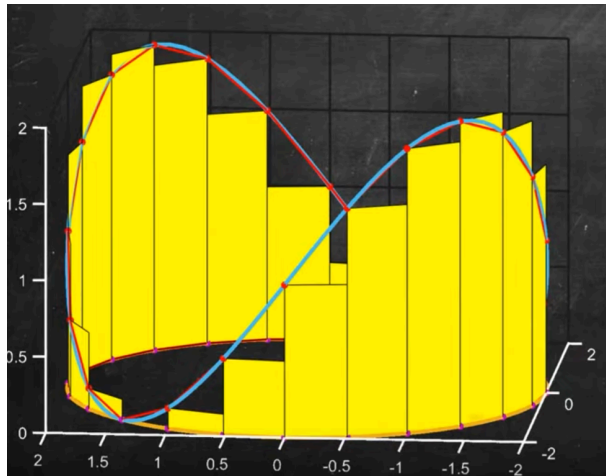
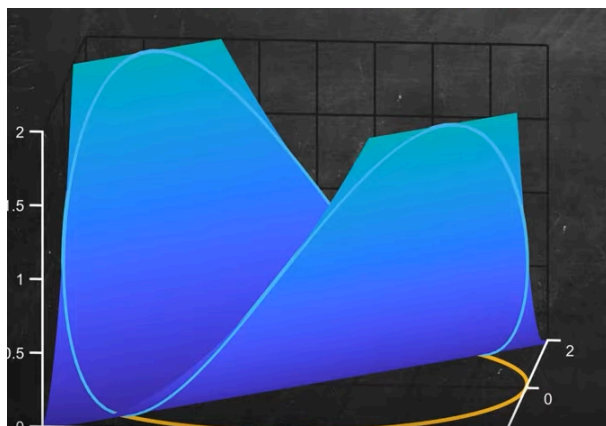


## Line integrals

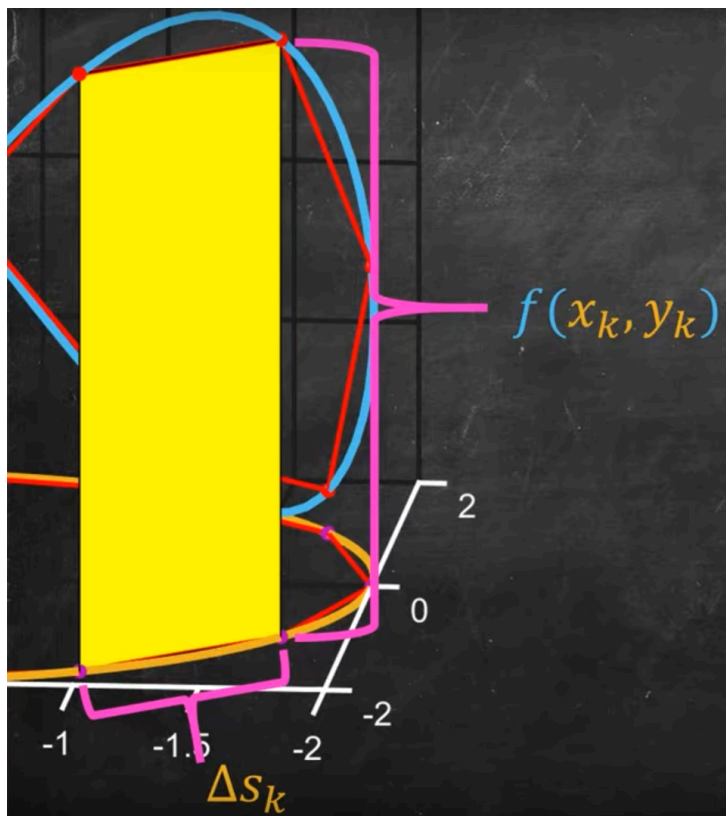
On veut intégrer  $f(x, y) = z$  (en bleu) selon le cercle, que l'on paramétrise comme  $\vec{r}(t) = g(t)\vec{i} + h(t)\vec{j}$ .



On peut d'abord réécrire notre fonction comme  $f(t) = f(g(t), h(t))$ . Pourquoi ? Parce que les seuls points qui nous intéressent sont ceux selon  $g(h), h(t)$  !



Notre fonction aurait pu être comme ça, mais on veut juste être sur les points du cercle.



Ici on veut l'aire donc

$$A_k = f(x_k, y_k) \Delta s_k$$

$$A_k = f(x_k, y_k) \sqrt{(\Delta x_k)^2 + (\Delta y_k)^2}$$

$$\Rightarrow dA = f(g(t), h(t)) \sqrt{g'(t)^2 + h'(t)^2} dt$$

### Theorem (Gauss / Green)

Let  $\Omega \subseteq \mathbb{R}^2$  be as in the main auxiliary theorem

Let  $\vec{F}: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$  be a diff'able vector field. Then

$$\iint_{\Omega} \operatorname{div} \vec{F}(x_1, x_2) dx_1 dx_2 = \int_{\partial \Omega} \vec{F} \cdot \vec{n} dl$$

Gauss theorem /  
divergence theorem

$$\iint_{\Omega} \operatorname{curl} \vec{F}(x_1, x_2) dx_1 dx_2 = \int_{\partial \Omega} \vec{F} \cdot \vec{\tau} dl$$

Green theorem

ccw rotation by  $90^\circ$  :  $(-y, x)$

cw rotation by  $90^\circ$  :  $(y, -x)$

## Outlook

$$\boxed{2D} \quad \iint \operatorname{div} \vec{F} = \oint \vec{F} \cdot \vec{n} \quad \iint \operatorname{curl} \vec{F} = \oint \vec{F} \cdot \vec{\tau}$$

area integral                      line integral                      area integral                      line integral

$$\boxed{3D} \quad \iiint \operatorname{div} \vec{F} = \oiint \vec{F} \cdot \vec{n}$$

volume integral                      surface integral

Similar in higher dimensions:  
hypervolume vs. hypersurface

$$\oiint \operatorname{curl} \vec{F} = \oint \vec{F} \cdot \vec{\tau}$$

surface integral                      line integral

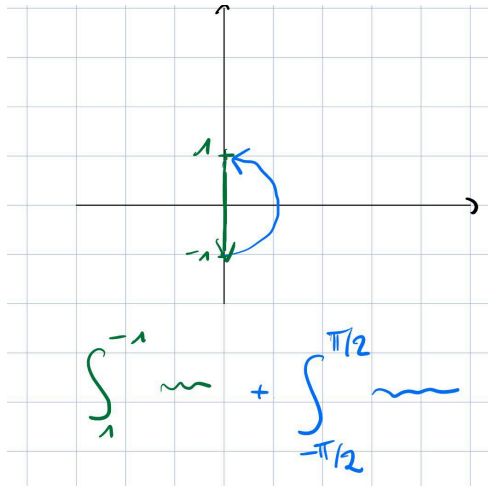
Higher dimensions:  
so much more difficult

## Trouver un potentiel

- compute  $\int_0^x F(t)dt$
- compute  $\int_x^y F(t)dt$
- sum them

## Calculer une intégrale avec le Green's theorem

- bien choisir un sens pour la bordure (par ex)



$$\bullet \int_{\partial\Omega} F \cdot d\vec{s} = \int \int_{\omega} \text{div}(F) d\omega$$

## Calculer une aire d'un graph

par exemple,  $\Phi(t) = \sqrt{s^2 + t^2}$

on définit  $\vec{r} = (s, t, \Phi(t))$

Calculer l'aire du graphe de  $\Phi$  sur  $\Omega$ :

$$\int_{\Omega} 1 \left\| \frac{d\vec{r}}{ds} \times \frac{d\vec{r}}{dt} \right\| ds dt$$

$$\frac{d\vec{r}}{ds} \times \frac{d\vec{r}}{dt} = \begin{pmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 1 & 0 & \frac{d\Phi}{ds} \\ 0 & 1 & \frac{d\Phi}{dt} \end{pmatrix} = \left( -\frac{d\Phi}{ds}, -\frac{d\Phi}{dt}, 1 \right)$$

$$\Rightarrow \text{(when taking the norm)} \int_{\omega} \sqrt{1 + \left( \frac{d\Phi}{ds} \right)^2 + \left( \frac{d\Phi}{dt} \right)^2} ds dt$$

## Divergence Theorem

Il fonctionne en 2D et en 3D.

$$\int \int_{\partial\Omega} \vec{F} \cdot \vec{n} d\vec{S} = \int \int \int_{\Omega} \text{div}(F) dx_1 dx_2 dx_3$$

$$\int \int_{\partial\Omega} \overrightarrow{F(\Phi(\vec{x}))} \cdot \vec{n} \cdot \left\| \overrightarrow{\partial_s \Phi} \times \overrightarrow{\partial_t \Phi} \right\| d\vec{S} = \int \int \int_{\Omega} \text{div}(F) dx_1 dx_2 dx_3$$

Avec  $\vec{n}$  le vecteur normal par rapport à la surface en chaque point.

On définit une paramétrisation du volume  $\varphi(x, y)$ , et  $\Phi(x, y) = (x, y, \varphi(x, y))$ .

Note : on ajoute  $\|\overrightarrow{\partial_s \Phi} \times \overrightarrow{\partial_t \Phi}\|$  comme on ajoute la dérivée, parce que comme  $s$  et  $t$  sont perpendiculaires, le cross-product  $\vec{a} \times \vec{b} = \|\vec{a}\| \cdot \|\vec{b}\| \cdot \sin(\widehat{ab})$  avec  $\widehat{ab} = \frac{\pi}{2}$  donc juste  $\|\partial_s \Phi\| \cdot \|\partial_t \Phi\|$ .

Pour trouver le vecteur normal :

$$\vec{n} = \frac{\partial_x \Phi(\vec{x}) \times \partial_y \Phi(\vec{x})}{\|\partial_x \Phi(\vec{x}) \times \partial_y \Phi(\vec{x})\|}$$

$$\vec{n} = \frac{\partial_\varphi \Phi(\vec{x}) \times \partial_y \Phi(\vec{x})}{\|\partial_x \Phi(\vec{x}) \times \partial_y \Phi(\vec{x})\|}$$

## Green's Theorem

Il fonctionne en 2D uniquement. On regarde sur la bordure comment ça tourne.

$$\int_{\partial\Omega} \vec{F} \cdot \vec{J} dl = \int \int_{\Omega} \text{curl } \vec{F}(x_1, x_2) dx_1 dx_2$$

avec  $\vec{J}$  la dérivée de la

## Stoke's Theorem

Il fonctionne en 3D.

Soient  $M \in \mathbb{R}^3$  et  $F = (F_1, \dots, F_n) : M \rightarrow \mathbb{R}^n$ .

Si  $n = 2$ , alors le **rotationnel** de  $F$  est donné par :

$$\text{rot } F(x) = \frac{\partial F_2}{\partial x_1}(x) - \frac{\partial F_1}{\partial x_2}(x) \in \mathbb{R}$$

Si  $n = 3$ , alors il est donné par :

$$\begin{aligned} \text{rot } F(x) &= "(\text{rot } F_{23}, \text{rot } F_{31}, \text{rot } F_{12})" \\ &= \left( \frac{\partial F_3}{\partial x_2}(x) - \frac{\partial F_2}{\partial x_3}(x), \frac{\partial F_1}{\partial x_3}(x) - \frac{\partial F_3}{\partial x_1}(x), \frac{\partial F_2}{\partial x_1}(x) - \frac{\partial F_1}{\partial x_2}(x) \right) \end{aligned}$$

## Déterminant Jacobienne

En coordonnées sphériques :

$$\det = r^2 \sin(\theta)$$

En coordonnées polaires

$$\det = r$$

## Distributions

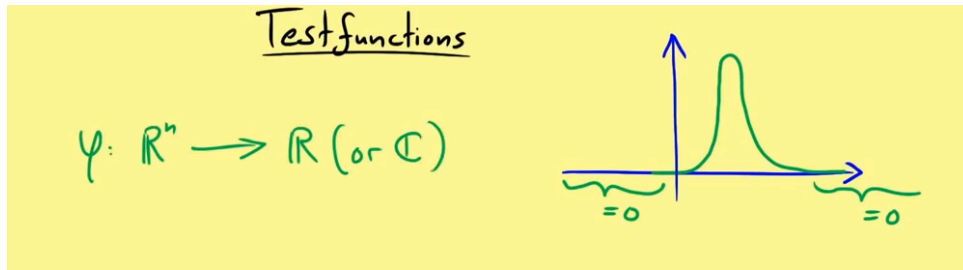
La dérivée est trop “forte” pour considérer les fonctions avec des pics, mais alors comment dériver ces fonctions ?

### Dirac H

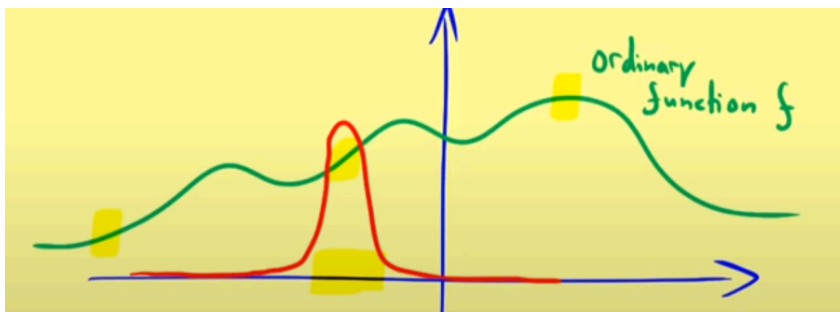
Par exemple, la Heaviside function :  $H(x) = 1$  if  $x \geq 0$  else 0

La dérivée  $H'(x) = \varepsilon(x)$  sera quasiment partout 0 sauf en un point (le jump). Comment avoir une fonction  $H'$  comme ça ? En fait on peut considérer cette fonction comme une distribution.

On utilise ensuite une **test function** pour obtenir la densité entre deux points.



$$\varphi \rightarrow \int f(x)\varphi(x)dx$$



$D$  c'est l'ensemble des fonctions infiniment dérivables (lisses) dont le support est contenu dans un certain intervalle.

### Montrer que $T$ est une distribution

- montrer que  $T$  est finie :

$$\forall \varphi \in D : |T(\varphi)| < \infty$$

- montrer que  $T$  est continue :

$$\forall [a, b] \subset \mathbb{R} \exists C > 0 \text{ (peut dépendre de } a, b) \text{ t.q. } \forall \varphi \in D \text{ t.q. } \text{supp}(\varphi) \subset [a, b] :$$

$$|T(\varphi)| \leq C \sum_{i \geq 0} \max_{x \in \mathbb{R}} |\partial_x^i \varphi(x)|$$

Pour montrer ça on peut par exemple prendre  $i = 0$  et si ça suffit on peut s'arrêter là.

$$\left| \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) dx \right| = \left| \int_a^b \varphi(x) dx \right|$$

$$\leq \max_{x \in \mathbb{R}} |\varphi(x)| \int_a^b 1 dx = (b-a) \max_{x \in \mathbb{R}} |\varphi(x)|$$

$$\leq (b-a) \sum_{i \geq 0} \max_{x \in \mathbb{R}} |\partial_x^i \varphi(x)|$$

Note : le support c'est le domaine de la fonction n'est pas zéro.

Note 2 :  $T$  peut être négative et  $\varphi$  aussi.

## Distribution derivative

Le produit scalaire mesure à quel point deux vecteurs vont dans la même direction :

$$\langle X, Y \rangle = \sum_{i=0}^n x_i y_i$$

Généralisation pour les fonctions continues :

$$\langle F_1, F_2 \rangle = \int_b^a F_1(x) F_2(x) dx$$

Distribution derivative :

$$\langle f', \varphi \rangle = - \langle f, \varphi' \rangle = - \int f(x) \varphi'(x) dx$$

$$= -[f(x)\varphi(x)]_0^\infty + \int \varphi(x) dx \quad \text{or } \varphi(\infty) = 0 \quad (\text{une test function vaut 0 en l'infini})$$

$$= \int \varphi(x) dx$$

## Fourier series

Parseval's theorem :

$$\frac{2}{T} \int_0^T f(x)^2 dx = \frac{a_0^2}{2} + \sum_{n \geq 1} (a_n^2 + b_n^2)$$

## Dirichet

Dirichlet conditions (general version) : the Fourier series at  $x$  converges whenever  $f(x)$  is continuous at  $x$ .

$$Ff(x_0) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{2} (f(x_0 + h) + f(x_0 - h))$$

## Coefficients

Pour trouver les coefficients :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(x) dx$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos\left(2\pi n \frac{x}{T}\right) dx$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \sin\left(2\pi n \frac{x}{T}\right) dx$$

parce que ça se simplifie quand on multiplie :

$$\begin{aligned} & \int_0^T \cos\left(\frac{2\pi}{T} nx\right) \cos\left(\frac{2\pi}{T} mx\right) dx \\ &= \int_0^T \sin\left(\frac{2\pi}{T} nx\right) \sin\left(\frac{2\pi}{T} mx\right) dx \\ &= \begin{cases} 0 & \text{if } n \neq m \\ \frac{T}{2} & \text{if } n = m \end{cases} \end{aligned}$$

## Complex Fourier series

instead of cos and sin we use  $e^{ix}$  and  $e^{-ix}$ .

$$f(x) = \frac{1}{T} \int_0^T e^{-i\frac{2\pi}{T} nx} f(x) dx$$

Liens entre  $a_n$  et  $b_n$  et  $c_n$  :

$$c_n = a_n - ib_n$$

$$a_n = \frac{c_n + c_{-n}}{2}$$

$$b_n = \frac{c_n - c_{-n}}{2i}$$

On peut aussi trouver

## Fourier Transform