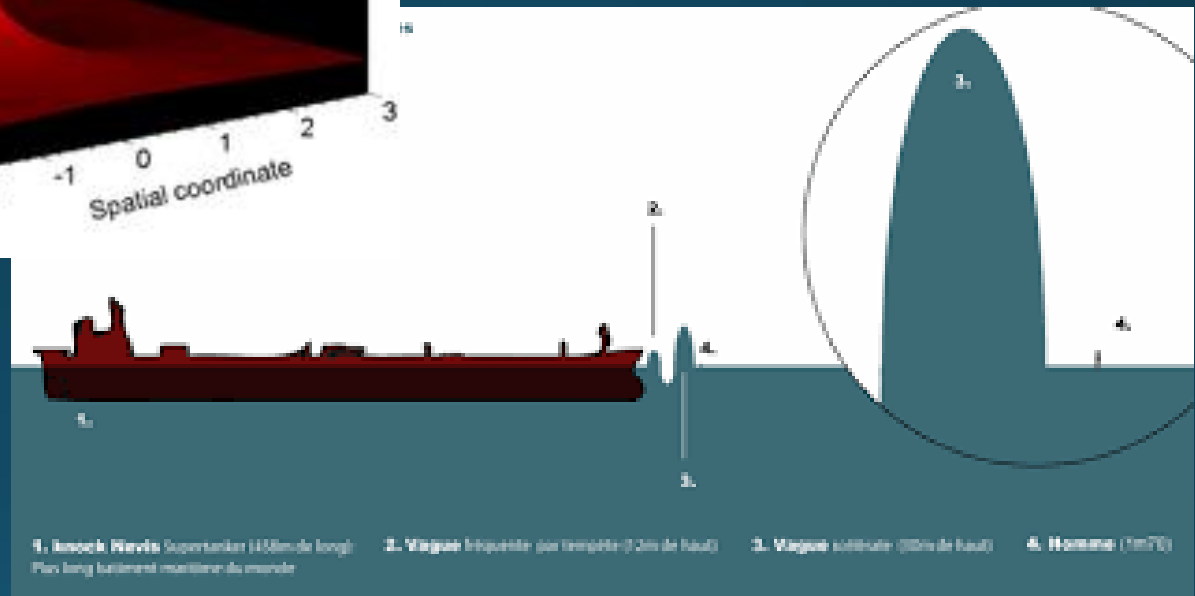
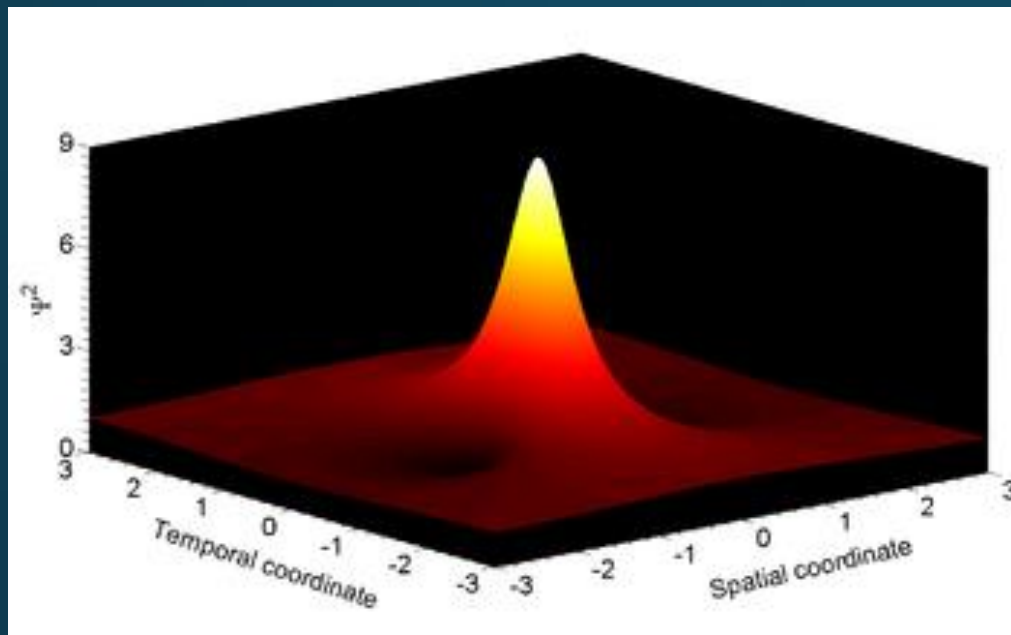




Les ondes scélérates

Introduction

- Onde scélérate :
Phénomène
extrême
apparaissant et
disparaissant sans
prévisions ni traces



Sommaire

I - Théorie et équation de Schrödinger

II – Expérience

III – Confrontation des résultats

I – Théorie et équation de Schrödinger

- Equation de Schrödinger non-linéaire :

$$\rightarrow i \frac{\partial U}{\partial Z} - \frac{B}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + G|U|^2 U = 0$$

changement de variable NLSE normalisée :

$$\rightarrow i \frac{\partial \psi}{\partial \varepsilon} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \tau^2} + G|\psi|^2 \psi = 0$$

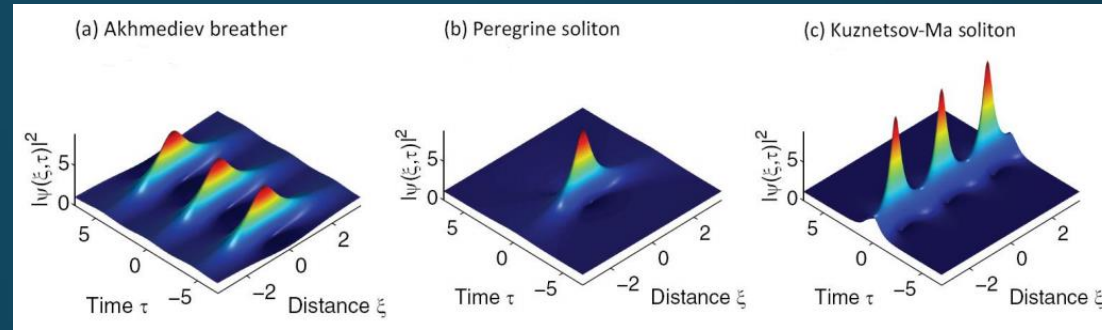
Evolution de l'onde
en fonction de la distance

Effets linéaires :
dispersion

Effets non linéaires :
dépend de l'intensité

- Optique non linéaire :
 - phénomène d'instabilité de modulation :
 - renforcement d'une déformation dû à la non-linéarité
- Démonstration de la relation de dispersion :
 - Dans NLSE on injecte : $U(t, z) = (\sqrt{p} + e)e^{iGPz}$
 - On obtient : $i \frac{\partial e}{\partial z} - \frac{B}{2} \frac{\partial^2 e}{\partial t^2} + iG(e + e^*) = 0$
 - On utilise une fonction d'essai : $e(t, z) = c_1 e^{-i(kz - \omega t)} + c_2 e^{i(kz - \omega t)}$
 - ↓
 - $k = \sqrt{\frac{B^2}{4} \omega^4 + GPB \omega^2}$ ou $k = -\sqrt{\frac{B^2}{4} \omega^4 + GPB \omega^2}$
 - Si $\frac{B^2}{4} \omega^4 + GPB \omega^2 > 0$: oscillation proche de la perturbation initiale
 - Sinon : croissance exponentielle

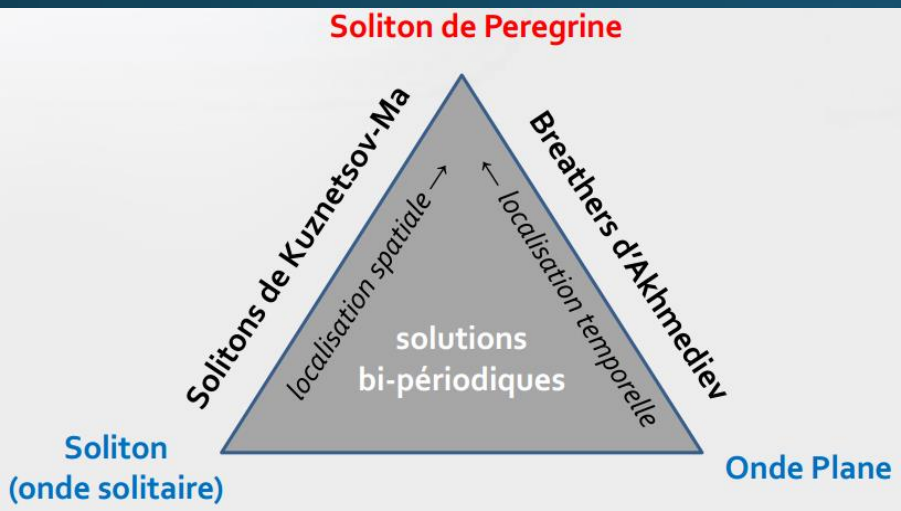
- 3 grandes familles de solution pour NLSE :
 - Kuznetsov-Ma Breathers
 - Soliton de Peregrine
 - Ahmediev breathers



- On a choisit d'étudier le soliton de Peregrine :
 - Cas limite des deux autres solutions
 - Localisé dans le temps et l'espace

- Résolution théorique du soliton de Peregrine :

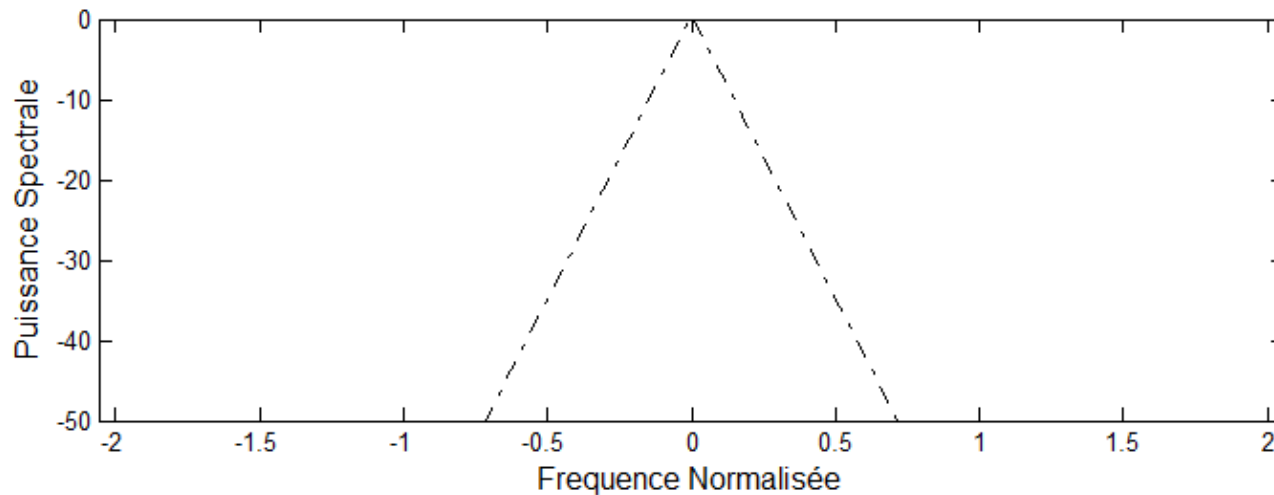
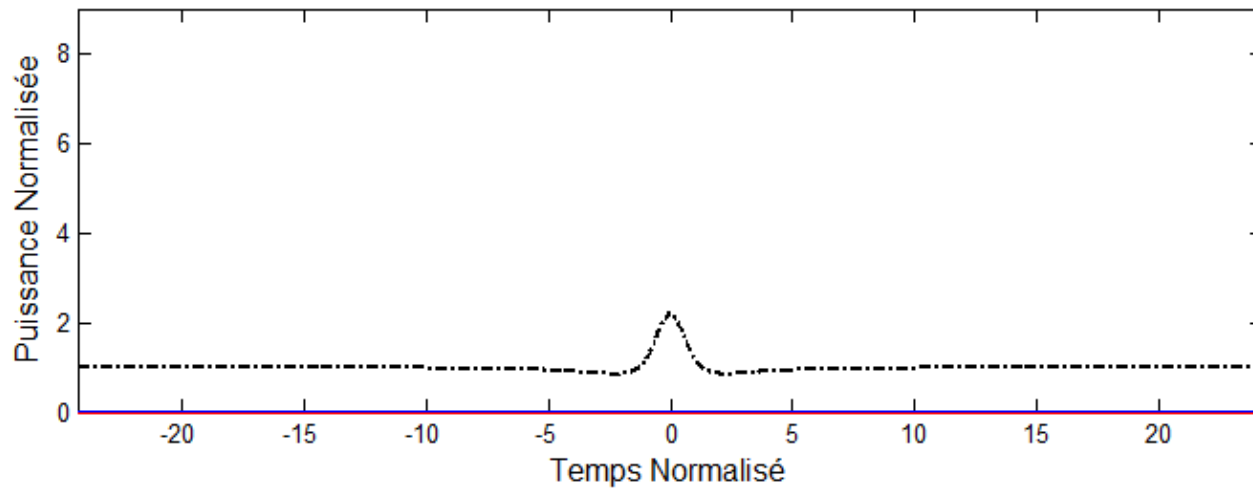
$$\rightarrow \psi(\varepsilon, \tau) = \left[1 - \frac{4(1+2i\tau)}{1+4\varepsilon^2+4\tau^2} \right] e^{i\tau}$$



- Tracé de l'évolution du soliton de pérégrine dans une fibre optique non-linéaire :

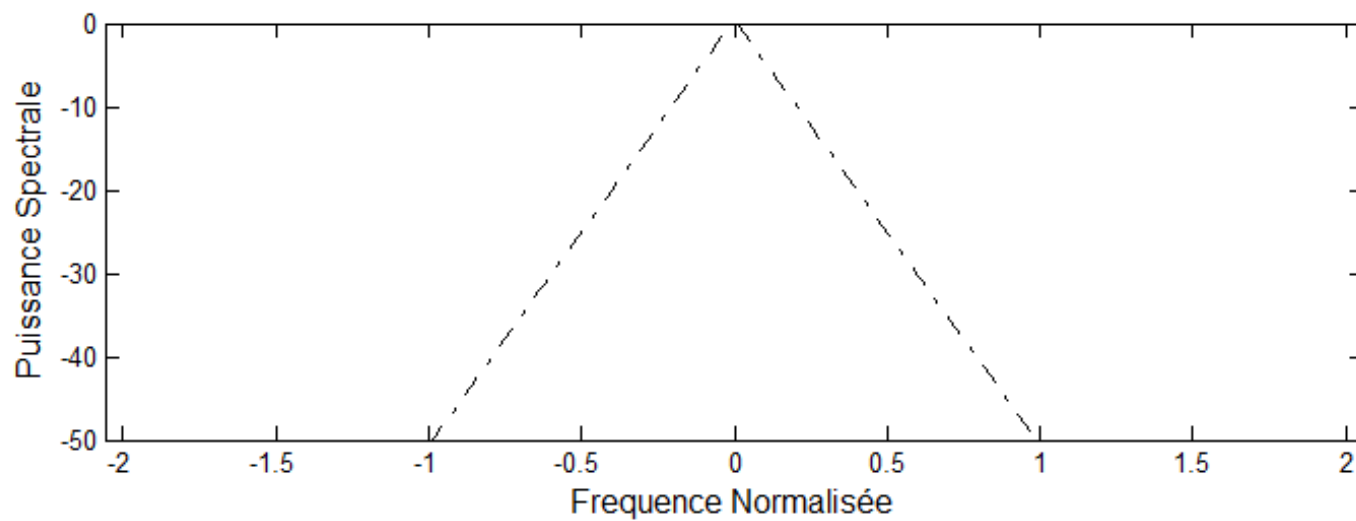
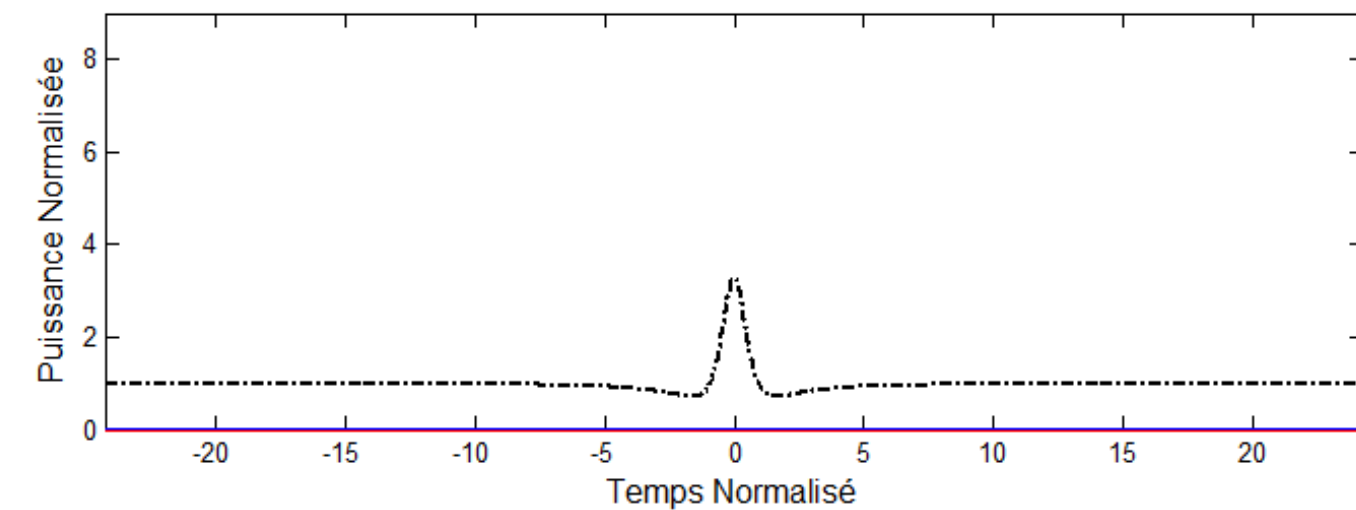
Condition initiale

Soliton de Peregrine



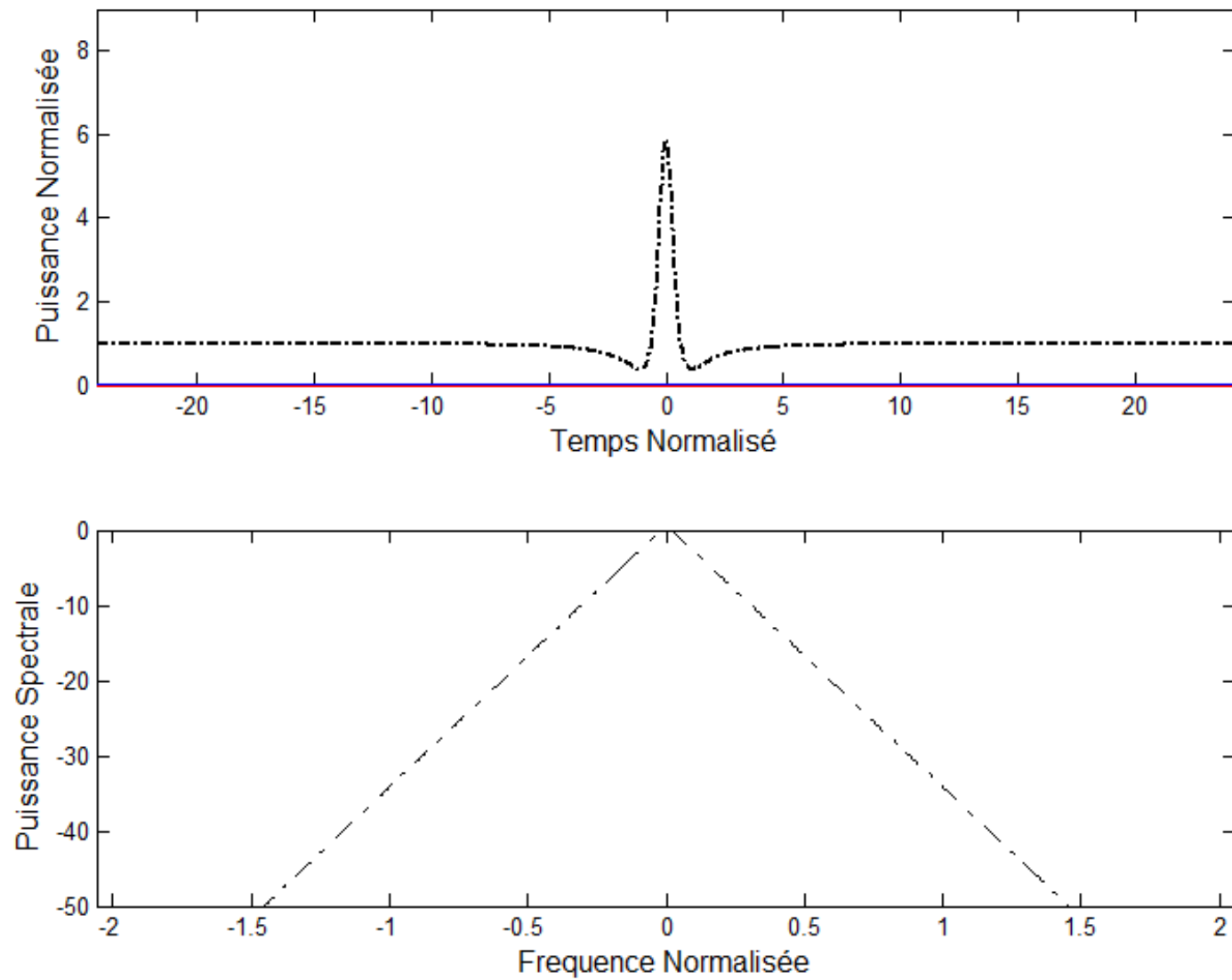
Propagation 500m

Soliton de Peregrine



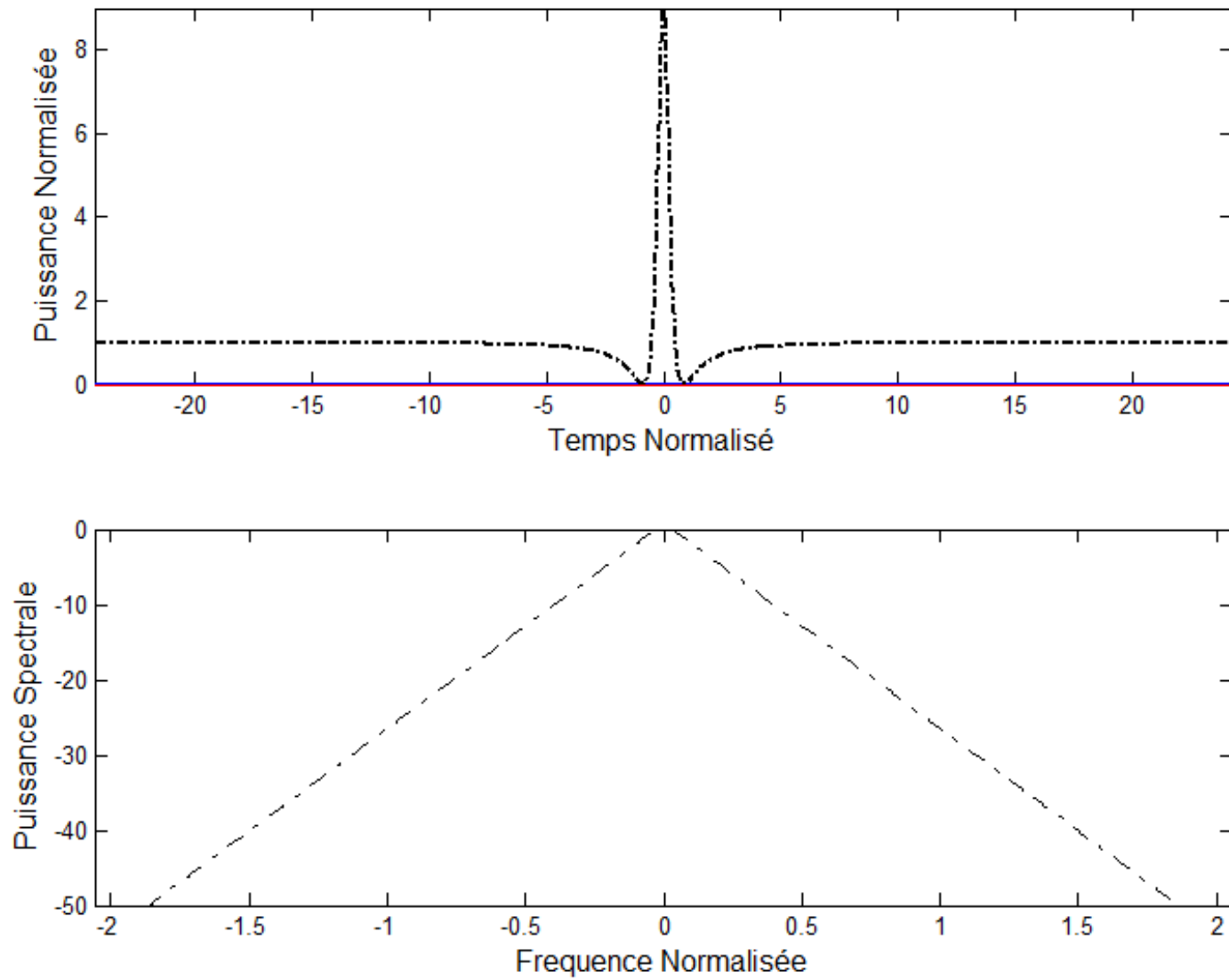
Propagation 1000m

Soliton de Peregrine



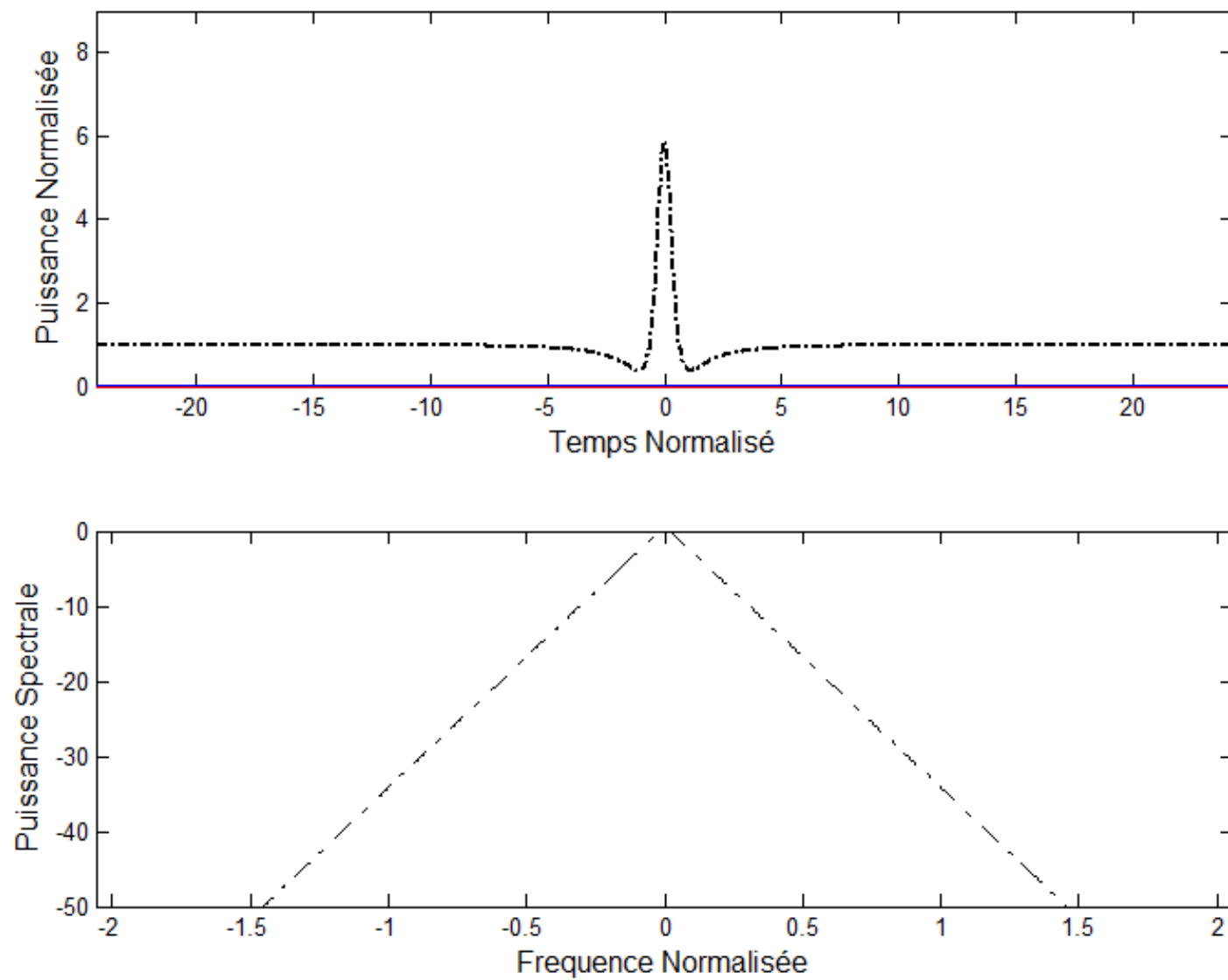
Propagation 1500m

Soliton de Peregrine



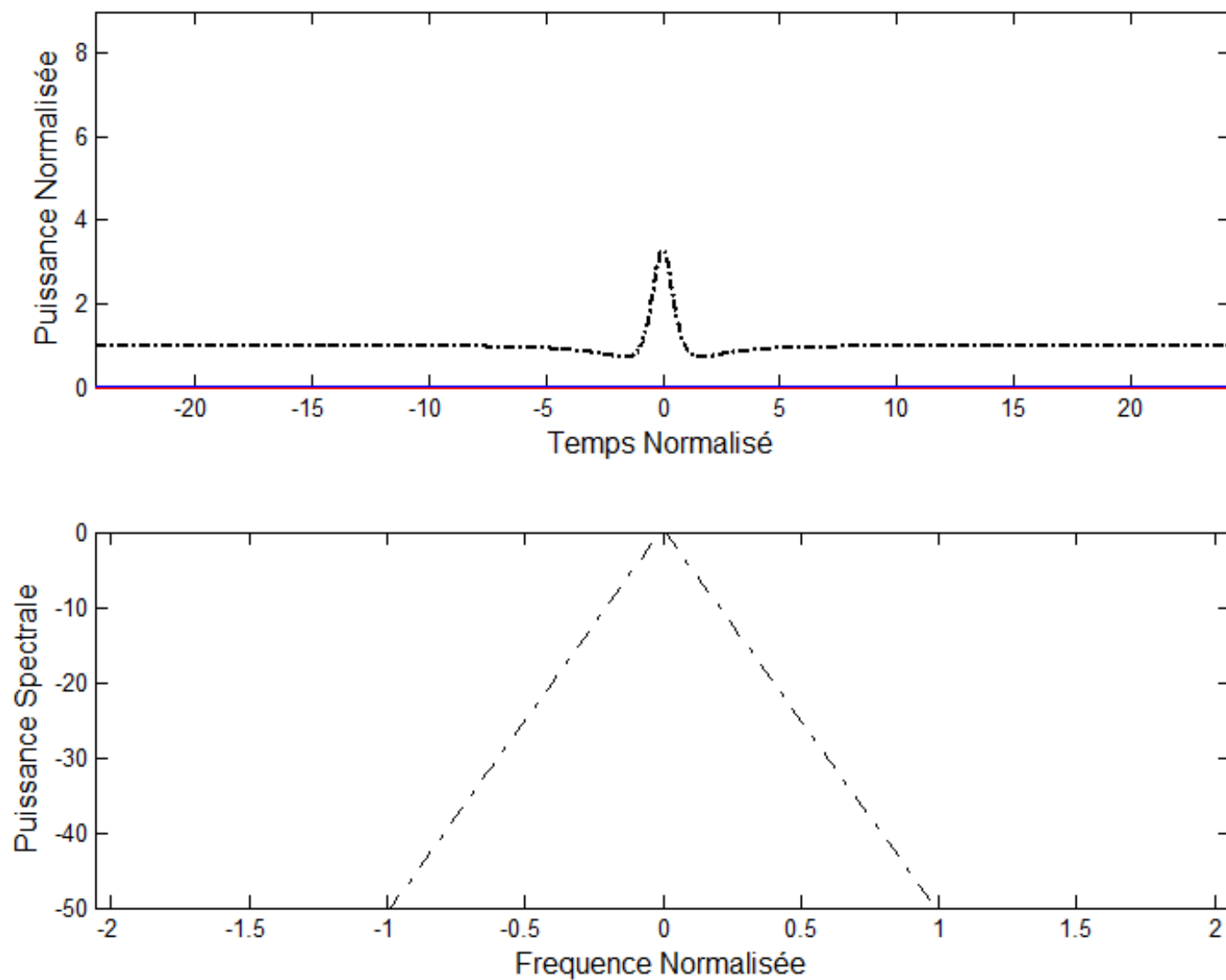
Propagation 2000m

Soliton de Peregrine



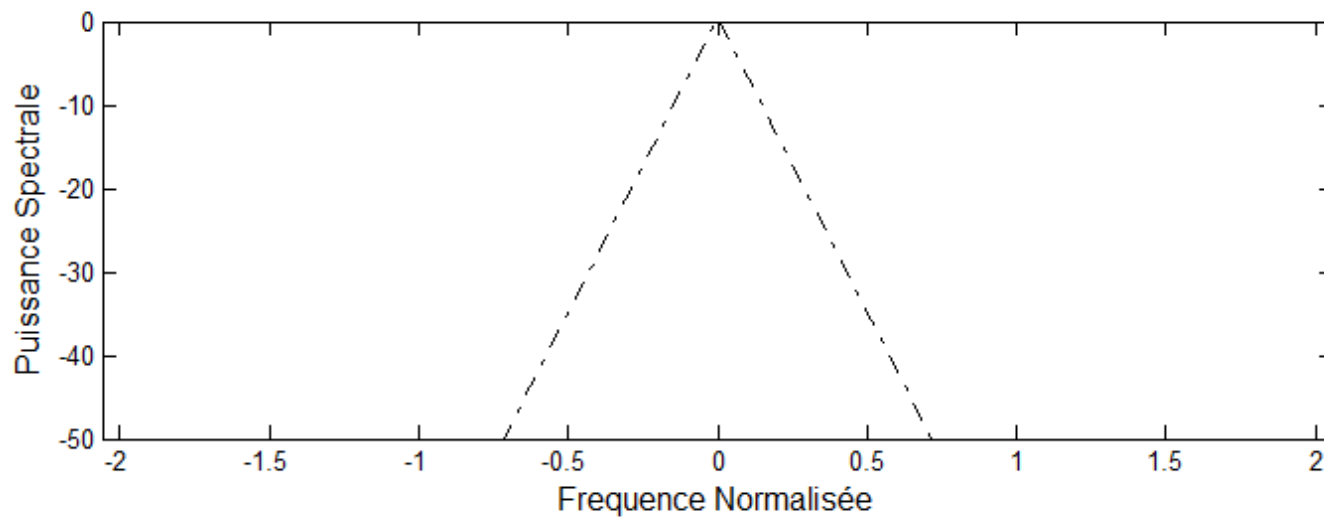
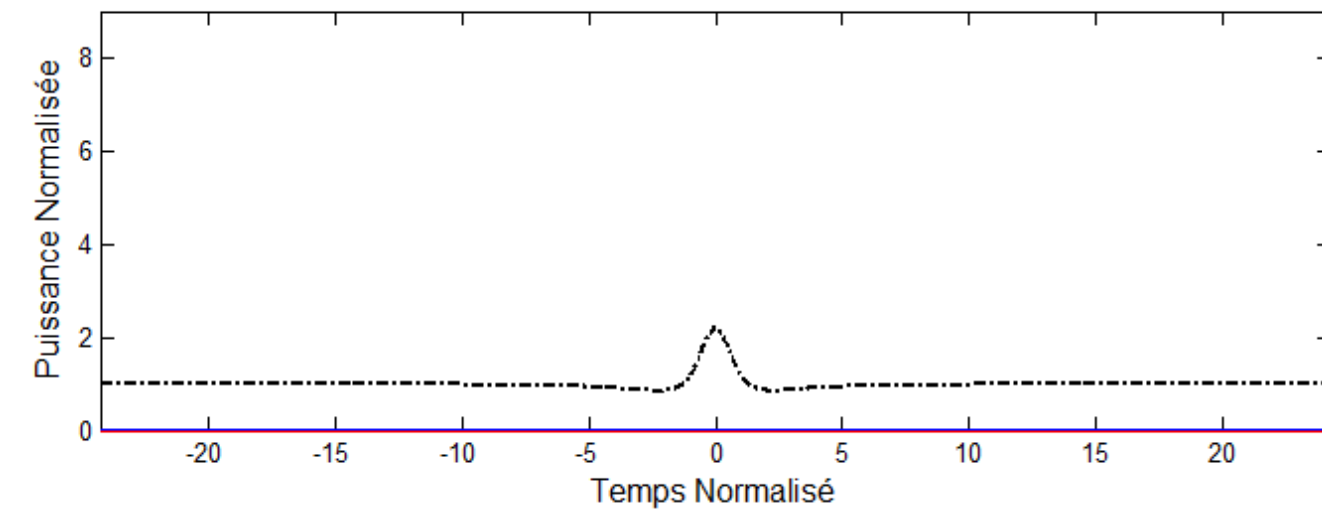
Propagation 2500m

Soliton de Peregrine



Propagation 3000m

Soliton de Peregrine



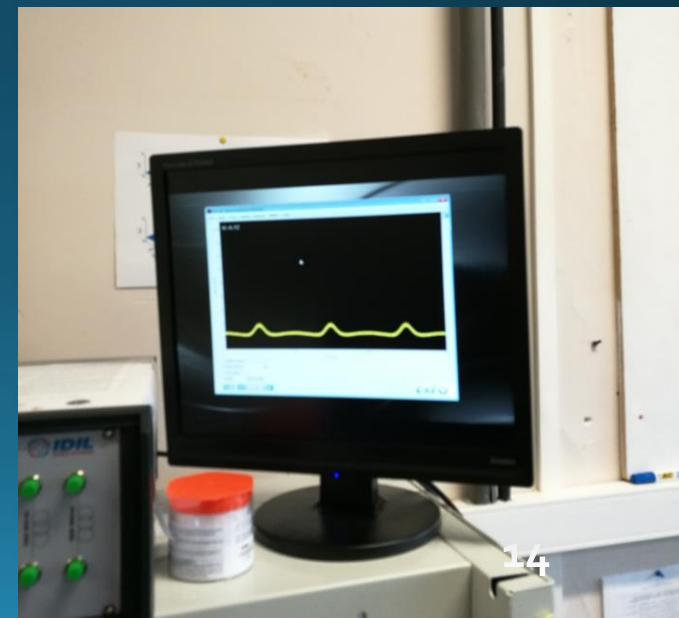
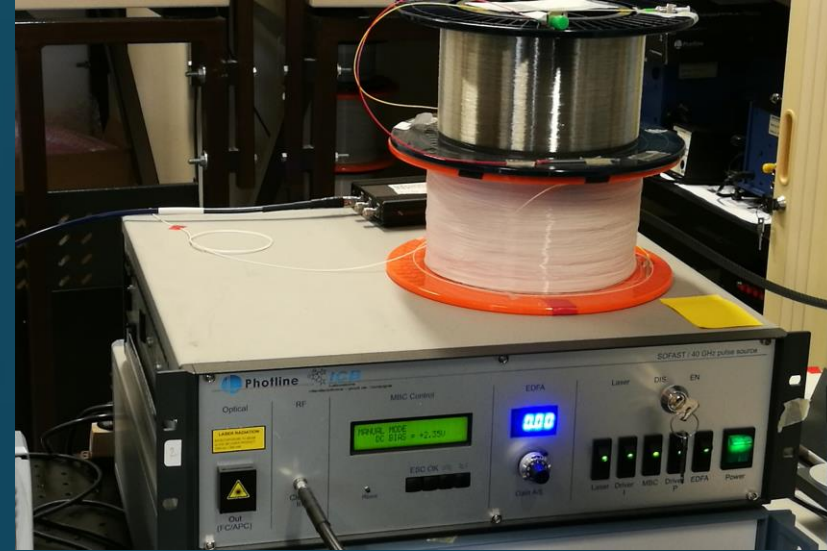
II – Expérience

- Mise en forme de la perturbation initiale :
 - Source d'impulsion en picoseconde :
 $\Delta t = 50.10^{-12} \text{ s}$

→ Atténuation du signal

→ Wave shaper :

- diffraction du spectre (cristaux liquides)
- modification de la phase et de l'amplitude

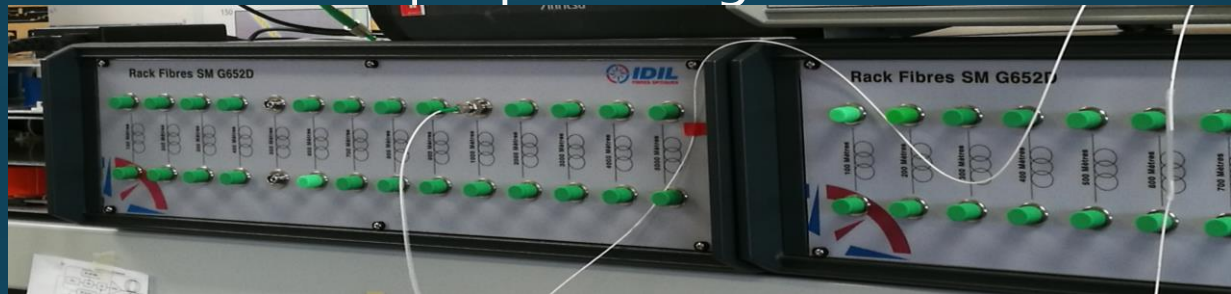


- Formation du signal final

- Amplification du signal pour une propagation non linéaire :

$$P=28,5 \text{ dB}$$

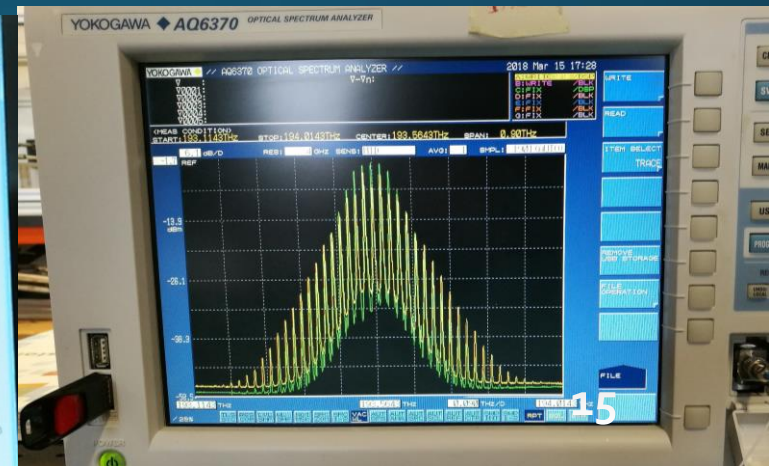
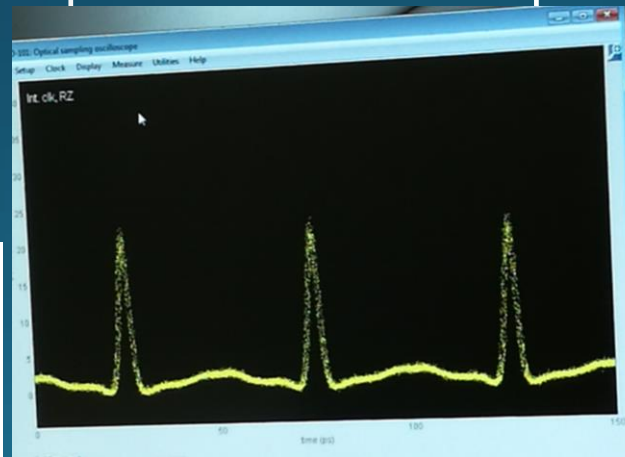
- Passage dans une fibre optique à longueur variable :



- Séparation du signal à la sortie de la fibre :

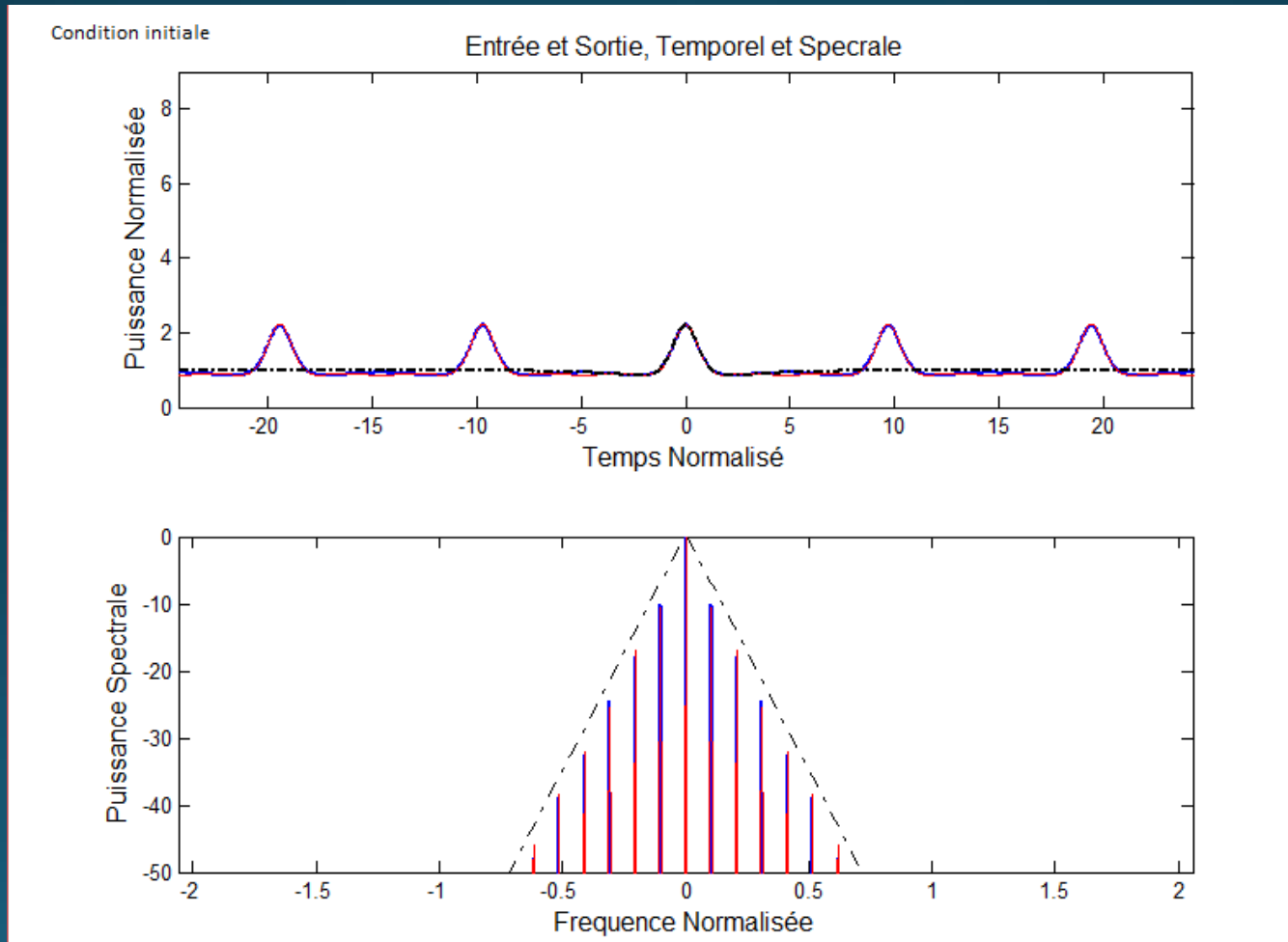
- analyseur spectral

- oscilloscope de résolution 1ps



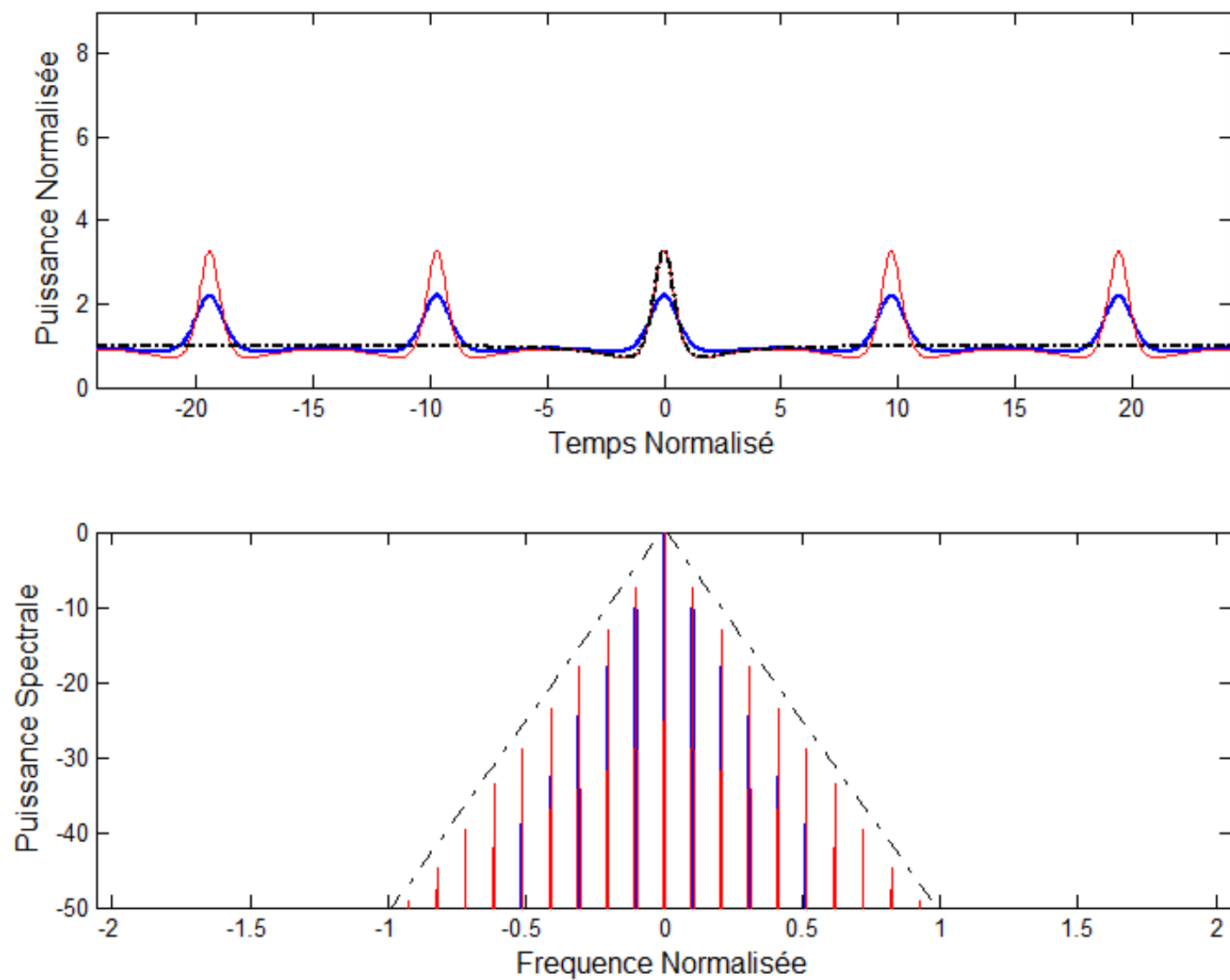
III – Confrontation des résultats

- Comparaison entre l'évolution théorique du soliton de Peregrine et la propagation d'une onde dans NLSE :



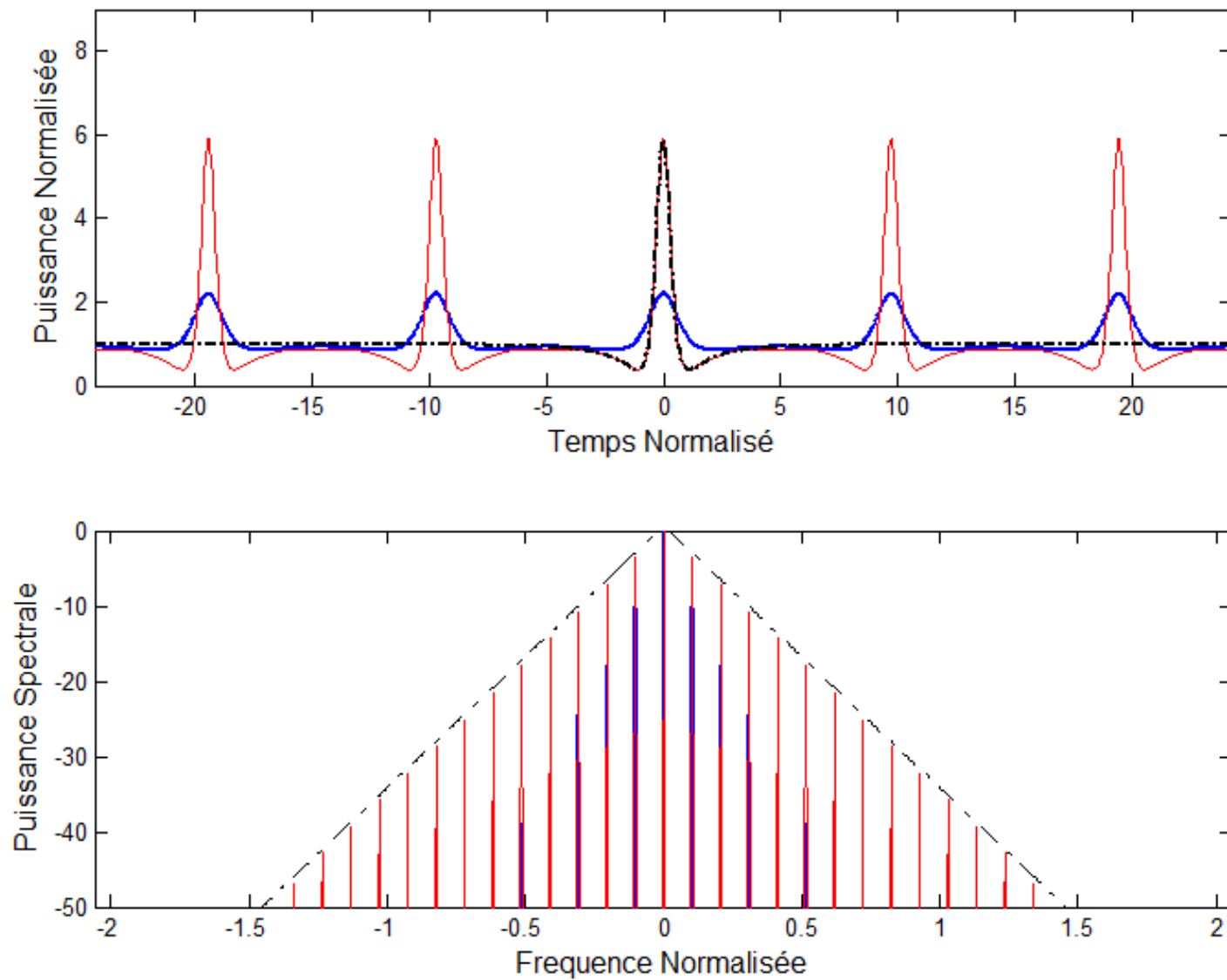
Propagation 500m

Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale



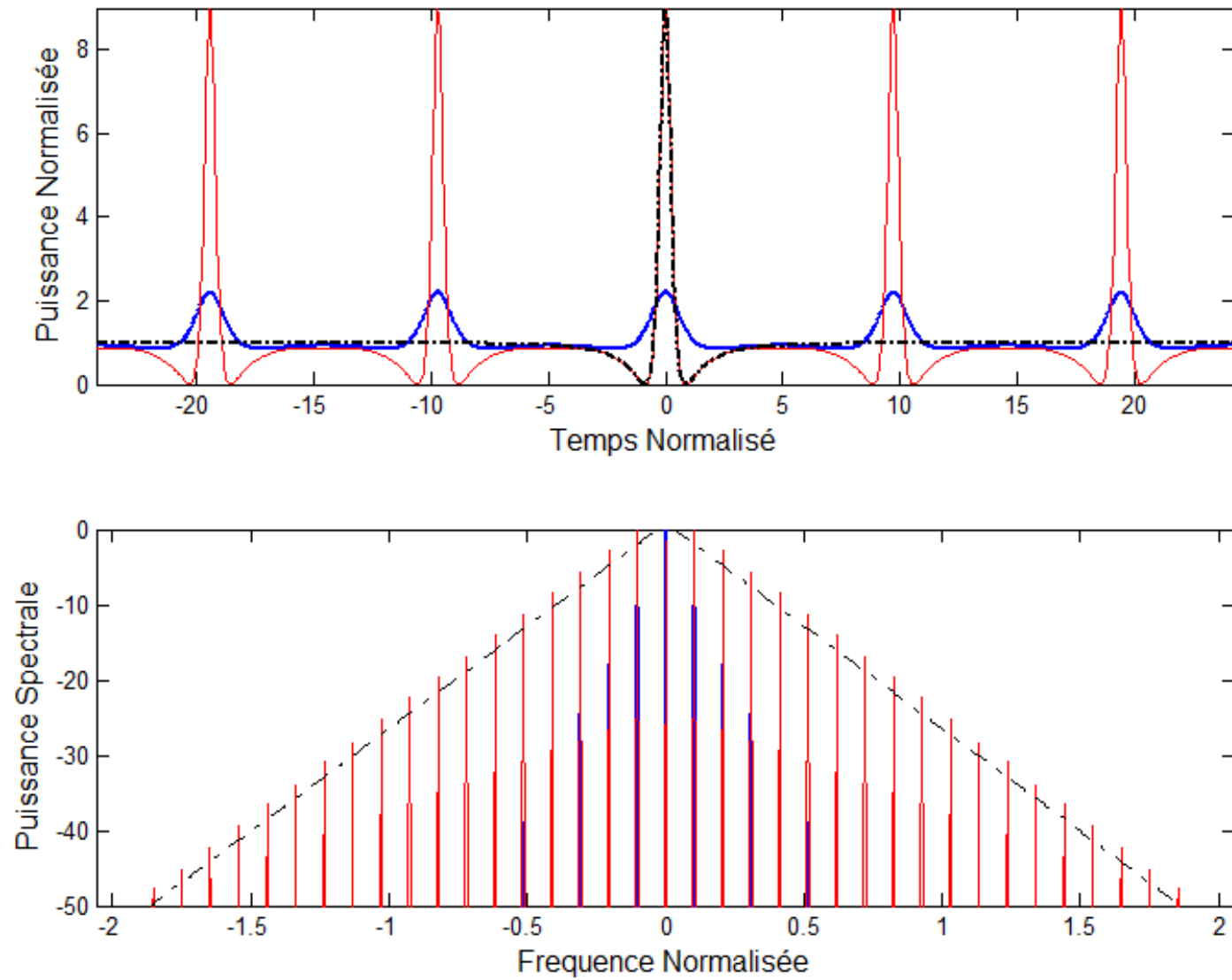
Propagation 1000m

Entrée et Sortie, Temporel et Specrale

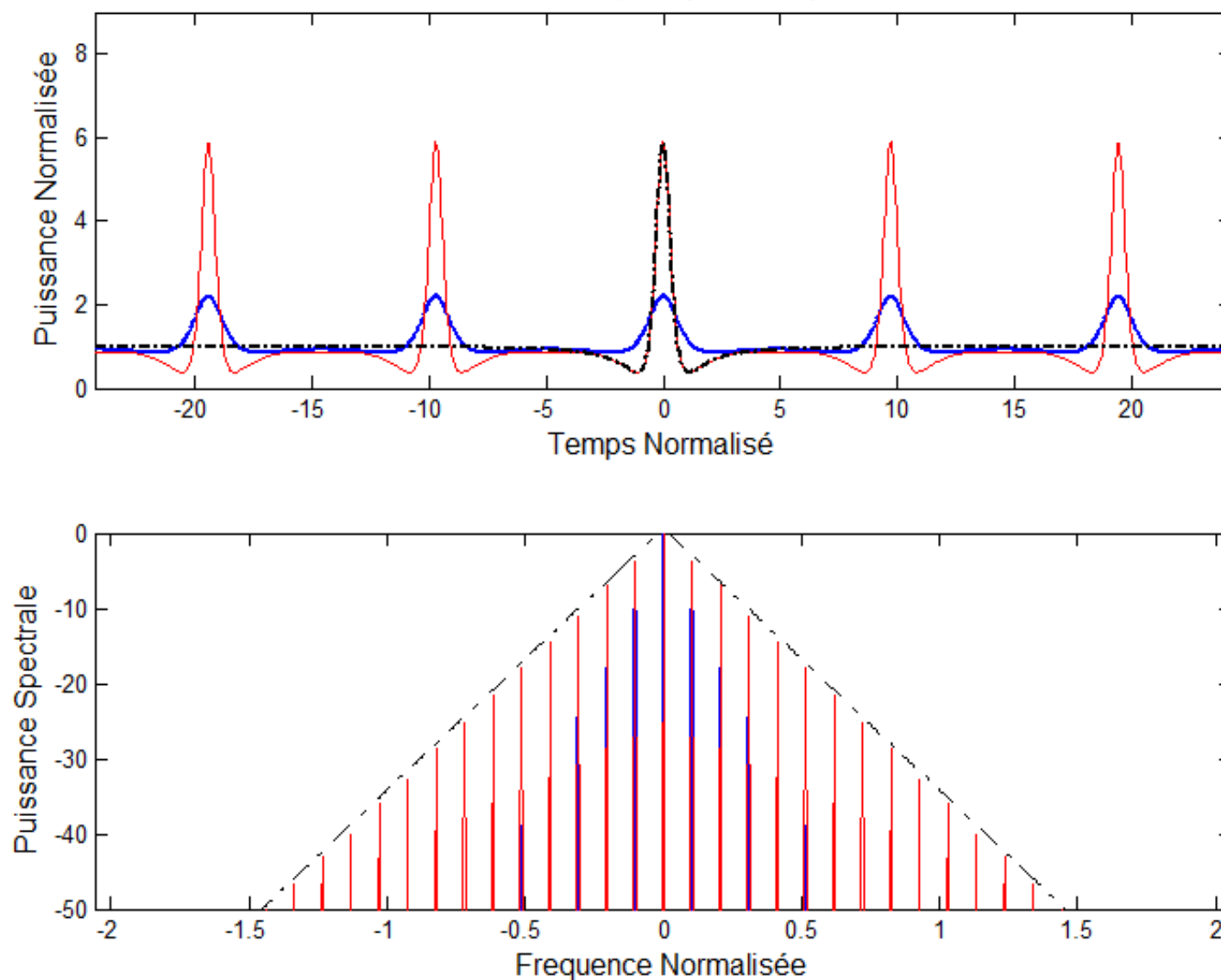


Propagation 1500m

Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale

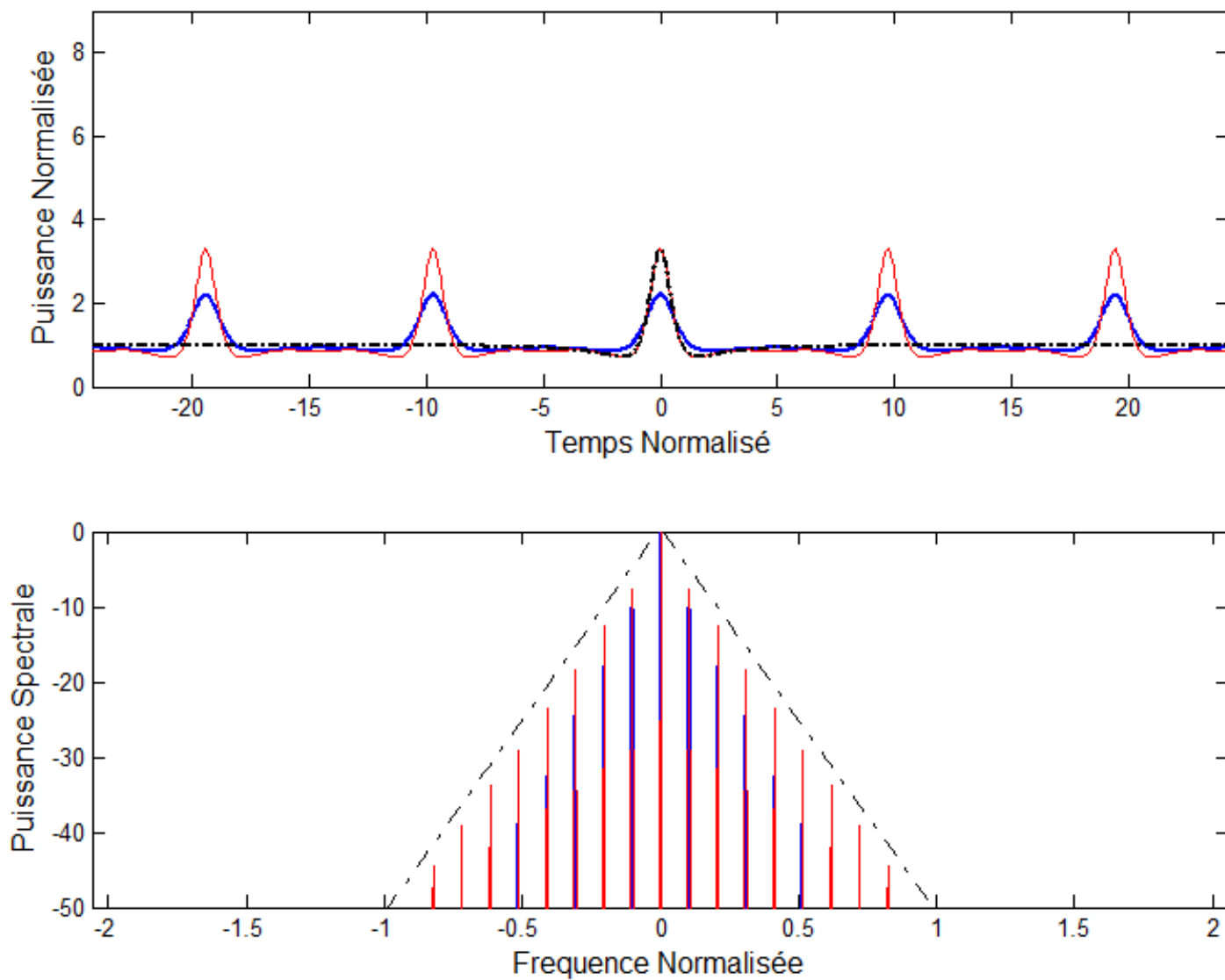


Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale



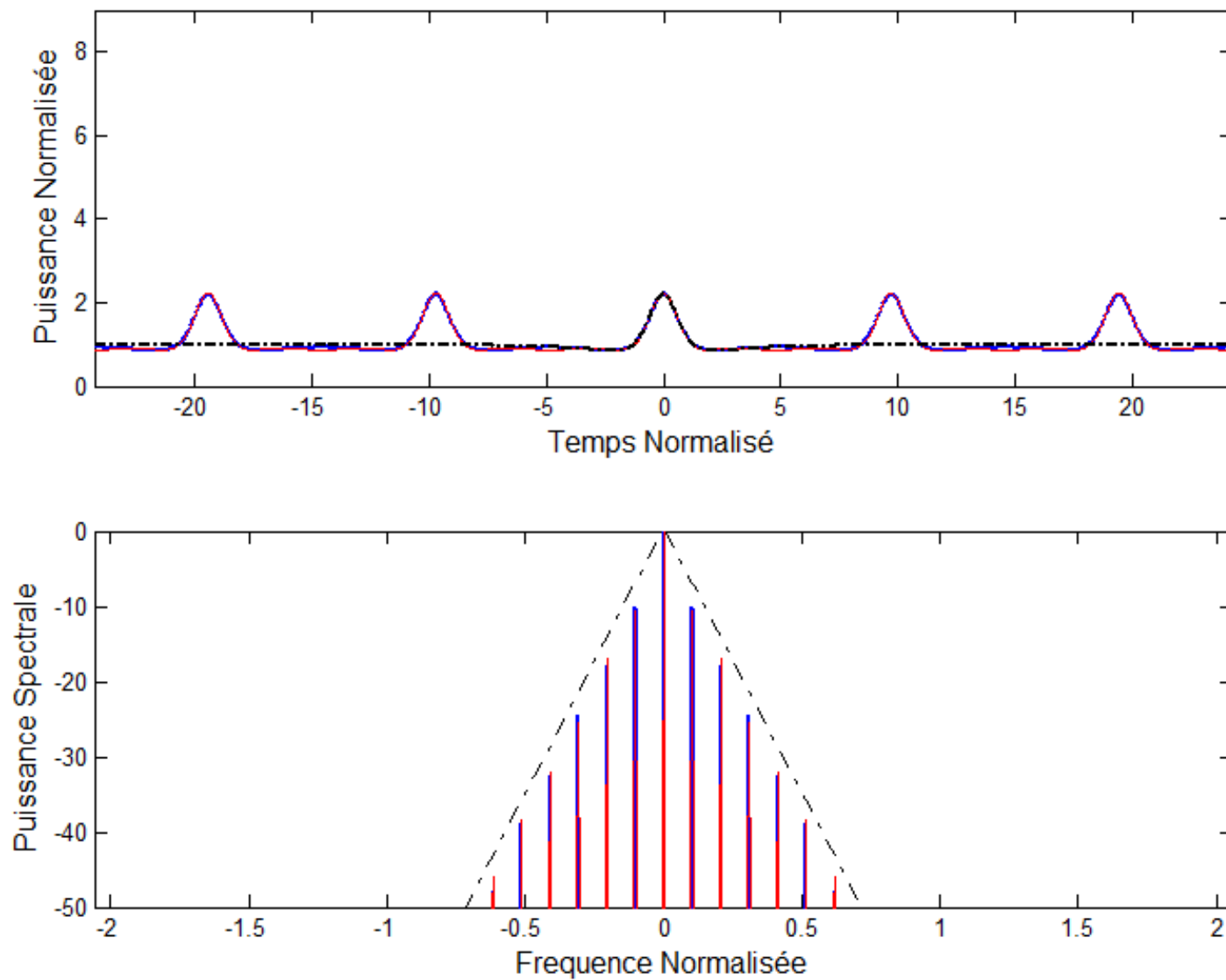
Propagation 2500m

Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale



Propagation 3000m

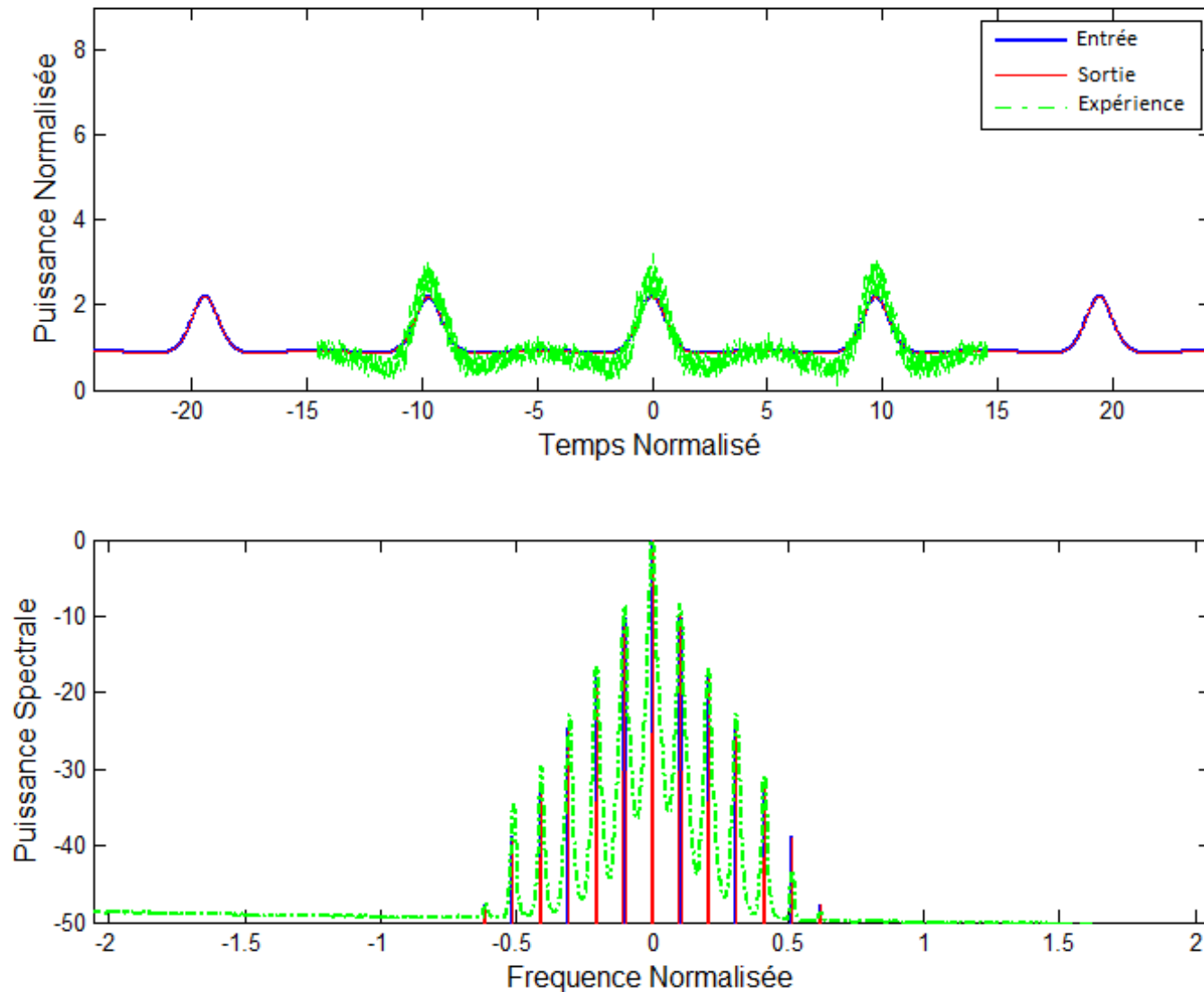
Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale



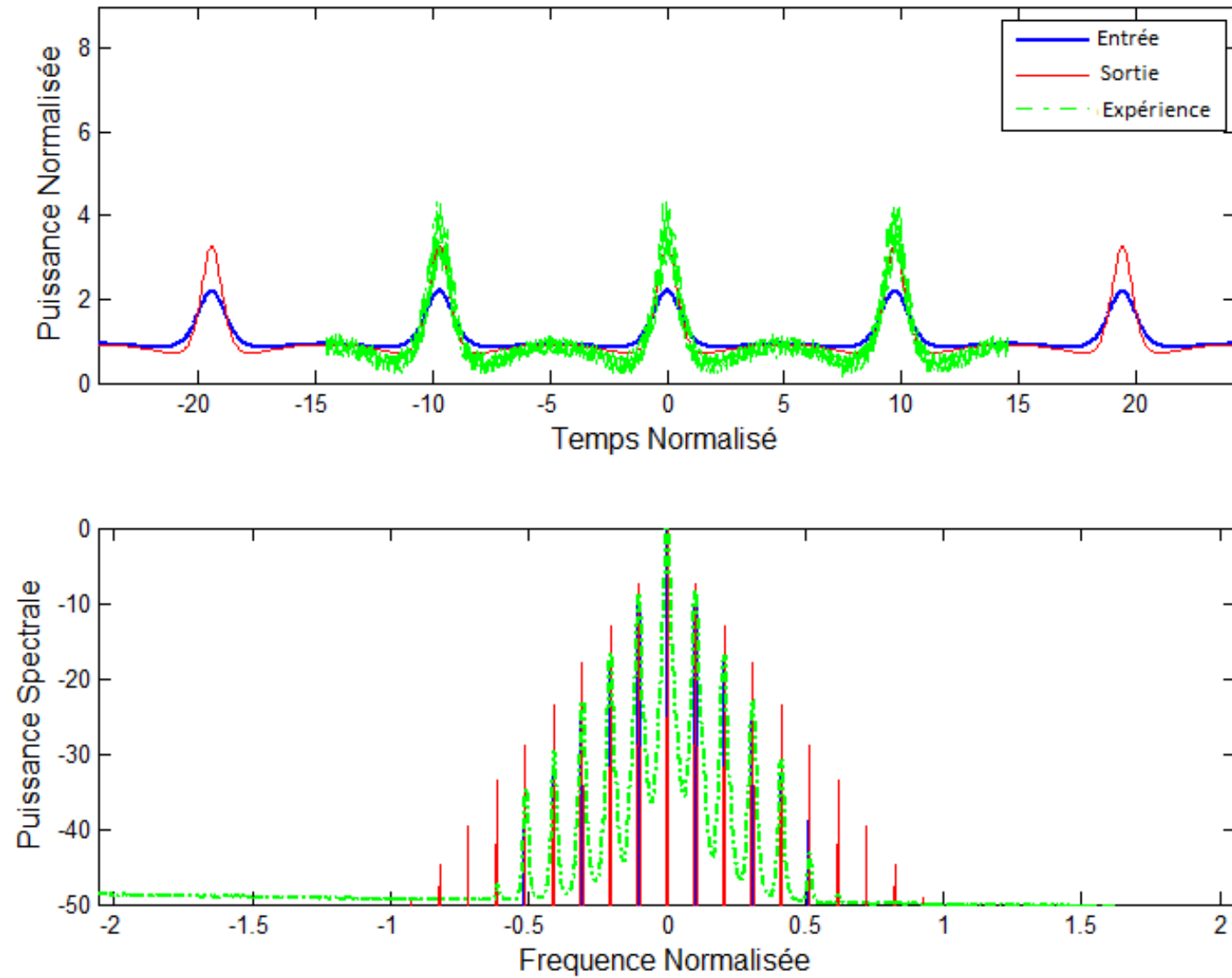
- Comparaison entre la propagation d'une onde dans NLSE et des résultats de l'expérience :

Conditions initiales

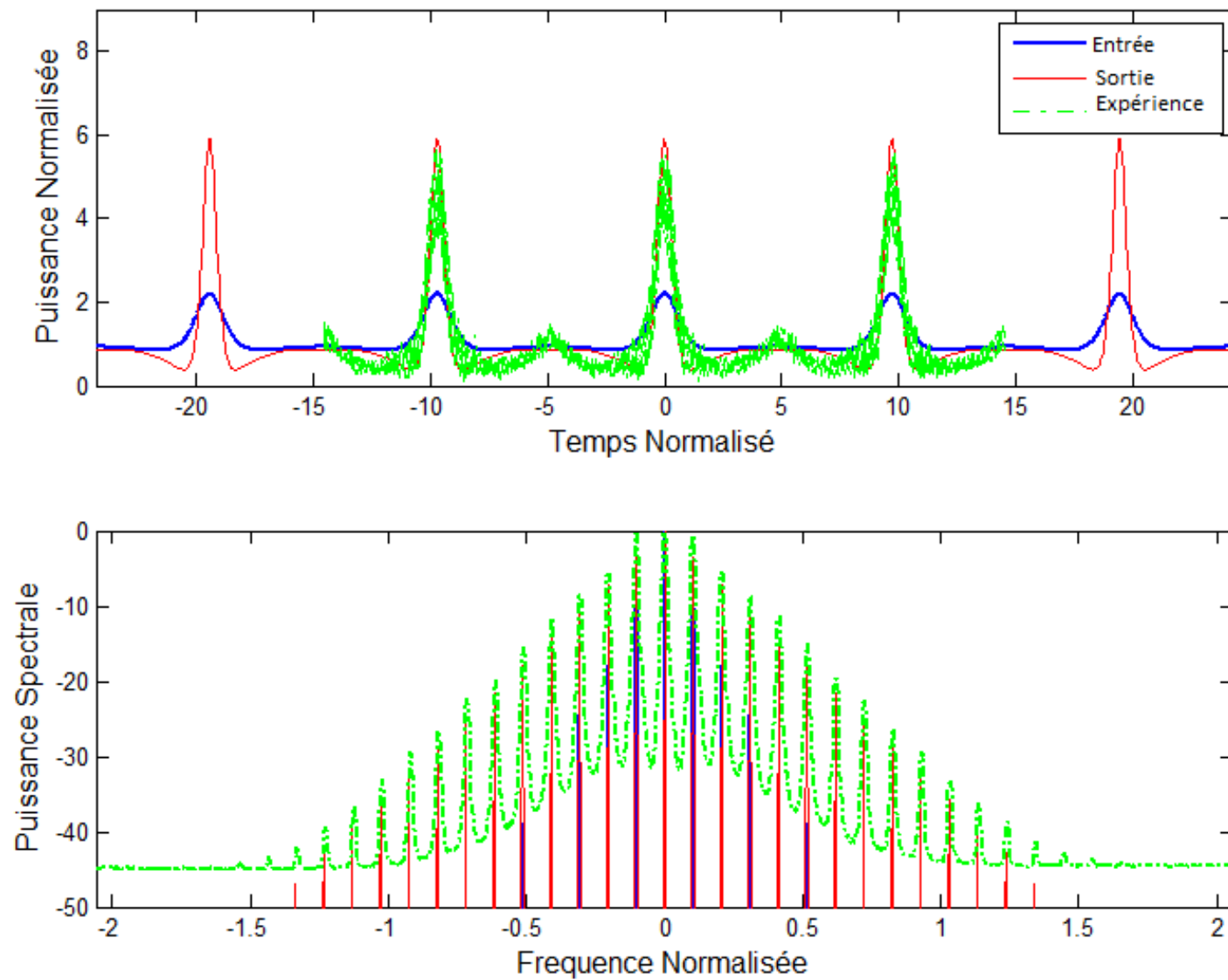
Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale



Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale

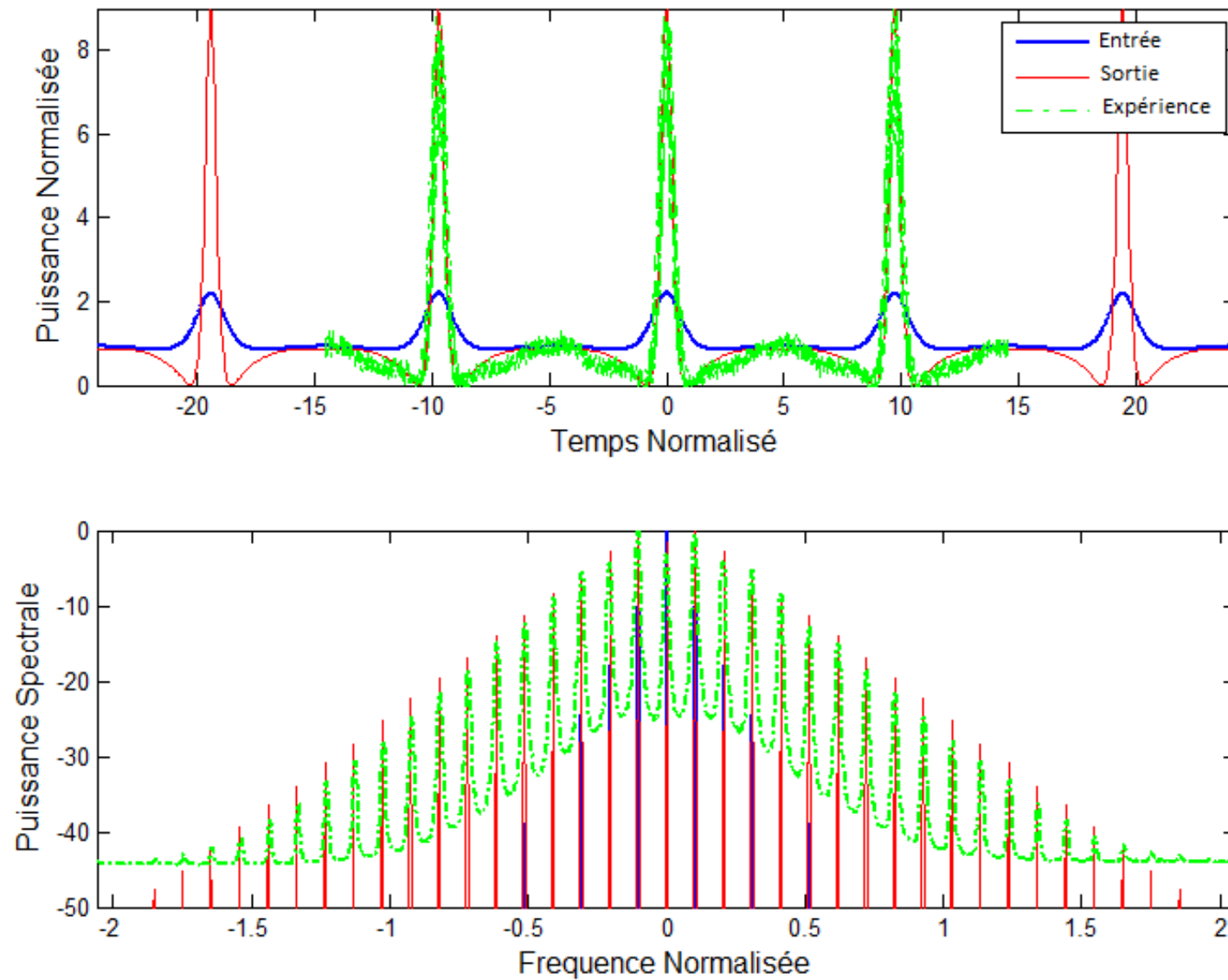


Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale

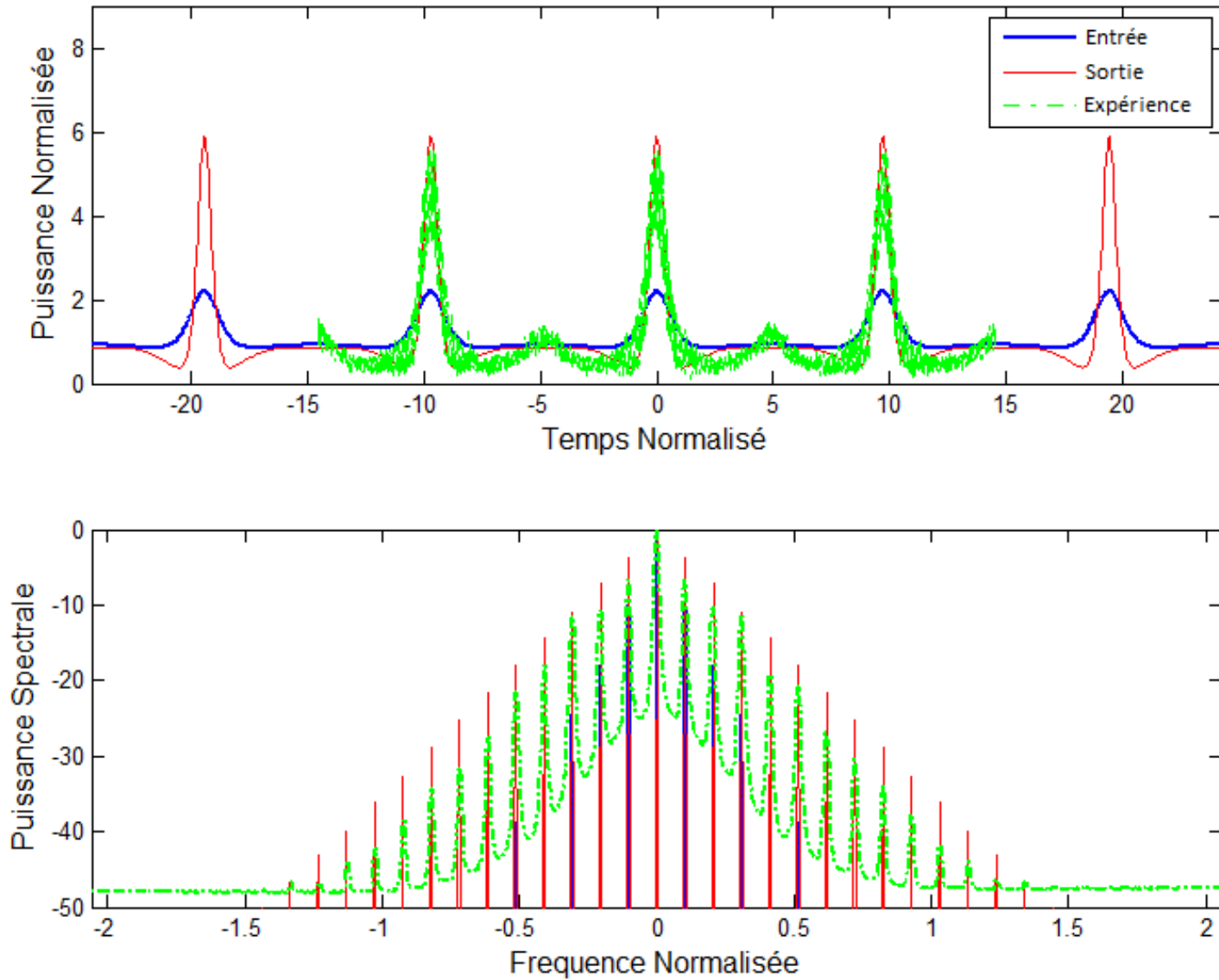


Propagation 1500m

Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale

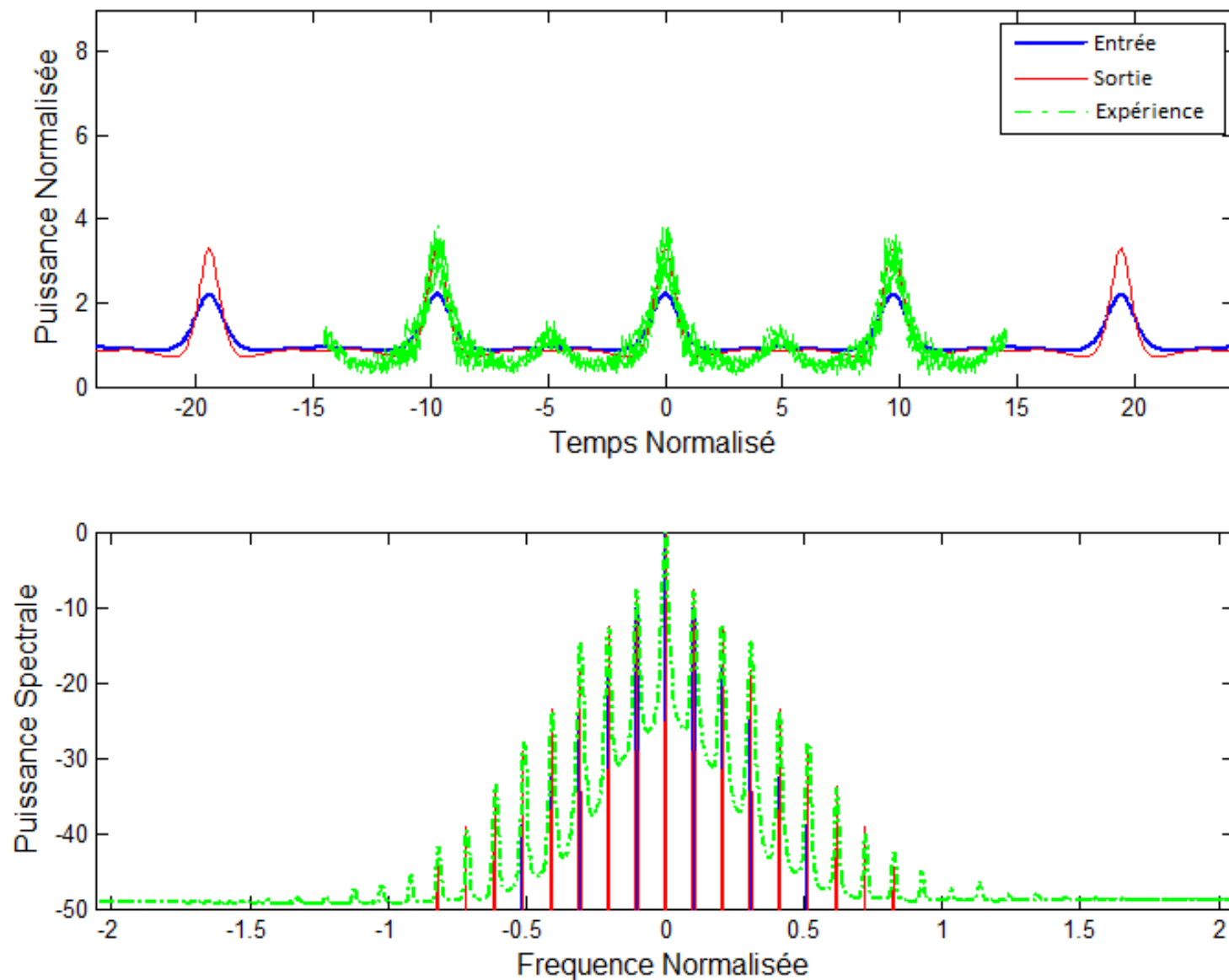


Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale



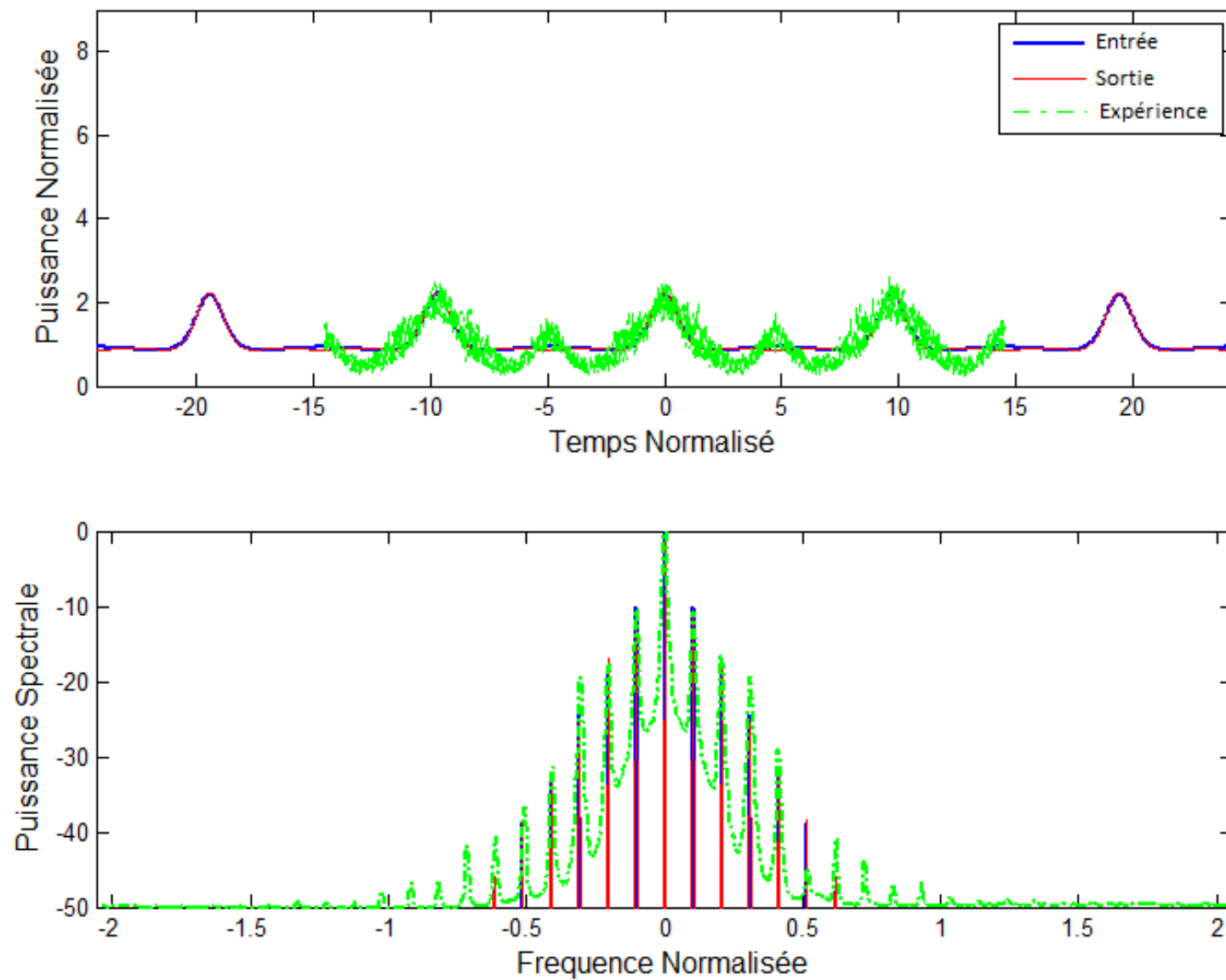
Propagation 2500m

Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale



Propagation 3000m

Entrée et Sortie, Temporel et Spectrale



Conclusion

- Comprendre un aspect fondamental de la physique non linéaire → instabilité de modulation
- Existe d'autres causes :
 - focalisation linéaire
 - collision
- Possibilité d'utilisation en télécommunication
- Analogie avec l'hydrodynamique

Bibliographie

- [1] S.Residori, M.Onorato, U.Bortolozzo, F.T.Arecchi: Rogue waves: a unique approach to multidisciplinary physics : Contemporary Physics, 2016
- [2] B. Kibler, J.Fatome, C.Finot, G.Millot: Experiments on Breathers in Nonlinear Fibre Optics : Springer International Publishing 2016
- [3] B.Frisquet, A.Chabchoub, J.Fatome, C.Finot, B.Kibler, G.Millot: Two-stage linear-nonlinear shaping of an optical frequency comb as rogue nonlinear-Schrödinger-equation-solution generator : American Physical Society, 2014
- [4] : Les mystérieuses vagues scélérates : <http://sweetrandomscience.blogspot.fr/2012/06/lesmysterieuses-vagues-sclerates-les.html> Novembre 2017

Annexe

```

%%% Condition intial experience %%%
%%%
zzdim = zz*LNL;
tdim = tau*t0;
UUdim = sqrt(P0)*uu;
%plot(tdim,abs(UUdim).^2);axis([min(tdim) max(tdim) 0 9*P0]);return
uuper = zeros(1,nt);
uuper0 = zeros(1,nt);

for qq=1:11;
    for jj = 1:length(tau);
        uuper0(jj)= (1-4*(1+2i*zz)./(1+4*(tau(jj)-(qq-6)*pernorm).^2+4*zz^2)).*exp(1i*zz);
    end
    if qq>1 & qq<11;
        uuper(103+(qq-2)*205:103+(qq-1)*205)=uuper0(103+(qq-2)*205:103+(qq-1)*205);
    end
    if qq==1;
        uuper(1:102)=uuper0(1:102);
    end
    if qq==11;
        uuper(103+(qq-2)*205+1:nt)=uuper0(103+(qq-2)*205+1:nt);
    end
    clear uuper0;
end

```

%----- Comparaison avec la solution de Pérégrine (à son maximum de compression) (théorique)

```

uuB = (1-4*(1+2i*(zz+distance))./(1+4*tau.^2+4*(zz+distance)^2)).*exp(1i*(zz+distance)); %%% PS solution
subplot(2,1,1)
plot(tau,abs(uuB).^2,'-.k','linewidth',2);
tfuuB = fftshift(ifft(uuB)).*(nt*dtau)/sqrt(2*pi); % spectre
subplot(2,1,2)
plot(fftshift(omega)/(2*pi),10*log10(abs(tfuuB).^2/max(abs(tfuuB).^2))+24, '-.k');

```



```

%***** [ Début du programme central (intégration) ] *****
% scheme: 1/2N -> D -> 1/2N; (1/2 pas non linéaire, 1 pas de
% dispersion, 1/2 pas non linéaire)
temp = uu.*exp(abs(uu).^2.*hhz/2);
for n=1:step_num
    f_temp = ifft(temp).*dispersion;
    uu = fft(f_temp);
    temp = uu.*exp(abs(uu).^2.*hhz);
    Uarray(n,:) = temp;
end
uu = temp.*exp(-abs(uu).^2.*hhz/2);
tfuu = fftshift(ifft(uu)).*(nt*dtau)/sqrt(2*pi); % spectre final
%***** [ Fin du programme central ] *****

```

```

%----- comparaison avec les données expérimentales
load propage_3000m.mat
timeexp =(time_ChA-75)*1e-12;
Iexp = samples_ChA/mean(samples_ChA)*10^(28.2/10)/1000;
timeexpnorm = timeexp/t0;
Iexpnorm = Iexp/P0;
    subplot(2,1,1)
    plot(timeexpnorm,Iexpnorm,'-.g');
    legend('input','output','experiment')

Sosa=csvread(['W0008.csv'],29,0);
Lambdaexp=Sosa(:,1);
Freqexp=3e8./(Lambdaexp*1e-9)-3e8/1548.814e-9;
Freqexpnorm = Freqexp*t0;
Spectreexp=Sosa(:,2)-max(Sosa(:,2));
    subplot(2,1,2)
    plot(Freqexpnorm,Spectreexp,'-.g','linewidth',2);

```