pu mettre bas normalement et s'occuper de leurs rejetons. On n'a observé aucune toxicité maternelle pendant la période de traitement ou par la suite qui pourrait être attribuée au traitement, bien qu'une augmentation de la consommation d'eau ait été notée dans le groupe recevant la dose élevée. Cette dernière observation n'était pas corrélée à des effets indésirables chez les mères ou leur progéniture.

Aucun aspect de la gestation ou du développement embryonnaire ou foetal n'a été significativement différent de ceux des animaux témoins dont la gestation avait été interrompue au jour 20.

Parmi les femelles ayant mis bas à terme, la durée de gestation a été significativement plus longue chez celles soumises à la dose la plus élevée comparativement aux témoins. Cela, cependant, peut avoir été artéfactuel car 1) les valeurs témoins étaient inférieures aux valeurs historiques du laboratoire et 2) rien n'indique que ces gestations comme d'autres gestations traitées de façon similaire aient été négativement affectées par ce dosage d'acyclovir.

Les rejetons des mères qui avaient été traitées n'ayant pas différé des rejetons témoins, leur développement ultérieur s'est déroulé dans les limites de la normale, même si certaines performances dans le E-labyrinthe ont été statistiquement légèrement élevées, mais pas de façon dose-dépendante. Distension du bassinnet du rein et anomalies structurales occasionnelles ont été observées dans tous les groupes, mais leur incidence n'était pas dose-dépendante. Il se peut qu'il y ait une tendance à la dilatation des bassinets rénaux plus fréquente dans les groupes où la croissance postnatale est dans une certaine mesure ralentie, mais cela n'est ni constant, ni lié à la dose, ni statistiquement significatif.

Pour résumer, aucune preuve acceptable ne montre que le traitement des rates gravides pendant toute la période de l'organogenèse à raison des niveaux posologiques d'acyclovir relatés ici ait causé des écarts par rapport à la gamme des valeurs normales établies pour le développement embryonnaire, fœtal ou postnatal.

Dans une troisième étude, des groupes de 25 rates Sprague-Dawley gravides ont reçu des doses sous-cutanées de 6,25, 12,5 ou 25 mg/kg d'acyclovir, deux fois par jour, à partir du 6<sup>e</sup> jour de gestation jusqu'au 15<sup>e</sup> jour de gestation. Les fœtus ont été retirés par césarienne le 20<sup>e</sup> jour de gestation, puis examinés à la recherche d'anomalies flagrantes, viscérales et squelettiques. Aucun signe de tératogenèse ou autre toxicité fœtale n'a été observé. Les signes cliniques chez les mères consistaient en de légères baisses du poids corporel à tous les niveaux posologiques ainsi qu'en des croûtes cutanées et de l'alopecie (incidence, taille et durée des croûtes liées à la dose). La concentration moyenne d'acyclovir mesurée dans les échantillons de plasma prélevés chez les mères ayant reçu une forte dose 15 minutes après la deuxième dose administrée le 6<sup>e</sup> jour de gestation était de 80 µM (18 µg/mL).

**Tératologie – Lapins :** une étude de tératologie essentiellement identique à celle menée chez le rat a été effectuée chez le lapin blanc de Nouvelle-Zélande, à ceci près que le médicament a été administré du 6<sup>e</sup> au 18<sup>e</sup> jour de la gestation. De plus, fœtus, liquide amniotique et échantillons de sang maternel ont été prélevés le 18<sup>e</sup> jour plutôt que le quinzième.

On n'a observé aucun signe de toxicité maternelle, quelle qu'ait été la dose, mais il y avait une baisse statistiquement significative ( $p < 0,05$ ) de la capacité de nidation dans le groupe qui recevait des doses élevées. Bien qu'on ait signalé quelques monstres fœtaux dans l'étude (dans le groupe témoin comme chez les animaux traités), cela n'avait aucun lien apparent avec le traitement. Il y avait cependant une réaction apparemment reliée à la dose quant au nombre de fœtus dotés de côtes surnuméraires. Aucun effet semblable n'a été observé au cours de l'étude tératologique sur les rats (voir plus haut) ni dans une expérience de reproduction-fertilité chez les souris.

On a noté la présence de concentrations d'acyclovir dans les échantillons de plasma et de liquide

amniotique, aussi bien que dans des homogénats de tissus fœtaux. Tous les échantillons ont été prélevés une heure après l'administration de la première dose, au 18<sup>e</sup> jour de gestation. Comme en témoignent les données suivantes, les concentrations amniotiques étaient substantiellement plus élevées que les concentrations plasmatiques.

Concentrations d'acyclovir (moyenne et erreur type)

Dose mg/kg 2 f.p.j., s.c.	Plasma (µg/mL)	Liquide amniotique (µg/mL)	Homogénat fœtal ng/g (nmoles/g p/p)
6 n = 4	0,25 ± 0,03	0,89 ± 0,18	0,155 (0,69 ± 0,13)
12,5 n = 5	0,25 ± 0,05	8,03 ± 6,37	0,207 (0,92 ± 0,14)
25 n = 4	0,39 ± 0,12*	6,16 ± 4,25	0,315 (1,40 ± 0,19)

\*n = 5

**Reproduction - fertilité :** l'acyclovir ne porte pas atteinte à la fertilité ou la reproduction chez la souris (450 mg/kg/jour, p.o.) ou chez le rat (25 mg/kg/jour, s.c.). Chez les lapines traitées par voie sous-cutanée à l'acyclovir après l'accouplement, il y a eu une diminution statistiquement significative de l'efficacité de l'implantation, mais aucune diminution concomitante de la taille de la portée à la dose de 50 mg/kg/jour. Aucun effet sur l'efficacité de l'implantation n'a été observé lorsque la même dose était administrée par voie intraveineuse. L'administration intraveineuse de 100 mg/kg/jour d'acyclovir – une dose ayant un effet connu de néphropathie occlusive chez les lapines – a causé une augmentation significative des résorptions fœtales et une réduction correspondante de la taille de la portée. Aucun effet associé à la dose sur la reproduction des lapines n'a été observé à la dose maximale tolérée de 50 mg/kg/jour par voie intraveineuse. Des doses intrapéritonéales de 320 ou 80 mg/kg/jour d'acyclovir, administrées à des rats respectivement pendant 1 à 6 mois, ont entraîné une atrophie testiculaire. L'atrophie testiculaire a persisté tout au long des 4 semaines de la phase de récupération après l'administration de 320 mg/kg/jour; certains signes de reprise de la production de spermatozoïdes se sont manifestés 30 jours après l'interruption du traitement.

**Études de toxicité du développement**

**Rats nouveau-nés - Étude subchronique :** de l'acyclovir dissous dans une solution saline stérile à 0,4 % a été injecté par voie sous-cutanée à des rats nouveau-nés Charles River CD (Sprague-Dawley) pendant 19 jours consécutifs, à partir du 3<sup>e</sup> jour post-partum. Les niveaux posologiques étudiés étaient de 0, 5, 20 et 80 mg/kg de poids corporel. Il y avait 12 portées (composées chacune de cinq mâles et de cinq femelles nouveau-nés allaités par leur mère naturelle) à chaque niveau posologique. Les mères n'étaient pas traitées. Des nouveau-nés de chaque groupe ont été pris pour l'autopsie et l'évaluation microscopique d'une grande variété de tissus, y compris les yeux et plusieurs coupes du cerveau, après un traitement de 5, 12 ou 19 jours et à la suite d'une période de trois semaines sans administration (ils étaient âgés de 45 jours à ce moment-là). Des essais hématologiques (hémoglobine, hémocrite, numération des globules rouges et des globules blancs et numération globulaire différentielle) et des épreuves de laboratoire cliniques (azote uréique du sang) ont été effectués après 16 jours de traitement et répétés 18 jours après l'administration de la dernière (19<sup>e</sup>) dose.

Du sang de quelques nouveau-nés a été prélevé 30 minutes après le traitement les 1<sup>er</sup> et 9<sup>e</sup> jours et à la fin de la période d'administration pour déterminer les concentrations plasmatiques d'acyclovir. La plus grande concentration plasmatique d'acyclovir était de 99,1 µg/mL

(440,5 µM) calculée à partir d'échantillons réunis après prélèvement sur six femelles nouveau-nées ayant reçu de fortes doses (80 mg/kg) 30 minutes après l'administration de la première dose. Le traitement par l'acyclovir n'a pas augmenté le taux de mortalité durant la période néonatale.

Les rats du groupe qui recevait de faibles doses ont pris autant de poids corporel que les rats du groupe témoin. Des réductions significatives ( $p < 0,05$ ) des valeurs moyennes du poids corporel ont été notées chez les mâles et les femelles nouveau-nés qui recevaient des doses moyennes et élevées durant la période de traitement. Les rats du groupe qui recevait des doses élevées ont partiellement compensé en prenant beaucoup plus de poids que les rats du groupe témoin pendant la période de rétablissement suivant le traitement. Au 16<sup>e</sup> jour du traitement, on a enregistré une hausse minime, mais significative, de l'azote uréique du sang chez les mâles ( $p < 0,01$ ) et les femelles ( $p < 0,05$ ) nouveau-nés du groupe qui recevait de fortes doses. Cette découverte pourrait avoir une importance biologique parce qu'on a trouvé des accumulations minimales de débris nucléaires dans les canaux collecteurs et dans les anses de Henlé, prélevés des reins des nouveau-nés ayant reçu de fortes doses après 19 jours de traitement et examinés au microscope classique. C'était la seule période (et le rein était le seul organe) au cours de laquelle des effets minimes sur les systèmes de développement des organes ont été notés. Ainsi, il est clair que la dose de 5 mg/kg n'a pas provoqué d'effet indésirable et que la dose de 20 mg/kg n'a causé que des réductions minimales du gain de poids corporel.

Les examens macroscopique et microscopique n'ont pas révélé d'effet néfaste sur le développement oculaire. Il faut souligner qu'aucun signe morphologique ou fonctionnel d'effet indésirable sur le développement du cerveau et des autres parties du système nerveux central n'a été observé, ce qui distingue nettement l'acyclovir de la cytosine arabinoside, cette dernière ayant été à l'origine, a-t-on rapporté, de cas de dysplasie cérébelleuse et rétinienne marquée chez les rats nouveau-nés.

### **Études de mutagénicité et autres études à court terme**

L'acyclovir a fait l'objet d'études du potentiel mutagène dans bon nombre de systèmes *in vitro* et *in vivo*.

**Systèmes microbiens :** l'activité mutagène de l'acyclovir a été testée dans divers systèmes : test de Ames sur plaque (*Salmonella*); test de Ames modifié (avec préincubation); test de réparation de l'ADN de *E. coli* (Rosenkrantz, polA+/polA-); test sur *S. cerevisiae* D-4 (organisme eucaryote). Tous ces tests, effectués en présence comme en l'absence d'activation métabolique exogène mammalienne, ont donné des résultats négatifs.

Les essais avec *Salmonella* ont été repris à raison de concentrations extrêmement élevées, afin d'atteindre des niveaux toxiques. Avec ou sans activation métabolique mammalienne exogène, aucun effet positif n'a été observé jusqu'à concurrence de 300 mg/plaque ou 80 mg/mL.

**Systèmes mammifères :** l'activité mutagène de l'acyclovir a été éprouvée dans des cellules cultivées L5178Y de lymphomes de souris, hétérozygotes au locus de thymidine-kinase (TK), en calculant le taux ascendant de mutation de carence-TK (TK<sup>+/-</sup> → TK<sup>-/-</sup>). Des études supplémentaires ont été effectuées sur le locus HGPRT et sur le marqueur de résistance à l'ouabaïne de ces mêmes cellules. Toutes les études ont été effectuées en présence et en l'absence d'activation métabolique exogène mammifère. Le composé testé était mutagène au

locus TK en fortes concentrations (400 - 2 400 µg/mL). (En comparaison, la limite supérieure des taux plasmatiques maximums de l'acyclovir suivant l'administration par perfusion intraveineuse au niveau posologique recommandé est de 20 µg/mL) ou moins. L'acyclovir a produit une réponse négative dans le locus HGPRT et le marqueur de résistance à l'ouabaine. L'activation métabolique n'a aucunement affecté les résultats dans les locus.

Une étude de mutagénicité de l'acyclovir à chacun des trois loci (APRT, HGPRT et résistance à l'ouabaine) dans les cellules ovariennes (CHO) de hamsters chinois, avec ou sans activation métabolique exogène, a produit des résultats peu concluants; les réactions ne paraissaient pas liées à la dose.

À une concentration de 50 µg/mL (222 µM) pour un temps d'exposition de 72 heures, il a été démontré que l'acyclovir entraîne une augmentation statistiquement significative de la fréquence de la transformation morphologique des foyers à la suite du traitement *in vitro* de cellules BALB/C-3T3 en l'absence d'activation métabolique exogène. Une fois transplantés chez des souris isogéniques immunodéprimées à peine sevrées, ces foyers transformés se sont développés en tumeurs. Le diagnostic a révélé que les tissus tumoraux étaient soit des sarcomes indifférenciés, soit des lymphosarcomes.

À des concentrations de 8 à 64 µg/mL pour un temps d'exposition de 18 heures, l'acyclovir n'a pas entraîné de transformation morphologique des foyers parmi les cellules C3H/10T 1/2 traitées *in vitro* en l'absence d'activation métabolique exogène.

À des concentrations de 62,5 et de 125 µg/mL pour un temps d'exposition de 48 heures, l'acyclovir n'a provoqué aucune aberration chromosomique des lymphocytes humains cultivés en l'absence d'activation métabolique exogène. À des concentrations plus élevées – 250 et 500 mg/mL pour un temps d'exposition de 48 heures – l'acyclovir a entraîné une augmentation significative de la fréquence de fragmentation chromosomique. L'exposition à l'acyclovir a également causé une réduction significative de l'indice mitotique. Cette réduction était liée à la dose administrée.

L'administration de 25 ou de 50 mg/kg/jour d'acyclovir par voie intrapéritonéale pendant 5 jours consécutifs à des souris mâles BKA (CPLP) n'a pas produit d'effet létal dominant. De même, l'administration de doses d'acyclovir de 50, 150 ou 450 mg/kg/jour par voie orale à des rats mâles et à des rats femelles Charles River CD-1 (ICR) n'a pas non plus entraîné d'effet létal dominant.

L'administration intrapéritonéale de doses uniques de 25, 50 ou 100 mg/kg d'acyclovir à des hamsters chinois n'a pas induit d'aberrations chromosomiques dans les cellules de la moelle osseuse, comme en témoignent les observations faites 24 heures après le traitement. À des doses néphrotoxiques plus élevées (500 et 1 000 mg/kg), on a observé un effet blastogénique. [Une dose intrapéritonéale de 500 mg/kg chez des hamsters chinois a produit des pics plasmatiques moyens de 611 µg/mL (2,72 mM), soit 30 fois plus que la limite supérieure des taux plasmatiques maximums obtenus chez les humains lors de l'administration i.v. de 10 mg/kg toutes les 8 heures et 45 fois plus que la limite supérieure des taux plasmatiques chez le nouveau-né à raison d'une dose similaire.]

À des doses intraveineuses uniques de 25, 50 et 100 mg/kg, l'acyclovir n'a provoqué aucune aberration chromosomique dans les cellules de moelle osseuse des rats mâles et des rats femelles

examinés 6, 24 et 48 heures après le traitement.

Toutes ces études révèlent donc que l'acyclovir n'entraîne aucune mutation génique, mais qu'il est capable de causer des fragmentations chromosomiques.

### **Études d'immunotoxicologie**

L'acyclovir a été soumis à plusieurs essais immunologiques *in vitro* et *in vivo*.

Dans deux essais *in vivo* – cytotoxicité à médiation lymphocytaire et chimiotaxie de granulocytes neutrophiles – l'acyclovir n'a démontré aucun effet inhibiteur à des concentrations allant jusqu'à 135 µg/mL (600 µM). Le composé inhibait environ 50 % de la formation de rosettes à des doses de 0,9 µg/mL (4 µM).

Dans quatre essais *in vivo* chez des souris, où on calculait l'immunité à médiation cellulaire (cytotoxicité cellulaire dépendante du complément, cytotoxicité cellulaire indépendante du complément, hypersensibilité retardée et réaction du greffon contre l'hôte), l'acyclovir n'a démontré aucun effet inhibiteur à des doses uniques, allant jusqu'à 200 mg/kg, administrées deux jours après une stimulation antigénique.

Quatre doses de 100 mg/kg/jour n'ont eu aucun effet significatif sur les plages d'hémolyse de Jerne ni sur les anticorps circulants le 7<sup>e</sup> jour après la stimulation antigénique. Lorsque les plages d'hémolyse de Jerne et les titres d'anticorps ont été examinés quatre jours après la provocation antigénique et un jour après la dernière administration du produit, la dose de 100 mg/kg n'a démontré qu'un léger effet de suppression. Cependant, la dose de 200 mg/kg a produit une certaine perte de poids (-2,2 g), une réduction modérée du nombre de plages d'hémolyse de Jerne [cellules formant des plages (PFC)/rate réduites à 33 % du témoin, PFC/10<sup>7</sup> WBC à 46,5 % du témoin]. Cependant, il n'y avait qu'une légère réduction du titre d'hémagglutinine circulante (de 8,3 à 6,5) et du titre d'hémolysine circulante (de 9,5 à 8,3) à 200 mg/kg.

Des expériences chez des souris, conçues pour savoir si l'acyclovir potentialise l'effet immunosuppresseur de l'azathioprine sur la formation d'anticorps, ont permis de découvrir que les effets des deux produits étaient additifs, sans plus. Seule la dose de 200 mg/kg d'acyclovir a provoqué une suppression accrue de la réponse d'anticorps lorsqu'elle était associée à de l'azathioprine à des doses dépassant 25 mg/kg.

Des études ont été effectuées pour évaluer l'effet de l'acyclovir *in vitro* sur la fonction des lymphocytes humains. Les effets inhibiteurs sur la blastogénèse n'ont été notés que dans des essais sur les concentrations maximales de mitogènes puissants, de phytohémagglutinine (PHA) et de concanavalline A (Con A), et uniquement à des concentrations de produit dépassant 50 µg/mL (222 µM). Ils étaient bien moins importants chez les antigènes Monilia et tétanos toxoïdes, où la réponse blastogénique était bien moins vigoureuse. Il y avait très peu d'effet sur la cytotoxicité ou sur la production de LIF, sauf à des concentrations de 200 µg/mL (890 µM), où on a démontré qu'il y avait un effet cytotoxique direct. Ces concentrations inhibitrices sont de loin plus élevées que les niveaux anticipés des doses choisies pour l'application clinique et plus de 1 000 fois supérieures à la concentration nécessaire pour inhiber la multiplication herpès virus *in vitro*.

L'effet de l'acyclovir sur les cellules humaines a été calculé. Une concentration de 11,2 à 22,5 µg/mL (50 à 100 µM) inhibe de façon variable la division des fibroblastes, selon le concept expérimental et la confluence de la couche simple. Cet effet était moins important que celui causé par l'adénine arabinoside ou l'interféron leucocytaire humain lorsque ces trois agents antiviraux ont été comparés à des concentrations cliniques pertinentes. L'acyclovir a également inhibé l'incorporation de thymidine par les globules sanguins mononucléaires périphériques stimulés par la PHA ou par trois antigènes différents d'herpès virus. Une courbe linéaire de réponse au produit a été observée avec ces cellules dont la prolifération a été inhibée à 50 % par 22,5 µg/mL (100 µM) d'acyclovir. L'inhibition a été exercée sur la prolifération des cellules T sans effet apparent sur la libération de lymphokines ni sur la fonction monocytaire.

On devrait également mentionner qu'il n'y a aucune preuve d'effets indésirables sur le système immunitaire dans les essais détaillés subchroniques et chroniques effectués chez les animaux dont il est question précédemment dans le présent résumé, à l'exception d'une hypoplasie lymphoïde prononcée survenue chez les chiens à qui on a administré des doses trop élevées (50 à 100 mg/kg 2 f.p.j.).

## **RÉFÉRENCES**

1. Naib ZM, Nahmias AJ, and Josey WE. Relation of cytohistopathology of genital herpesvirus infection to cervical anaplasia. *Cancer Res* 1973; 3:1452-63.
2. Collins P and Bauer DJ. The activity *in vitro* against herpes virus of 9-(2-hydroxyethoxymethyl)guanine (acycloguanosine), a new antiviral agent. *J Antimicrob Chemother* 1979; 5:431-36.
3. Crumpacker CS, Schnipper LE, Zaia JA, Levin MJ. Growth inhibition by acycloguanosine of herpesviruses isolated from human infections. *Antimicrob Ag Chemother*, May 1979; 15(5):642-45.
4. De Clercq E, Descamps J, Verhelst G, Walker RT, Jones AS, Torrence PF, and Shugar D. Comparative efficacy of antiherpes drugs against different strains of herpes simplex virus. *J Infect Dis*, May 1980; 141(5):563-74.
5. Barry DW, and Blum MR. Antiviral drugs : acyclovir, in *Recent Advances in Clinical Pharmacology*. Turner P, Shand DG (eds). Churchill Livingstone, Edinburgh, 1983.
6. De Clercq E. Comparative efficacy of antiherpes drugs in different cell lines. *Antimicrob Ag Chemother* 1982; 21(4):661-63.
7. McLaren C, Ellis MN, and Hunter GA. A colorimetric assay for the measurement of the sensitivity of herpes simplex viruses to antiviral agents. *Antiviral Res* 1983; 3:223-34.
8. Barry DW, and Nusinoff-Lehrman S. Viral resistance in clinical practice: summary of five years experience with acyclovir. *Pharmacological and Clinical Approaches to Herpesviruses and Virus Chemotherapy*, Aiso, Japan, September 10-13, 1984.
9. Dekker C, Ellis MN, McLaren C, Hunter G, Rogers J, and Barry DW. Virus resistance in clinical practice. *J Antimicrob Chemother* 12(Suppl B):137-52, 1983.
10. Crumpacker CS, Schnipper LE, Marlowe SL, Kowalsky PN, Hershey BJ, and Levin MJ. Resistance to antiviral drugs of herpes simplex virus isolated from a patient treated with acyclovir. *N Engl J Med*, February 11, 1982; 306(6):343-46.
11. Burns WH, Saral R, Santos GW, Laskin OL, Lietman PS, McLaren C, and Barry DW. Isolation and characterization of resistant herpes simplex virus after acyclovir therapy. *Lancet*, February 20, 1982; 1(8269):421-23.
12. Wade JC, Newton B, McLaren C, Flournoy N, Keeney RE, and Meyers JD. Intravenous acyclovir to treat mucocutaneous herpes simplex virus infection after marrow transplantation. A double-blind trial. *Ann Intern Med*, March 1982; 96(3):265-69.
13. Sibrack CD, Gutman LT, Wilfert CM, McLaren C, St.Clair MH, and Keller PM. Pathogenicity of acyclovir-resistant herpes simplex type 1 from an immunodeficient child. *J Inf Dis*. 1982; 146:673-82.

14. Straus SE, Takiff HE, Seidlin M, Backrach S, Lininger L, Di Giovanna JJ, Western KA, Smith HA, Nusinoff-Lehrman S, Creagh-Kirk T, and Alling DW. Suppression of frequently recurring genital herpes. *N Engl J Med* 310:1545-50, 1984.
15. Parris DS, and Harrington JE. Herpes simplex virus variants resistant to high concentrations of acyclovir exist in clinical isolates. *Antimicrob Agents Chemother* 1982; 22:71-77.
16. Darby G, Inglis MM, and Larder BA. Mechanisms of resistance to nucleoside analogue inhibitors of herpes simplex virus. 6th Int Congr Virol, Sendai, Japan, September 1 -7, 1984. (Abstract #W34-5)
17. Field HJ. The problem of drug-induced resistance in viruses, in *Problems of Antiviral Therapy*. Stuart-Harris CH, Oxford J (eds). Academic Press, London, 1983.
18. Ellis MN, Keller PM, Martin JL, Straus SE, Nusinoff-Lehrman S, and Barry DW. Characterization of an HSV-2 clinical isolate containing an ACV-resistant mutant which produces a thymidine kinase with altered substrate specificity. Ninth Int Herpesvirus Workshop, Seattle, Washington, August 24-29, 1984.
19. McLaren C, Sibrack CD, and Barry DW. Spectrum of sensitivity to acyclovir of herpes simplex virus clinical isolates. *Am J Med*, July 20, 1982, 73(1 A):376-79
20. Laskin OL, Longstreth JA, Whelton A, Krasny HC, Keeney RE, Rocco L, and Lietman PS. Effect of renal failure on the pharmacokinetics of acyclovir. *Am J Med*, July 20, 1982; 73(1A):197-201.
21. Barry DW, Nusinoff-Lehrman S, Ellis MN, Biron KK, and Furman PA. Viral resistance, clinical experience. *Scand J Infect Dis* 1985; suppl 47, pp. 155-64.
22. Krasny HC, Liao SH, de Miranda P, et al. Influence of hemodialysis on acyclovir pharmacokinetics in patients with chronic renal failure. *Am J Med* 1982;73:202-204.
23. Boelaert J, Schurgers M, Daneels R, et al. Multiple dose pharmacokinetics of intravenous acyclovir in patients on continuous ambulatory peritoneal dialysis. *J. Antimicrob Chemother* 1987; 20:69-76.
24. Shah GM, Winer RL, and Krasny HC. Acyclovir pharmacokinetics in a patient on continuous ambulatory peritoneal dialysis. *Am J Kidney Dis* 1986; 7:507-510.
25. Straus SE, Croen KD, Sawyer MH, et al. Acyclovir suppression of frequently recurring genital herpes. *JAMA* 1988; 260:2227-2230.
26. Kurtz T, et al. Safety and efficacy of long-term suppressive acyclovir treatment of frequently recurring genital herpes: year 5 results. In : *Program and Abstracts 30th Intersci Conf Antimicrob Agents Chemother*, Atlanta, Oct 21-24 1990, p.270.

27. Fife K, et al. Recurrence patterns of genital herpes after cessation of 5 years of chronic acyclovir suppression. In : (Programs & Abstracts) VIII International Conference on AIDS/III Std World Congress, Amsterdam, July 19-24, 1992 VZ p. B240.
28. Ellis MN, Keller PM, Fyfe JA et al. Clinical isolates of herpes simplex virus type 2 that induces thymidine kinase with altered substrate specificity. *Antimicrob Agents Chemother* 1987; 31:1117-1125.
29. Collins P, Larder BA, Oliver NM et al. Characterization of a DNA polymerase mutant of herpes simplex virus from a severely immunocompromised patient receiving acyclovir. *J Gen Virol* 1989; 70:375-382.
30. Field HJ, Darby G, and Wildy P. Isolation and characterization of acyclovir-resistant mutants of herpes simplex virus. *J Gen Virol* 1980; 49:115-124.
31. O'Brien JJ, and Campoli-Richards DM. Acyclovir : An updated review of its antiviral activity, pharmacokinetic properties and therapeutic efficacy. *Drugs* 1989; 37:233-309.
32. Collins P. Viral sensitivity following the introduction of acyclovir. *Am J Med* 1988; 85:129-134.
33. Erlich KS, Mills J, and Chatis P et al. Acyclovir-resistant herpes simplex virus infections in patients with the acquired immunodeficiency syndrome. *N Engl J Med* 1989; 320:293-296.
34. Pahwa, S, Biron, KK, Lim, W, Swenson, P, Kaplan, MH, Sadick, N, and Pahwa, R. Continuous varicella-zoster infection associated with acyclovir resistance in a child with AIDS. *J Amer Med Assoc* 1988; 260:2879-2882.
35. McLaren C, Corey L, Dekker C, and Barry DW. *In vitro* sensitivity to acyclovir in genital herpes simplex viruses from acyclovir-treated patients. *J Inf Dis* 1983; 148:868-875.
36. Parker AC, Craig JIO, Collins P, Oliver N, and Smith I. Acyclovir-resistant herpes simplex virus infection due to altered DNA polymerase. *Lancet* 1987; 2:1461-1462.
37. Cole NL, and Balfour HH Jr. Varicella-zoster virus does not become more resistant to acyclovir during therapy. *J Inf Dis* 1986; 153:605-608.
38. Biron KK, and Elion GB. Effect of acyclovir combined with other antiherpetic agents on varicella zoster virus *in vitro*. *Acyclovir Symposium. Amer J Med* 1982; 73:54-57.
39. Preblud SR, Arbeter AM, Proctor EA, and Starr SE, Plotkin SA. Susceptibility of vaccine strains of varicella-zoster virus to antiviral compounds. *Antimicrob Agents Chemother* 1984; 25:417-421.
40. Collins P, and Oliver NM. Sensitivity monitoring of herpes simplex virus isolates from

patients receiving acyclovir. *J Antimicrob Chemother* 1986; 18:103-112.

41. Barry DW, and Nusinoff-Lehrman S. Viral resistance in clinical practice: summary of five years experience with acyclovir. *Proceedings of the International Symposium on Pharmacological and Clinical Approaches to Herpes Viruses and Virus Chemotherapy*, Elsevier, Amsterdam, 1985; 269-270
42. Christopher J, Sutton RNP. Characterisation of acyclovir-resistant and sensitive clinical herpes simplex virus isolates from an immunocompromised patient. *J Antimicrob Chemother* 1987; 20:389-398.
43. Wade JC, McLaren C, Meyers JD. Frequency and significance of acyclovir-resistant herpes simplex virus isolated from marrow transplant recipients receiving multiple courses of treatment with acyclovir. *J Inf Dis* 1983; 148:1077-1082.
44. Vinckier F, Boogaerts M, De Clerck D, and De Clercq E. Chronic herpetic infection in an immunocompromised patient: report of a case. *J Oral Maxillofac Surg* 1987; 45:723-728.
45. Balfour HM Jr, Bean B, Laskin OL, et al. Acyclovir halts progression of herpes zoster in immunocompromised patients. *N Engl J Med*, 1983; 308(24 J:1448-1453.
46. Laskin OL, de Miranda P, King DK, et al. Effects of probenecid on the pharmacokinetics and elimination of acyclovir in humans. *Antimicrob Ag Chemother*, 1982; 21:804-807.
47. Drug interaction; Ivan H Stockley 4th edition, The Pharmaceutical Press (1996); Chapter 5
48. Product Monograph for Acyclovir Sodium Injection, 50 mg Acyclovir/mL (Fresenius Kabi Canada Ltd.); Date: March 9, 2015; Control # 182176